



UAEGD

Metodología para la Detección de Cambios Multitemporales Basados en Información Proveniente de Sensores LiDAR

—
Informe Técnico

[www.
ideca.
gov.
co](http://www.ideca.gov.co)

ideca

Metodología para la Detección de Cambios Multitemporales Basados en Información Proveniente de Sensores LiDAR

Informe Técnico

Fecha de creación: Febrero 2019

Página web: www.ideca.gov.co

Correo electrónico: ideca@catastro.gov.co

Licencia: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Autores: Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital -
Gerencia IDECA



Control De Versiones

Fecha	Autor/ Modificado por	Versión	Cambio efectuado
2019-02-28	Fabián Guzmán Patiño	1.0	Primera versión del documento. No hay cambios para registrar.
2019-07-31	Astrid Yadira Duitama Guio	1.1	Ajustes Generales, Cambio de formato.

**UAEC**

Contenido

Control De Versiones	3
Resumen	7
Introducción	8
Objetivos	9
3.1 <i>Objetivo general</i>	9
3.2 <i>Objetivos específicos</i>	9
Marco Conceptual	10
Área de Estudio.....	17
Herramientas computacionales	19
Software	19
Hardware.....	21
Calidad de los datos lidar.....	21
<i>Descripción de datos empleados</i>	22
Datos lidar.....	22
Datos raster - ortoimágenes (referencia).....	25
<i>Metodología</i>	26
Clasificación de ruido.....	27
Clasificación de terreno	28
Generación de MDT	30
Generación de MDS	31
Calculo de nDSM.....	33
Calculo de raster de diferencias entre nDSMs	34
Inspección visual.....	37
Cálculo de estadísticas zonales para la extracción de polígonos de construcciones con cambios.....	40
Identificación de construcciones con diferencias en número de pisos entre base catastral y nDSM_2	43
Conclusiones	44
Bibliografía	47



UAECB

Lista de Gráficos

Gráfico 1 Cantidad de retornos	12
Gráfico 2 Modelo Digital de Superficie - DSM, P.M. Simón Bolívar	14
Gráfico 3 Ejemplo del cálculo de estadísticas zonales	16
Gráfico 4 Cubrimiento de datos lidar.	18
Gráfico 5 Estadísticas calculadas para datos lidar 2006.....	23
Gráfico 6 Estadísticas calculadas para datos lidar 2017.....	24
Gráfico 7 Izquierda: Ortofoto GSD 25cm Bogotá 2007. Derecha: Ortofoto GSD .075cm Bogotá 2014.....	26
Gráfico 8 Flujo de trabajo propuesto para la detección de cambios en construcciones, a partir de datos lidar multitemporales.....	27
Gráfico 9 Herramienta lasnoise.....	28
Gráfico 10 Herramienta de clasificación terreno.....	29
Gráfico 11 Ejemplo de puntos activos para la generación del MDT. Pestaña Filter en las propiedades de LAS Dataset	30
Gráfico 12 Herramienta para la generación de un MDT, teniendo en cuenta únicamente los puntos clasificados como 2 y puntos de primer retorno	31
Gráfico 13 Filtro de Clases y retornos para la generación del MDS.....	32
Gráfico 14 Configuración para la generación de un MDS, teniendo en cuenta todos los puntos del dato lidar, excepto la clase 7 y los puntos de primer retorno	33
Gráfico 15 Calculo de nDSM_1, con la herramienta Raster Calculator.....	34
Gráfico 16 Calculo de diff_nDSMs.....	35
Gráfico 17 Paleta de colores para resaltar características de cambio.....	36
Gráfico 18 Asignación de colores de acuerdo a la altura.....	37
Gráfico 19 Ejemplos de desplazamientos entre el nDSM_2 y la base catastral....	39
Gráfico 20 Ejemplo de construcciones no identificadas en la base catastral....	40
Gráfico 21 Herramienta para el cálculo de estadísticas zonales con ArcGIS.....	41
Gráfico 22 Resultados de las estadísticas zonales	41
Gráfico 23 Tabla de atributos resultante del Join	42
Gráfico 24 Ejemplo de resultados. Izquierda: Capa construcciones superpuesta con diff_nDSMs. Derecha: Polígonos extraídos, luego de aplicación de estadísticas zonales.....	43



Lista de tablas

Tabla 1 Clasificación Puntos LiDAR.....	12
Tabla 2 Área de cubrimiento por localidad de datos lidar año 2017.....	17
Tabla 3 Tamaños de celda sugeridos por la USGS con base en el tamaño del NPS del dato lidar.	25
Tabla 4 Exactitud absoluta de posición por escalas.....	38
Tabla 5 Especificaciones mínimas de hardware para el procesamiento de datos provenientes de sensores remotos.....	46



Resumen

Debido a la gran complejidad de la dinámica urbana presentada en la ciudad de Bogotá, en la cual constantemente se presentan cambios físicos en las edificaciones, el inventario o actualización de esta información por parte de las entidades encargadas se vuelve una tarea muy compleja y en algunos casos tales cambios no se ven reflejados en las bases de datos manejadas para este inventario. Actualmente, para el proceso de actualización reconocedores realizan trabajos de campo para verificar posibles cambios, que previamente son determinados a través de información secundaria, suministrada por algunas entidades del distrito. La información proveniente de sensores remotos, específicamente sensores lidar, dispuestos en plataformas aéreas, permite la captura en terreno de todos los elementos de la superficie terrestre, obteniendo una nube de puntos muy densa, en la cual cada punto cuenta con coordenadas X, Y, Z. A partir de dos conjuntos de datos lidar tomados en diferentes fechas, es posible determinar cambios en las edificaciones sin tener ningún tipo de restricción espacial y obteniendo medidas muy precisas en sus dimensiones. Este documento muestra la metodología propuesta para la detección de cambios a partir de datos lidar, derivando modelos digitales de terreno y modelos digitales de superficie de muy alta resolución espacial, sobre los cuales aplicando operaciones matriciales se obtienen los resultados de cambios entre dos fechas. Se exponen ventajas y desventajas de la implementación de esta metodología en la identificación de cambios y se presentan recomendaciones para su ejecución.



Introducción

La Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD, tiene como una de sus funciones principales el “Fortalecer los recursos de autoridad y legitimidad que se han venido logrando en los últimos años, con un mayor enfoque hacia el cumplimiento de las necesidades del Ciudadano que requiera un producto y/o servicio de Catastro”. Para tal fin desarrollan una serie de procesos y proyectos que pretenden satisfacer las necesidades de los ciudadanos.

Dentro del marco de estas funciones se realiza el Censo Inmobiliario de Bogotá - CIB, el cual tiene como objetivo “Renovar los datos de la formación, actualización y conservación catastral, mediante la revisión de los elementos físicos y jurídicos del catastro”. Uno de los procesos contenidos en el CIB es el pre-reconocimiento de la dinámica urbana, mediante el cual se busca identificar y puntualizar los cambios existentes en los predios del área urbana de la Ciudad de Bogotá, incluyendo globos, desenglobos, adición o modificaciones en construcciones.

A través de la investigación e inclusión de tecnologías geoespaciales aplicadas a procesos catastrales, se busca hacer uso de datos lidar obtenidos con sensores remotos para un cubrimiento distrital. Para el caso específico de este documento, se plantea realizar y desarrollar estudios multitemporales que permitan identificar las dinámicas morfológicas de la ciudad.

Generalmente el uso de imágenes digitales se ve muy limitado a la visualización en color (RGB) de las bandas para identificar objetos geográficos y asociarlos a un contexto espacial mediante el uso de diferentes aplicaciones como los portales en línea, imágenes estáticas, mapas digitales, interfaces elaboradas para estudios específicos, entre otras. Actualmente, a partir de la información lidar, mediante la aplicación de filtros, generación de superficies y cálculos estadísticos sobre los datos obtenidos de sensores geoespaciales, es posible obtener más información sobre el comportamiento de la dinámica urbana, de esta manera se obtiene un valor agregado, en el suministro y soporte de nueva información en los procesos de pre-reconocimiento y reconocimiento adelantados por la UAECD.

Combinando diferentes métodos estadísticos y algoritmos es posible entonces generar herramientas que faciliten diversos tipos de análisis sobre el espacio. En este documento se describe, mediante una aplicación metodológica la posibilidad de obtener información sobre cambios morfodinámicos dentro de la ciudad haciendo uso de diferentes herramientas de geoprocésamiento y cálculos estadísticos sobre datos lidar. De esta manera, partiendo de la



UAECD

premisa de satisfacer las necesidades de la ciudad y articulando los entes administrativos y la ciudadanía, se propone una metodología que puede servir como herramienta para la generación de algunos procesos necesarios para elaborar el CIB.

Objetivos

3.1 Objetivo general

Establecer una metodología para la detección de cambios a través del análisis multitemporal de información lidar, como apoyo en el proceso de pre-reconocimiento ejecutado para llevar a cabo el Censo Inmobiliario de Bogotá

3.2 Objetivos específicos

- ✓ Establecer los criterios de calidad de los datos lidar a emplear
- ✓ Aplicar la metodología propuesta para identificar los cambios en la ronda del río Fucha de la ciudad de Bogotá.
- ✓ Determinar ventajas y desventajas, en términos de precisión, costo computacional, de la implementación de la metodología para la detección de cambios en relación a imágenes aéreas y satelitales.



UAECB

Marco Conceptual

En el presente marco conceptual se da la definición de algunos elementos importantes que son claves para el entendimiento de la metodología propuesta, especialmente en lo referente a la caracterización de los datos lidar y a los términos empleados en el proceso de inventario o censo catastral.

El catastro es el “Inventario o censo, debidamente actualizado y clasificado, de los bienes inmuebles pertenecientes al Estado y a los particulares, con el objeto de lograr su correcta identificación física, jurídica, fiscal y económica” (Resolución 070 de 2011 del IGAC). La Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital - UAECD es la entidad encargada de realizar las actividades relacionadas con el censo catastral y el inventario predial actualizado de los bienes inmuebles del Distrito Capital. Su finalidad es determinar las características físicas, jurídicas y económicas de los predios.

El aspecto físico que se desarrolla en el proceso de inventario predial consiste en identificar los linderos del terreno y las edificaciones existentes. El aspecto jurídico consiste en identificar la relación existente entre el inmueble y el propietario o poseedor. El aspecto económico permite establecer el avalúo comercial mediante el análisis del mercado inmobiliario.

El Censo Inmobiliario de Bogotá: Proceso en el cual se realiza la renovación o el inventario de todos los bienes inmuebles de la ciudad, información que refleja la situación del mercado inmobiliario. Se realiza mediante dos fases:

- ✓ **Pre-reconocimiento:** Determinación, mediante trabajo de campo de los predios que han sufrido algún cambio. Estos cambios pueden ser físicos, como por ejemplo la construcción de un edificio sobre un lote, o la demolición de una casa para la construcción de otro tipo de infraestructura. Otro tipo de cambio en un predio es el cambio de destino de uso. Los predios identificados en este proceso son aquellos que quedan marcados para realizar un estudio más detallado. Corresponde a la inspección visual en campo de todos los predios de una unidad orgánica catastral o parte de esta, para encontrar diferencias entre la información de la base de datos catastral, gráfica y alfanumérica y la realidad observada (nuevos desarrollos, mayores áreas construidas, cambios de uso o de destino económico, demoliciones, avances de obra, entre otros).



UAECD

- ✓ **Reconocimiento:** En este proceso se realiza una visita a los predios inmuebles que fueron identificados en el pre-reconocimiento, mediante la observación y medición de sus características técnicas se actualiza la información de estos predios permitiendo actualizar la información predial de la ciudad.

Formato LAS: Los archivos LAS pueden contener información proveniente de LIDAR o de otro tipo de registro de datos de nubes de puntos. Los datos generalmente serán puestos dentro de este formato desde determinado software suministrado por la casa fabricante del sensor, dentro del cual se combinan los datos GPS, IMU y el rango del pulso laser para producir datos tipo punto X, Y, Z. La finalidad de este formato es proveer un formato abierto que permita a diferentes sistemas lidar y herramientas de software generar un formato de salida común que permita la interoperabilidad entre ellos. Generalmente, los archivos son entregados en este formato para su posterior procesamiento.

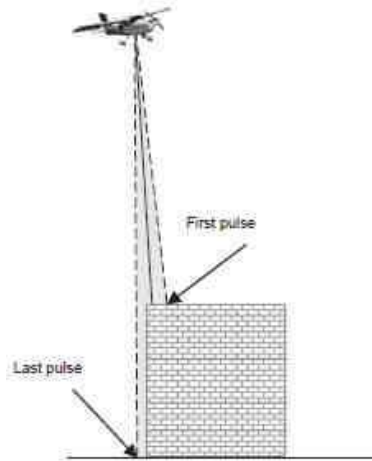
LAS Dataset: Es un formato de ArcGIS sobre el cual se guarda la referencia de uno o más datos *LAS almacenados en el disco. Permite examinar los archivos *LAS, en su formato nativo rápidamente y de manera muy sencilla, obteniendo un resumen estadístico detallado y área de cobertura de los datos lidar contenidos en los archivos *LAS.

Intensidad: El valor de intensidad es la representación discreta de la magnitud del retorno del pulso, debe ser incluido en el archivo *LAS, si se encuentra disponible. La intensidad siempre debe ser normalizada a un valor unsigned de 16bits, tal operación se hace multiplicando el valor de intensidad por $65.536 / (\text{rango dinámico de intensidad del sensor})$, en el caso de un dato de 8bits, el rango dinámico será 256. Esta normalización de los datos es necesaria para garantizar de que datos provenientes de diferentes sensores puedan fusionarse correctamente.

Numero de retorno: Un numero de retorno es el número de retorno del pulso para un dado pulso de salida. Dado pulso laser de salida puede tener muchos retornos y debe ser marcado en la secuencia del retorno. El primer retorno tendrá el número de retorno número 1, el segundo un numero de retorno dos y así hasta el número de retorno número 5 (**iError! No se encuentra el origen de la referencia.**).



G1 Gráfico 1 Cantidad de retornos
 Fuente: **Elaboración Propia**



Clasificación de datos lidar: Dentro de los archivos *LAS, cada punto puede tener una clasificación asignada que define el tipo de objeto que ha reflejado el pulso laser. Los datos lidar pueden ser clasificados en un numero de categorías incluyendo algunos elementos tales como: suelo desnudo, vegetación alta, vegetación baja, agua, entre otros. Las diferentes clases están definidas en códigos que usan números enteros dentro del archivos *LAS. Si un punto nunca ha sido clasificado, este byte debe pertenecer a la clase 0. En la versión 1.4 de archivos *LAS, la definición de clases se encuentra en la siguiente tabla, establecida por la ASPRS (**iError! No se encuentra el origen de la referencia.**).

T1 Tabla 1 Clasificación Puntos LiDAR
 Fuente: Estandar ASPRS, Versión 1.4

<i>Classification Value</i>	<i>Meaning</i>
0	Created, never classified
1	Unclassified



UAECG

2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (“low noise”)
8	High Point (typically “high noise”). Note that this value was previously used for Model Key Points. Bit 1 of the Classification Flag must now be used to indicate Model Key Points. This allows the model key point class to be preserved.
9	Water
10	Rail
11	Road Surface
12	Bridge Deck
13	Wire - Guard
14	Wire - Conductor (Phase)
15	Transmission Tower
16	Wire-structure Connector (e.g. Insulator)
17	Reserved
18-63	Reserved

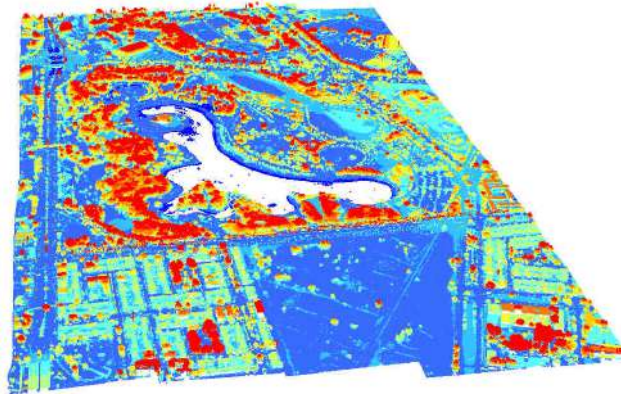


64-255	User definable - The specific use of these classes should be encoded in the Classification lookup VLR.
--------	--

Modelo Digital de Terreno - MDT: El concepto de Modelo Digital de Terreno es atribuido a los ingenieros Miller y LaFlamme en el año de 1958 y su definición es la siguiente “Un MDT es simplemente una representación estadística de una superficie continua del terreno por medio de un gran número de puntos seleccionados con coordenadas X, Y, Z conocidas en un campo coordenado arbitrario”. Generalmente, un MDT puede ser representado a partir de un formato raster (grilla uniforme) o por medio de una Red Irregular de Triángulos TIN.

Modelo Digital de Superficie - MDS: Es un modelo de elevación que incluye construcciones, árboles, infraestructura y otras características que están sobre el suelo desnudo. Un MDS puede ser construido con el primer retorno de datos lidar.

G2 Gráfico 2 Modelo Digital de Superficie - DSM, P.M. Simón Bolívar
Fuente: Elaboración Propia



Densidad Nominal entre Pulsos - NPD: Es la relación del número de puntos por el área en la cual ellos están contenidos y generalmente se expresa como pulsos por metro cuadrado pls/m². La densidad de puntos en dirección de la línea de vuelo se puede aproximar con la siguiente fórmula $\Delta_{x_{along}} = \frac{v}{f_{sc}}$, el cálculo para la densidad de puntos a través de la dirección de la línea de vuelo de forma aproximada es $\Delta_{x_{across}} = \frac{\theta}{N}$, en donde v es la velocidad de la plataforma, f_{sc} es la velocidad de escaneo la cual es descrita por la tasa de escaneo, θ es el ancho de barrido o swath y puede ser expresado en metros o en grados y N es el número de puntos por línea de escaneo y asumiendo un terreno plano y que las distancias entre puntos a lo largo de la línea de escaneo son iguales,



UAEC

entonces N puede ser calculado por $N = \frac{f_{pulse}}{f_{sc}}$, donde f_{pulse} es la tasa del pulso laser. Los valores de X_{along} y de X_{across} son empleados para determinar la densidad de puntos mínimos d_{min} la cual calcula el numero de puntos laser por metro cuadrado $NPD_{min} = \frac{1}{\Delta X_{along} * \Delta X_{across}}$. A partir de la anterior formula es posible calcular el espaciamento aproximado entre pulsos NPS con la formula

$$NPS = \sqrt{\frac{1}{NPD_{min}}}$$

Ruido, Outliers en datos lidar: En el proceso de adquisición de datos lidar, se pueden definir 3 etapas de forma general: filtro, clasificación y modelación. El proceso de filtrado se refiere a la remoción de mediciones no deseadas para detectar la superficie terrestre desde una mezcla de mediciones de terreno y vegetación. Las mediciones no deseadas o puntos anómalos, dependiendo de la aplicación, pueden ser caracterizados como ruido (noise), Outliers o errores gruesos. La detección de Outliers es un proceso esencial previo a la etapa de modelación y no es una tarea trivial ya que existen: discontinuidades geométricas causadas por oclusiones en los límites de los bordes, falta de conocimiento previo de la distribución estadística de los puntos, existencia del ruido y diferentes de NPD locales.

Funciones aritméticas: Ejecuta una operación aritmética entre dos datos raster, un raster y un escalar o viceversa. En la presente metodología a partir de la operación minus (menos) se obtendrán los resultados de diferencia entre los dos periodos de estudio, la operación es aplicada pixel a pixel de la siguiente manera:



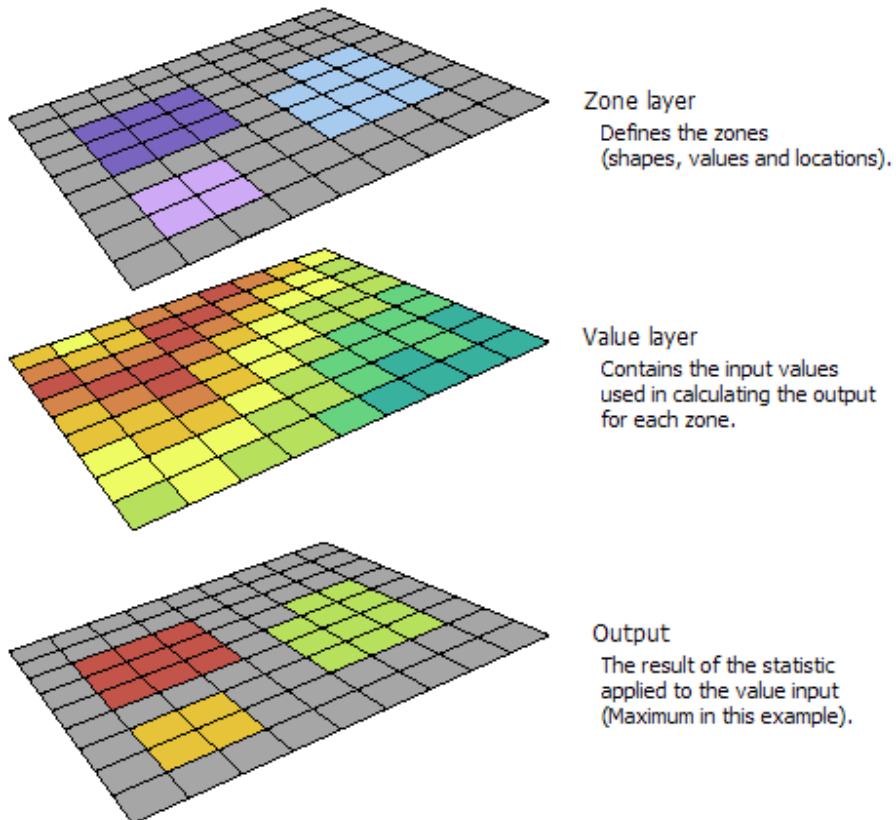
$$difference = Raster1 - Raster2$$

Estadísticas zonales: Calcula las estadísticas para cada zona definida en un dataset, basado en los valores de otro dataset (el valor de un raster). Un único valor de salida es calculado para cada zona definida por el dataset de entrada. El resultado es almacenado en una tabla, que luego puede ser vinculada con el archivo de entrada a través de una unión (join). En la siguiente imagen, se puede ver que el dataset de entrada define las zonas sobre las cuales se deben calcular las estadísticas. La capa de valores es la que contiene los valores sobre los cuales se realizan las



estadísticas, en las zonas determinadas previamente y la capa de salida, contiene los valores únicos por zona que, en el caso de la **iError! No se encuentra el origen de la referencia.**, son los valores máximos.

G3 Gráfico 3 Ejemplo del cálculo de estadísticas zonales.
Fuente: Ayuda en línea ArcGIS Desktop



UAECD

Materiales y Métodos

Área de Estudio

Para el desarrollo de la presente metodología y de acuerdo con lo planteado, el área de estudio comprende una parte de la zona sur de la ciudad de Bogotá, sobre todo el cauce del río Fucha, el cual atraviesa las localidades de: Rafael Uribe, Los Mártires, San Cristóbal, Antonio Nariño, Puente Aranda, Fontibón y Kennedy (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). La altura sobre el nivel medio del mar se encuentra entre los 3.000m y 2.500m aproximadamente. El criterio para la delimitación del área de estudio es dado por el cubrimiento de los datos lidar del año 2017.

Las áreas cubiertas por los datos lidar, son discriminados por localidad en la siguiente tabla.

T2 Tabla 2 Área de cubrimiento por localidad de datos lidar año 2017
Fuente: Elaboración propia

Localidad	Área de Análisis Multitemporal por localidad (ha)	Área por localidad (ha)	Porcentaje de cubrimiento
RAFAEL URIBE URIBE	10.0	1383.4	0.7%
LOS MARTIRES	16.1	651.4	2.5%
SAN CRISTOBAL	189.3	4909.9	3.9%
ANTONIO NARIÑO	211.0	488.0	43.2%
PUENTE ARANDA	304.7	1731.1	17.6%
FONTIBON	317.9	3328.1	9.6%
KENNEDY	408.6	3859.0	10.6%
		Área total Analizada (ha)	1457.5
		Área total localidades (ha)	16350.8
		Porcentaje de Análisis	9%

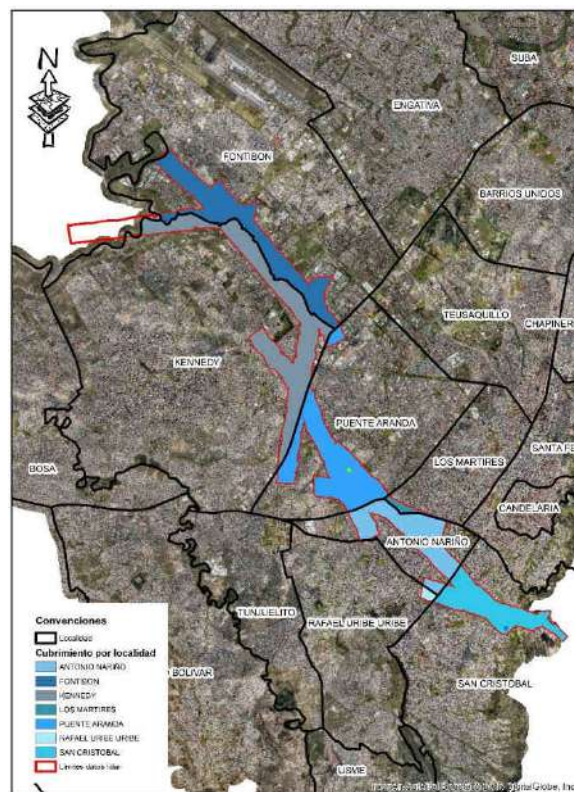
A través de todas las localidades se presentan diferentes tipos de uso del suelo, lo cual se debe tener en cuenta al momento de analizar los resultados obtenidos aplicando la metodología propuesta. En la localidad de Rafael Uribe Uribe el uso del suelo se caracteriza por ser comercial, dotacional y residencial principalmente, en su totalidad corresponde a suelo urbano. En la



UAECD

localidad de los Mártires el uso del suelo se caracteriza como comercial y residencial principalmente y se establece como totalmente urbano. La localidad de San Cristóbal está comprendida por suelo urbano y suelo rural. La localidad de Antonio Nariño, su suelo se caracteriza como comercial y residencial principalmente y está clasificada como área urbana. Entre los usos del suelo más predominantes en la localidad de Puente Aranda se encuentra el uso comercial, residencial e industrial, en su totalidad está definido como suelo urbano. Fontibón, presenta usos de suelo principalmente dotacional, uso urbano integral, residencial, industrial, comercio y servicios y también algunas áreas protegidas, es la segunda localidad con más influencia del río Fucha. Y por último la localidad de Kennedy presenta usos del suelo residencial, con centralidad urbana, industrial dotacional y comercial, se compone de suelo urbano y suelo de expansión urbana, en esta localidad se presenta la mayor área de influencia del río Fucha.

G4 Gráfico 4 Cubrimiento de datos lidar. **Fuente:** Elaboración propia



UAECD

Herramientas computacionales

La metodología está basada en las herramientas de software actuales disponibles en la UAECD, para procesamiento de datos geográficos, con licencia de uso comercial. Sin embargo, para futuras versiones de la metodología, es posible contar con herramientas SIG de uso totalmente libre y abierto.

Software

ArcGIS Desktop es una herramienta clave para el conocimiento de la geolocalización. Esta suite le permite al usuario coleccionar, manejar datos, crear mapas profesionales, ejecutar análisis espaciales avanzados o tradicionales y resolver problemas de la vida real. Como aplicación principal dentro de ArcGIS se encuentra la aplicación ArcMap, en la cual se pueden desplegar y explorar los datos geográficos del área de estudio, se utiliza en la generación de salidas gráficas, permite editar o crear conjuntos de datos de forma estructurada y organizada. Como complemento a las funciones de ArcMap, en la ventana ArcToolbox se encuentran herramientas muy robustas para geoprocesamiento de datos, los cuales también pueden ser ejecutados desde ArcCatalog. En ArcToolbox las herramientas o conjuntos de herramientas están contenidas dentro de cajas de herramientas, discriminadas por temáticas.

Las Toolbox empleadas para la aplicación de la metodología basada en datos lidar son principalmente 3D Analysis Tools, Conversion Tools, Data Management Tools, Spatial Analyst Tools y como complementos la toolbox 3D Sample Tools y las herramientas de LAStools, las cuales potencian en gran medida la capacidad de procesamiento de datos lidar del software ArcGIS.

3D Analysis Tools: Esta toolbox proporciona una colección de herramientas de geoprocesamiento que permiten una amplia variedad de operaciones de conversión, análisis y manejo de datos, sobre modelos de superficie y datos vectoriales 3D. Con esta toolbox se pueden crear y analizar datos de superficies representados en formatos raster, TIN y LAS Dataset.

Conversion Tools: Contiene herramientas para convertir datos entre diferentes formatos. Por ejemplo, los archivos *LAS pueden ser convertidos entre diferentes versiones *LAS, formatos de registro de puntos y diferentes tipos de compresión. Desde esta toolbox también es posible



UAECDD

convertir información *LAS a un formato raster para la generación de modelos de superficie, imágenes de intensidad o imágenes RGB asociados a los datos lidar.

Data Management Tools: Provee una amplia y variada colección de herramientas que son empleadas para desarrollar, manejar y mantener estructuras de datos tales como: features class, datasets, layers y datos raster. Contiene herramientas para la creación y manejo de datos LAS Dataset, a partir del cual de forma rápida se pueden generar modelos TIN y desplegar datos lidar en ArcMap.

Spatial Analyst Tools: Enriquece las herramientas de análisis espacial y modelación, ya sea para datos tipos raster y datos vectoriales. Dentro de las toolbox, se pueden aplicar operaciones tradicionales de álgebra de mapas sobre datos tipo raster, las cuales van a ser empleadas en la metodología propuesta.

3D Sample Tools: Esta toolbox debe ser instalada previamente como complemento. La toolbox expande las capacidades de las herramientas de geoprocésamiento 3D de ArcGIS Desktop y las utilidades para el manejo de datos lidar. Dentro de sus características se resaltan las siguientes: Clasificación de puntos anómalos (noise), creación de archivos *LAS con valores RGB, Extracción de footprints aproximados de edificaciones, georreferenciación de archivos *LAS a coordenadas locales, mejoras en el proceso de QA/QC de los datos lidar, optimización de datos lidar a través de un formato de compresión ZLAS, evaluación estadística en altura Z con métricas de altura avanzadas, entre otras.

LAStools: Es una herramienta que potencia las capacidades de procesamiento de datos lidar de ArcGIS, permitiendo explorar datos lidar *LAS de maneras muy sofisticadas a través de una toolbox, la cual es adicionada al momento de requerirla. Adicionalmente, cuenta con dos toolbox complementarias LAStools Production y LAStools Pipelines, las cuales están basadas sobre LAStools. Tal como todas las toolbox de ArcGIS, la posibilidad de crear flujos de trabajo (workflows) de manera intuitiva desde la aplicación de Model Builder, facilita las tareas de procesamiento de grandes volúmenes de datos, los cuales pueden llegar a ser de tamaños de Terabytes y reduce el tiempo empleado en procesos repetitivos.

La versión empleada en la presente propuesta de ArcGIS es la 10.5, las extensiones necesarias que deben estar activas son 3D Analyst y Spatial Analyst. La versión utilizada en este documento de la toolbox 3D Sample es la versión 3.0, en cuanto a la toolbox de LAStools, la versión es totalmente compatible con la versión de ArcGIS 10.5.



UAEC

Hardware

Para el desarrollo de la presente metodología, se contó con un computador de escritorio, con las siguientes características de hardware:

- ✓ Procesador: Intel(R) Core(TM) i7-7700 CPU @ 3.60GHz 3.60GHz.
- ✓ Memoria instalada (RAM): 16,0 GB.
- ✓ Capacidad de almacenamiento en disco de trabajo 1TB.
- ✓ Sistema operativo: Windows 10 Professional.

Es posible que, para el procesamiento de grandes volúmenes de información, se requiera de mejores capacidades computacionales, por lo que más adelante, dentro de las recomendaciones se sugieren las características óptimas para este tipo de procesos.

Calidad de los datos lidar

Es muy importante realizar un chequeo inicial a los datos lidar, ya que se deben tener en cuenta algunas características para el proceso de detección de cambios. Ya que los datasets lidar empleados, posiblemente provengan de diferentes productores de datos, se hace necesario definir unos parámetros mínimos para la aceptación de la información proveniente de sensores lidar.

Formato de entrega de datos lidar *LAS

Los datos lidar deben ser entregados en formato LAS versión 1.4, de acuerdo a la especificación de la ASPRS, para más información sobre la versión, puede visitar la siguiente pagina https://www.asprs.org/wp-content/uploads/2010/12/LAS_1_4_r13.pdf. Para archivos *LAS que no se encuentren en la versión solicitada, se debe hacer la conversión respectiva, para esto, puede hacerlo desde la toolbox 3D Sample con la herramienta Convert LAS Version.

Numero de retornos

Los archivos lidar deben tener por lo menos 3 retornos (dependiendo de las condiciones del terreno), ya que esta información es indispensable en la generación de productos derivados, como los modelos de superficie.



UAEC

Clasificación datos lidar

Los datos lidar deben ser entregados como mínimo con 5 clases, las cuales son: 2(ground), 5(high vegetation), 7(noise), 12(overlap), 21(reserved). Aunque en la presente metodología, los datos lidar son procesados para detectar los puntos que son ruido (noise) y los puntos pertenecientes a terreno desnudo (ground), es muy importante que el productor de datos entregue los datos lidar con las clases solicitadas, para que el proceso de detección de cambios sea ejecutado en el menor tiempo posible.

Descripción de datos empleados

Datos lidar

Los datos empleados fueron dos datasets lidar de la ciudad de Bogotá. Un dataset fue tomado en el año 2006 con cubrimiento total de la ciudad. El segundo dataset fue tomado en el año 2017 únicamente en áreas de influencia de los principales ríos de la ciudad de Bogotá. El área escogida para el desarrollo de la metodología fue el área del río Fucha. Debido al cubrimiento de los datos lidar del año 2017, fue necesario recortar la extensión de la información del año 2006, de acuerdo a la extensión del año 2017, también con el fin de evitar costos computacionales altos e innecesarios.

Estadísticas de los datos lidar

Para conocer las estadísticas de los datos lidar, tales como: Espacio nominal entre pulsos, densidad de pulsos por metro cuadrado, clasificación de los datos lidar, numero de retornos, entre otros., se ejecuta la herramienta de LAStools lasinfo. Como resultado de la ejecución, se generan por cada archivo *LAS analizado, un archivo de texto, del cual se extrae la información necesaria. Para el caso del dato lidar del año 2006, la fecha de creación es del día 351 del año 2006, cuenta con 3 retornos, tiene la clase 0 (never classified), 1(unclassified), 2(ground), 5(high vegetation), 7(noise) y 8(keypoint), el espaciamiento es de 0.95m entre pulsos. La estadística del dato *LAS del año 2017 muestra una fecha de creación del día 46 del año 2017, cuenta 4 retornos, tiene la clase 0 (never classified), 1(unclassified), 2(ground) y 7(noise), el espaciamiento es de 0.35m entre pulsos.

En las siguientes tablas se hace la descripción estadística de los datasets empleados.

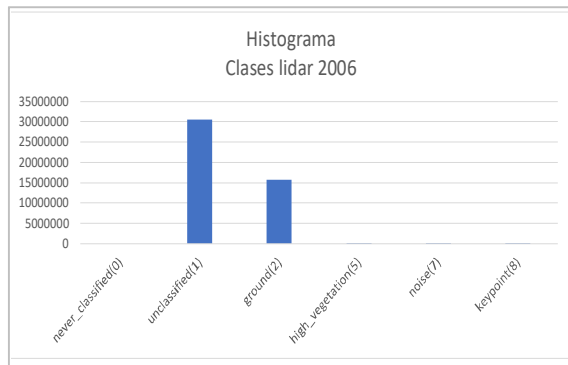


UAEC

G5 Gráfico 5 Estadísticas calculadas para datos lidar 2006.
Fuente: Elaboración propia

DATOS LIDAR 2006		
Valores reportados mínimos y máximos de los datos de entrada		
	Minimum	Maximum
X	93999999	101500001
Y	95999998	102000001
Z	2547541	3701506
intensity	0	0
return_number	1	3
number_of_returns	1	3
edge_of_flight_line	0	1
scan_direction_flag	0	1
classification	0	8
scan_angle_rank	-39	34
user_data	0	0
point_source_ID	0	0
gps_time	0	0

WARNING 9 points outside of header bounding box		
number of first returns		44898959
number of intermediate returns		173208
number of last returns		43977699
number of single returns		42615953
covered area in square meters/kilometers		41804744/41.80
point density	all returns 1.11 last only 1.05 (per square meter)	
spacing	all returns 0.95 last only 0.97 (in meters)	
overview over number of returns of given pulse		42615953 3298274 519686 0 0 0 0
histogram of classification of points		
never_classified(0)		4
unclassified(1)		30512892
ground(2)		15692427
high_vegetation(5)		137395
noise(7)		81978
keypoint(8)		9217



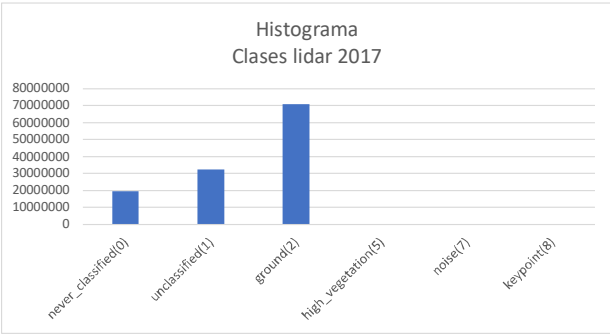
UAEC

G6

Gráfico 6 Estadísticas calculadas para datos lidar 2017
Fuente: Elaboración propia

DATOS LIDAR 2017		
Valores reportados mínimos y máximos de los datos de entrada		
	Minimum	Maximum
X	-3036540	9740719
Y	-10989766	1574316
Z	-114854	681266
intensity	0	0
return_number	1	4
number_of_returns	1	4
edge_of_flight_line	0	1
scan_direction_flag	0	1
classification	0	7
scan_angle_rank	-30	42
user_data	0	0
point_source_ID	0	0
gps_time	0	0

WARNING 5 points outside of header bounding box		
number of first returns		116595802
number of intermediate returns		561057
number of last returns		116590114
number of single returns		110984562
covered area in square meters/kilometers	15167900/15.17	
point density	all returns 8.09 last only 7.69 (per square meter)	
spacing	all returns 0.35 last only 0.36 (in meters)	
overview over number of returns of given pulse	110984562 10183980 1415553 178316 0 0 0	
histogram of classification of points		
never_classified(0)		19657339
unclassified(1)		32281730
ground(2)		70806109
high_vegetation(5)		0
noise(7)		17233
keypoint(8)		0



Con base en la información obtenida en las estadísticas, son creados los modelos de superficie, ya que dependiendo del NPS, de acuerdo a las especiaciones de la United States Geological Survey - USGS el tamaño de celda sugerido puede ser revisado en la .



UAECD

T3 Tabla 3 Tamaños de celda sugeridos por la USGS con base en el tamaño del NPS del dato lidar.
Fuente: Elaboración propia

Nivel de Calidad USGS	Clase exactitud Vertical ASPRS 2014 (cm)	NPD Mínimo Recomendado (pls/m2)	NPS Máximo Recomendado (m)	Tamaño de celda mínimo DTM (m)	Equivalencia Clase 1 Intervalo de Curva ASPRS 1990 (cm)
QL0	5	8	0.35	0.5	15
QL1	10	2	0.71	0.5	30
QL2	10	2	0.71	1	30
QL3	20	0.5	1.4	2	60

Datos raster - ortoimágenes (referencia)

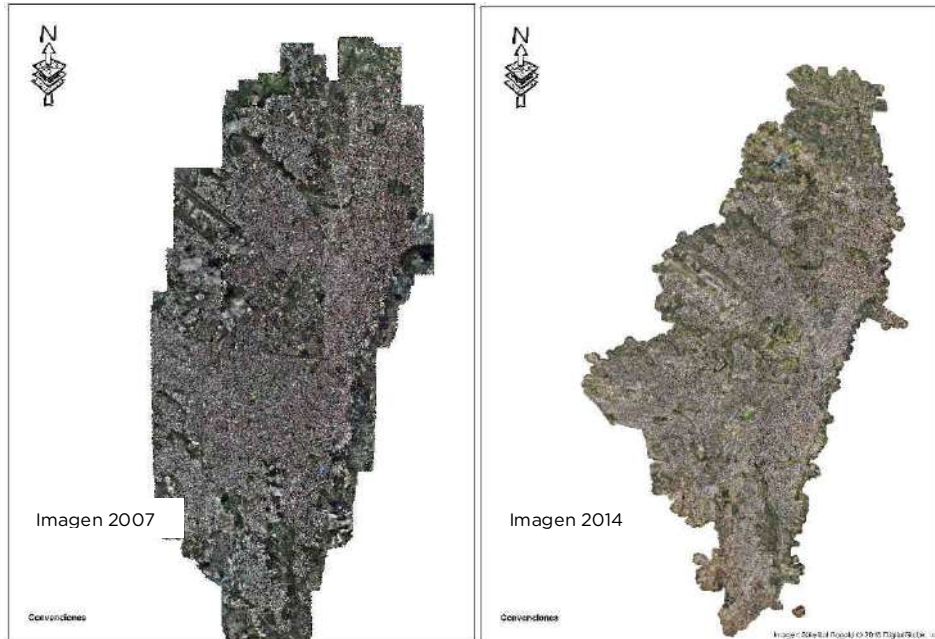
Como datos de referencia, solo para un chequeo visual de los posibles cambios detectados con datos lidar, se emplearon dos ortofomosaicos (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.), el primer ortofotomosaico del año 2007, el cual fue compartido por Secretaria Distrital de Planeación y puede ser accedido desde la siguiente dirección <https://serviciosgis.catastrobogota.gov.co/arcgis/rest/services> y el ortofotomosaico del año 2014 generado por la UAECD, el cual también puede ser consultado en el anterior vinculo. Debido a las diferentes fechas de toma entre datos lidar y los ortofomosaicos, no es posible confirmar de forma visual algunos cambios detectados por la metodología propuesta, para esto se sugiere que ambos datos lidar y ortofotos sean tomados al mismo tiempo.



UAECD

G7

Gráfico 7 Izquierda: Ortofoto GSD 25cm Bogotá 2007. Derecha: Ortofoto GSD .075cm Bogotá 2014.
Fuente: Elaboración propia



Metodología

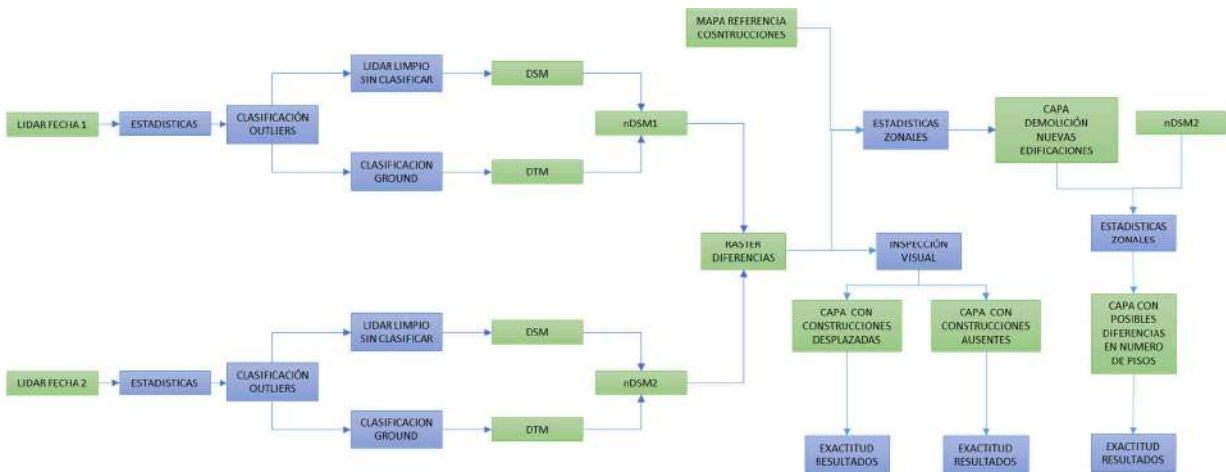
En este capítulo se explican los procesos llevados a cabo para la detección de cambios sobre las edificaciones, basados en información tridimensional (lidar), obteniendo como resultados:

- ✓ Una capa vectorial denominada cambios físicos, con los polígonos en donde se presentaron cambios ya sean nuevas construcciones o demoliciones,
- ✓ Una capa vectorial tipo punto, en la cual se identifican de forma visual las construcciones, que no han sido incorporadas en la base cartográfica,
- ✓ Una capa vectorial tipo polígono, sobre la cual se relacionan las construcciones que presentan problemas de georreferenciación y
- ✓ Basados en la capa de cambios físicos y aplicando estadísticas zonales, una capa vectorial en la cual se determinan las construcciones que presenta diferencias de altura (# de pisos) entre la base catastral y la altura obtenida a partir del dato lidar.

**UAEC**

En la siguiente figura se muestran los procesos llevados a cabo para el desarrollo de la metodología, los cuales serán explicados en detalle posteriormente.

G8 Gráfico 8 Flujo de trabajo propuesto para la detección de cambios en construcciones, a partir de datos lidar multitemporales; **Fuente:** Elaboración propia



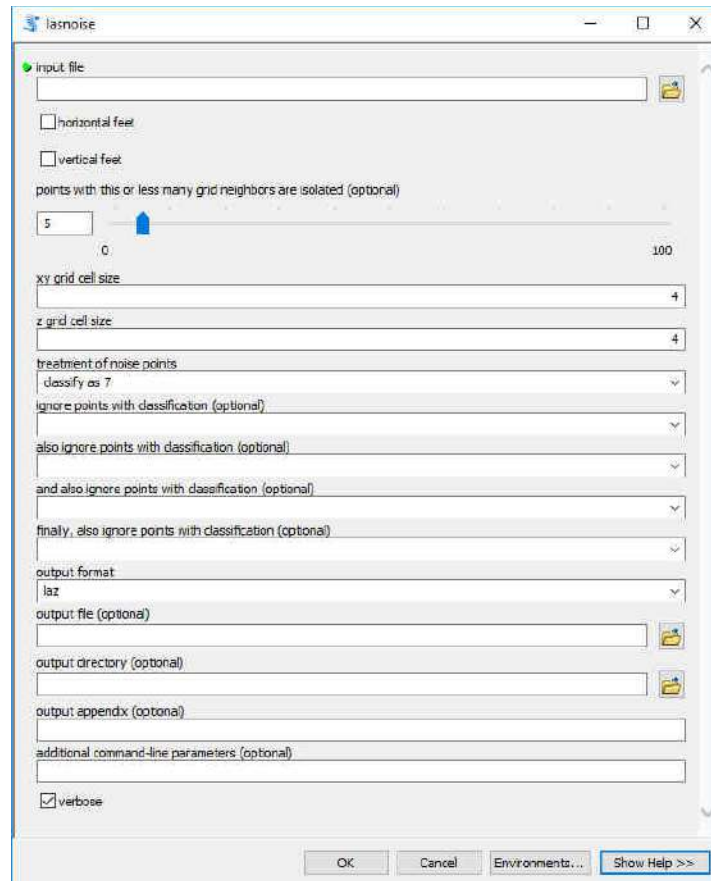
Como se dijo previamente, para la metodología propuesta, se requieren de dos datasets lidar tomados en diferentes fechas. Para el desarrollo del presente ejercicio, el lidar del año 2006 se denominará lidar 1 y el lidar del año 2017 se denominará lidar 2. Para cada lidar se calculan las estadísticas para conocer el espaciamento entre pulsos, numero de clases, cantidad de retornos, entre otros.

Clasificación de ruido

Como se estableció en anteriores párrafos, los datos lidar deben ser entregados con una clasificación mínima, la cual debe contener por lo menos 5 clases, las cuales fueron definidas previamente, sin embargo, este proceso de clasificación puede ser ejecutado de forma automática con las herramientas de ArcGIS y LAStools. En el presente documento se empleó la herramienta lasnoise (**iError! No se encuentra el origen de la referencia.**) de la toolbox LAStools, ya que el costo computacional es muy bajo y los resultados son aceptables, detectando puntos con posiciones anómalas con respecto al dataset en general. Este proceso puede ser ejecutado de acuerdo a una grilla de búsqueda, que por defecto es de 3x3x3 para un total de 27 celdas y con un tamaño de celdas de 4m, detectando puntos aislados a partir de menos de 5 vecinos.



G9 Gráfico 9 Herramienta lasnoise.
Fuente: Imagen tomada a ArcGIS Desktop



Clasificación de terreno

Luego del proceso de clasificación de ruido, los archivos *LAS fueron procesados para obtener los puntos pertenecientes a terreno. En el presente documento, los datos del año 2017 no tenían ningún dato clasificado, todos los puntos estaban asignados a la clase 0 (Created, never classified), por lo tanto, fue necesario aplicar el proceso de limpieza (noise) y posteriormente la clasificación de puntos terreno. Por otro lado, los datos del año 2006 ya contaban con puntos clasificados como terreno, solo se aplicó el proceso de limpieza para eliminar los puntos asociados



UAECD

a ruido. Para la clasificación de puntos terreno se aplicó la herramienta Classify de la toolbox 3D Sample (**iError! No se encuentra el origen de la referencia.**) en el dataset del año 2017. Es muy importante recordar que LAStools aplica los procesos directamente sobre el archivo *.LAS y la mayoría de las herramientas de ArcGIS y 3D Sample trabajan sobre archivos LAS Dataset.

G10 Gráfico 10 Herramienta de clasificación terreno
Fuente: Imagen tomada a ArcGIS Desktop



Basados en las estadísticas de los datos lidar (Gráfica 5 y 6), se crea por cada lidar un modelo de superficie y un modelo de terreno. El tamaño de la celda o la resolución espacial de estos modelos depende principalmente del espaciamiento entre pulsos, de acuerdo, a las estadísticas de los datasets lidar, los NPS calculados son de 0.97m y 0.35m para el año 2006 y año 2017, respectivamente. Debido a que los dos datasets lidar tienen características distintas en cuanto a sus espaciamientos, se escogió un tamaño de celda de 1m mínimo para ambas fechas, de acuerdo



UAEC

a lo sugerido por la USGS (), ya que no es posible generar un tamaño de celda de 0.50m con un NPS de 0.97m.

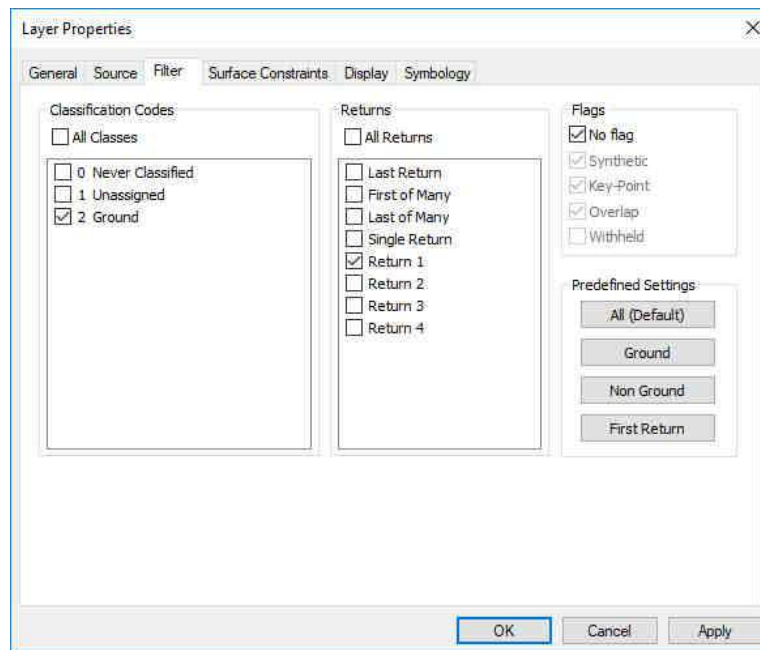
Por lo tanto, es importante definir que el tamaño de celda escogido para los modelos de superficie y de terreno en otras áreas, aplicando la presente metodología, estará en función del NPS calculado para ambos datasets lidar, escogiendo el que presente un NPS más alto.

Generación de MDT

Ya que los datos lidar de ambas fechas se encuentran clasificados, en puntos terreno y puntos no pertenecientes a terreno, en ArcGIS se procede a crear un archivo LAS Dataset, sobre el cual posteriormente, se activa únicamente la clase 2 (ground) y los puntos pertenecientes al primer retorno (Gráfico 11), esto se hace en las propiedades del archivo LAS Dataset.

G10

Gráfico 11 Ejemplo de puntos activos para la generación del MDT. Pestaña Filter en las propiedades de LAS Dataset; **Fuente:** Imagen tomada a ArcGIS Desktop



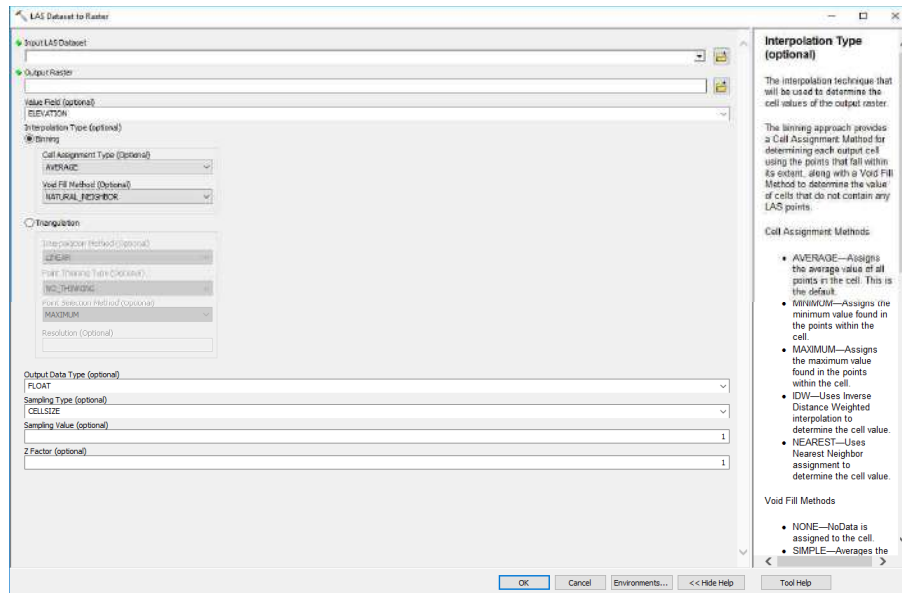
Luego de filtrar el archivo lidar, se aplica la herramienta LAS Dataset to Raster de la Toolbox Conversion Tools (Gráfico 12).



UAEC

G12

Gráfico 12 Herramienta para la generación de un MDT, teniendo en cuenta únicamente los puntos clasificados como 2 y puntos de primer retorno; **Fuente:** Imagen tomada a ArcGIS Desktop.



En la creación de un MDT para la asignación del valor de la celda, se debe aplicar el valor promedio de altura como valor asignado a la celda del MDT, el método de relleno de vacíos debe ser Natural Neighbor, el tipo de dato de salida siempre debe ser de tipo flotante (ya que el modelo almacenará alturas) y el tamaño de celda debe ser asignado de acuerdo a las estadísticas calculadas previamente. Lo anterior debe ser aplicado a ambos datasets lidar, fecha 1 y fecha 2.

En el presente ejercicio, el tamaño de celda asignado es de 1m, para ambos datasets.

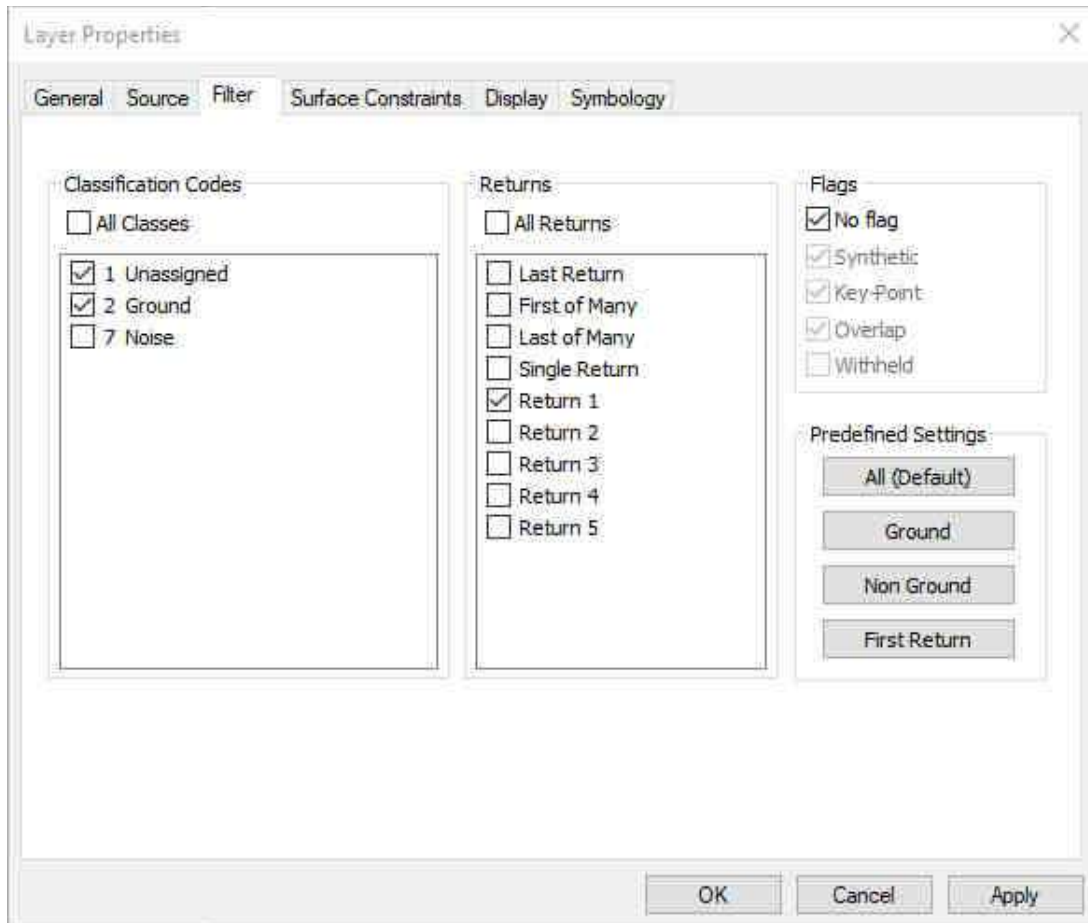
Generación de MDS

Consiste en generar una superficie teniendo en cuenta todos los puntos capturados por el lidar, sin tener en cuenta los puntos de la clase 7 (noise). En las propiedades de LAS Dataset, se dejan activas todas las clases, excepto la clase 7 (noise) y nuevamente se dejan activos únicamente los puntos del retorno 1.



UAEC

G13 Gráfico 13 Filtro de Clases y retornos para la generación del MDS.
Fuente: Imagen tomada a ArcGIS Desktop



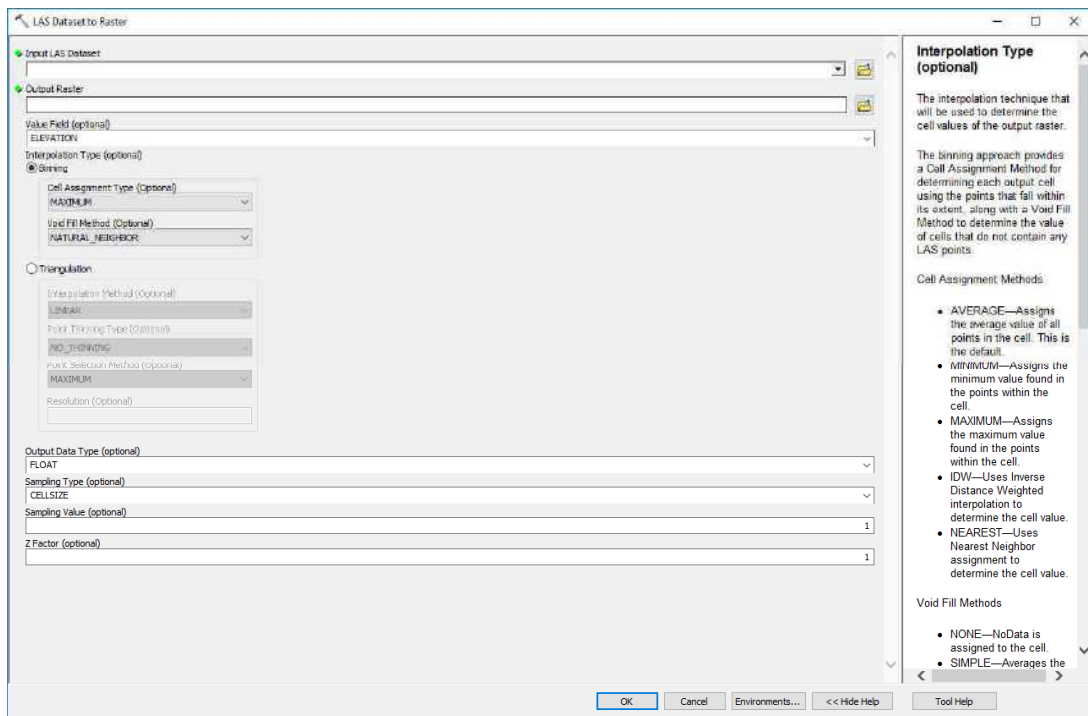
Nuevamente con la herramienta LAS Dataset to Raster de la Toolbox Conversion Tools, se genera el raster del MDS, sin embargo, la configuración de los parámetros es distinta en cuanto al método de interpolación, ya que para asignar el valor de la celda en el raster MDS en la opción Binning, se define que tome el valor máximo encontrado en el dato lidar y para rellenar los vacíos igualmente se establece Natural Neighbor. El tamaño de celda para los MDS de las diferentes fechas debe ser igual al empleado en la generación del MDT.



UAEC

G14

Gráfico 14 Configuración para la generación de un MDS, teniendo en cuenta todos los puntos del dato lidar, excepto la clase 7 y los puntos de primer retorno; **Fuente:** Imagen tomada a ArcGIS Desktop



Calculo de nDSM

Con las superficies ya generadas por cada fecha (MDT y MDS), se calcula el raster nDSM, realizando una operación de sustracción del MDT al MDS. En ArcGIS se puede hacer esta operación de diversas maneras, ya sea con la herramienta Raster Calculator o con las herramientas predefinidas en la ventana Image Analysis. Se debe tener en cuenta que con la herramienta Difference de Image Analysis, el raster resultante debe ser exportado al disco duro para poder ser utilizado en procesos posteriores. Se sugiere que los nDSM sean nombrados nDSM_1 para la fecha menos reciente y nDSM_2 para la fecha más actual. Los nDSM calculados van a contar con el mismo tamaño de celda de sus MDS y MDT.



UAECD

G15

Gráfico 15 Cálculo de nDSM_1, con la herramienta Raster Calculator
Fuente: Imagen tomada a ArcGIS Desktop



Una de las grandes ventajas de calcular el nDSM para cada fecha, es la normalización de las alturas de los elementos de la superficie terrestre, ya que todos quedan referidos al terreno como referencia absoluta, que para todos los casos será igual a un valor de cero. Permitiendo hacer comparaciones entre datasets que posiblemente cuenten con diferentes datum verticales (ya sean alturas elipsoidales o alturas ortométricas o alturas geométricas).

Calculo de raster de diferencias entre nDSMs

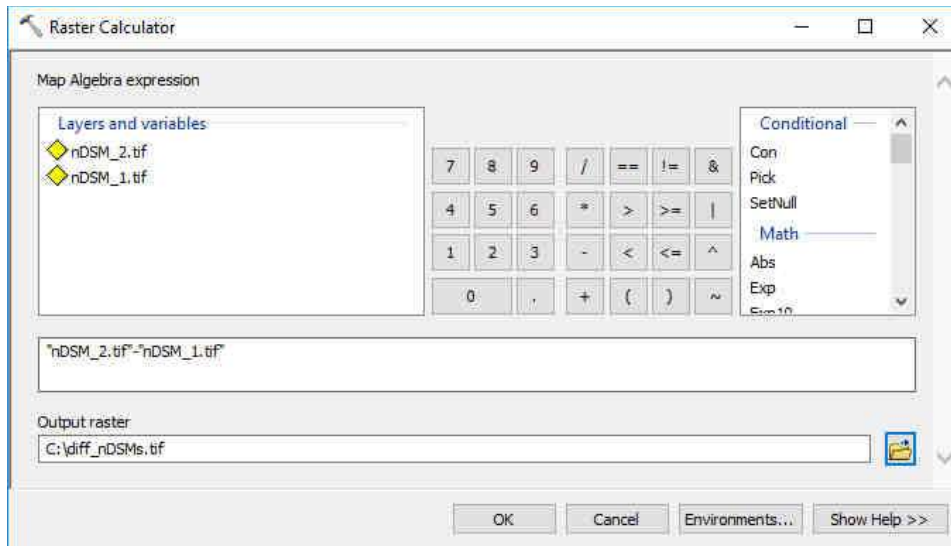
A partir de una nueva operación de sustracción entre el nDSM_1 y del nDSM_2, se obtiene un raster en el cual se pueden identificar las áreas en donde se presentaron procesos de demolición o procesos de nuevas edificaciones, dependiendo del signo obtenido para cada celda. La operación debe ser realizada de la siguiente manera: $diff_{nDSMs} = nDSM_2 - nDSM_1$, ver Gráfico 16

En el raster resultante denominado diff_nDSMs, los píxeles con valores negativos representan zonas sobre las cuales se presentaron demoliciones en el determinado periodo de tiempo y píxeles con valores positivos, representan zonas sobre las cuales se generaron nuevas edificaciones.



UAEC

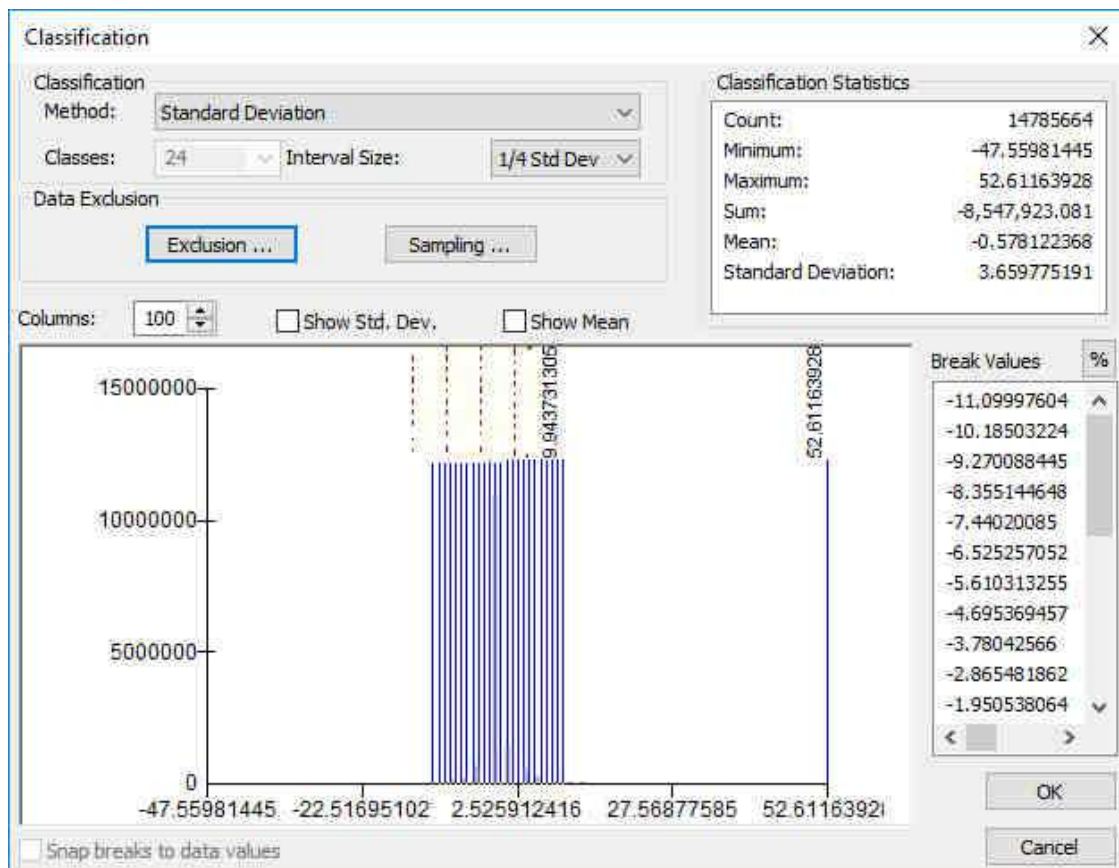
G16 Gráfico 16 Calculo de diff_nDSMs.
Fuente: Imagen tomada a ArcGIS Desktop




Ya que la metodología se divide en dos procesos: Proceso de identificación visual y un proceso estadístico, es muy importante para el proceso visual, resaltar los resultados del raster diff_nDSMs modificando la paleta de colores, ya que los resultados son mostrados en escalas de grises de forma predeterminada. La asignación de la nueva paleta de colores propuesta en el presente documento, busca resaltar los cambios más significativos, con colores de alta intensidad para que la identificación visual sea un proceso más rápido y sencillo. En las propiedades del raster diff_nDSMs se debe escoger la opción Classified y el método empleado debe ser Standard Deviation, con un tamaño de intervalo de $\frac{1}{4}$ de Std Dev.



G17 Gráfico 17 Paleta de colores para resaltar características de cambio
Fuente: Imagen tomada a ArcGIS Desktop

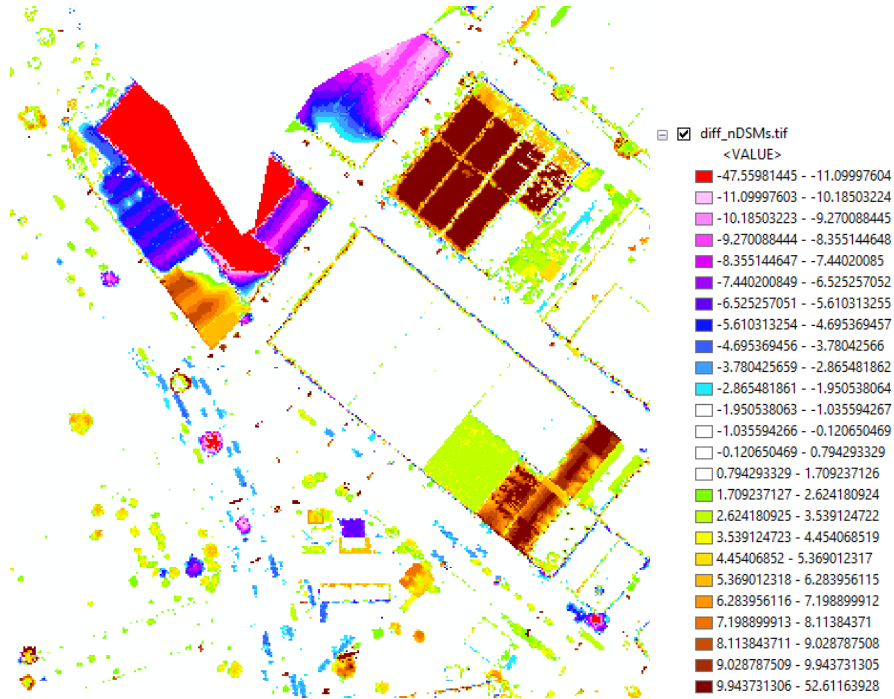


Asigne la Rampa de Colores que viene por defecto en ArcGIS llamada Temperature  y como último paso cambie el color blanco asignado a los valores más bajos a un color rojo, esto con el fin de diferenciar más fácil las zonas en las cuales se presentaron demoliciones. Cabe recordar y resaltar que no siempre se van a presentar las mismas distribuciones de color en todos los proyectos en los cuales se aplique esta metodología, por lo tanto, la persona puede proponer una nueva distribución de colores dependiendo de sus propias necesidades.



UAECD

G18 Gráfico 18 Asignación de colores de acuerdo a la altura.
Fuente: Elaboración propia



De acuerdo con la asignación de colores previamente configurada, el color café oscuro muestra zonas en las cuales se presentaron nuevas edificaciones con altura mayores a 10m y zonas de color rojo, resaltan áreas en la cuales se presentaron demoliciones con alturas mayores a 10m.

Inspección visual

De acuerdo con la metodología propuesta, a partir de una inspección visual se pueden detectar construcciones con problemas de desplazamiento y construcciones que no están incluidas en la base catastral manejada por la UAECD. Tomando como insumo, se carga en el espacio de trabajo el raster nDSM_2 (con la paleta de colores previamente definida) y por otro lado de la geodatabase oficial IDECA MR_V1218.gdb se carga el Feature Class denominado Cons, perteneciente al Feature Dataset Area_Catastral. Iniciando el proceso de identificación visual sobre toda el área del proyecto, paneando a una escala sugerida de visualización de 1:1000.



UAECD

Construcciones con problemas de georreferenciación

De acuerdo con el documento ESPECIFICACIONES TÉCNICAS CARTOGRAFÍA BÁSICA del IGAC, la Cartografía Básica en cuanto a la calidad del dato, específicamente en la Exactitud absoluta de posición, presenta los siguientes valores de aceptación.

T4 Tabla 4 Exactitud absoluta de posición por escalas.
Fuente: IGAC

Escala	Horizontal (m)	Vertical (m)	Exactitud Vertical Confianza (95%)	Exactitud Horizontal Confianza (95%)
	RMSEr	RMSEz		
1:1.000	0,30m	0,30m	0,59m	0,73m
1:2.000	0,60m	0,60m	1,18m	1,47m
1:5.000	1,50m	1,50m	2,94m	3,67m
1:10.000	3,00m	3,00m	5,88m	7,34m
1:25.000	7,50m	7,50m	14,7m	18,36m

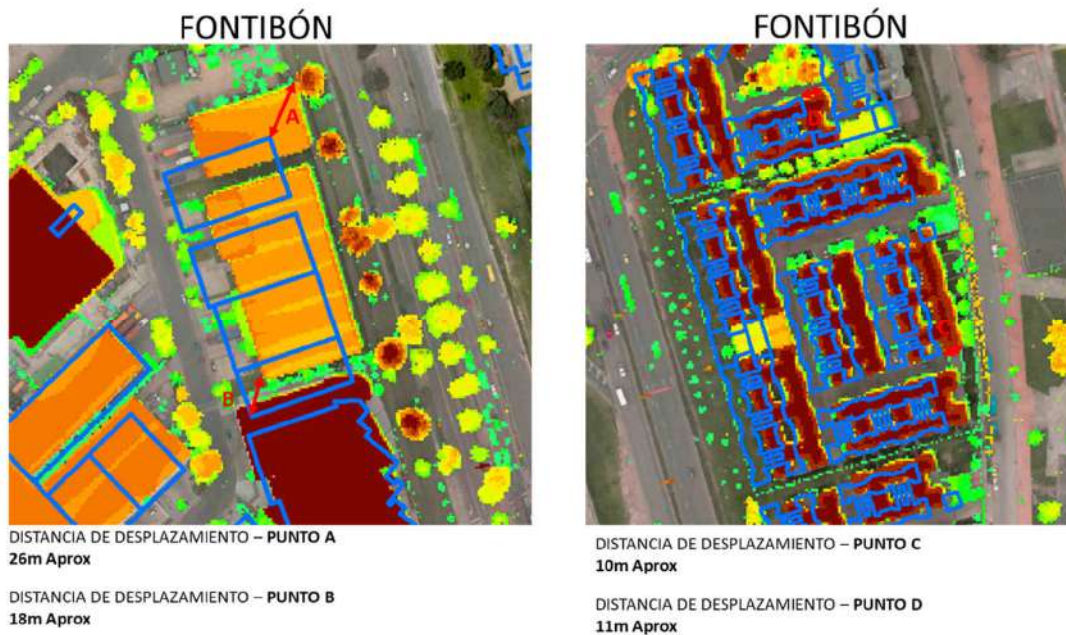
Teniendo en cuenta el valor de exactitud horizontal con un nivel de confianza del 95% para escala 1:1000, las construcciones con diferencias mayores a 0.73m entre el lidar y la base catastral deberán ser identificadas como construcciones con problemas de desplazamiento. Hay que tener en cuenta que el dato lidar y la capa de construcciones ya han pasado por un proceso de control de calidad previo y que los valores de aceptación relacionados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** obedecen a un proceso de calidad general del producto, basados en información de referencia (como puntos de fotocontrol) de por lo menos tres veces más de exactitud posicional, sin embargo, de acuerdo a la forma de revisión, se pueden llegar a detectar fácilmente desplazamientos “groseros” de más de 4m, lo cual es evidente a la escala de trabajo.



UAECD

G19

Gráfico 19 Ejemplos de desplazamientos entre el nDSM_2 y la base catastral
Fuente: Elaboración propia



Previamente a esta revisión, se crea un Feature Class denominado NON_Georeference con geometría de tipo polígono, en el cual se van copiando los polígonos de construcción que presenten problemas de desplazamiento, la identificación se hace sobre el área completa de interés. Como resultado se obtiene una capa vectorial con los polígonos que presentan problemas de georreferenciación con respecto a la información lidar.

Identificación de construcciones no incluidas en la base catastral

Tal como en el procedimiento anterior, se hace una identificación visual de las construcciones que no están incluidas en la última versión de la base catastral de la UAECD. Para este proceso se emplean el raster diff_nDSMs y la base catastral en su última versión, previamente se debe crear un Feature Class denominado NO_Existentes con geometría tipo punto, en el cual se van almacenando las ubicaciones de las construcciones no detectadas en la base catastral de forma visual.



UAECD

G20

Gráfico 20 Ejemplo de construcciones no identificadas en la base catastral.
Fuente: Elaboración propia



Como información secundaria, se pueden utilizar las imágenes satelitales de Google Maps ya que, para la zona de Bogotá a la fecha del presente documento, se encuentran imágenes del año 2019, fecha posterior a la de obtención de la información lidar y sobre las cuales se pueden verificar los resultados obtenidos. Adicionalmente, algunos puntos pueden ser verificados con ayuda de Google Street View, sin embargo, algunas zonas de Bogotá cuentan con información muy desactualizada (años 2012 o 2015) y no es posible verificar completamente el resultado. En la medida de lo posible para su verificación, es recomendable hacer visitas en campo.

Cálculo de estadísticas zonales para la extracción de polígonos de construcciones con cambios

Previamente al proceso de cálculo de estadísticas zonales, se deben eliminar los polígonos de construcciones con áreas menores a 25m², ya que en los procesos posteriores pueden llegar a generar información errónea.

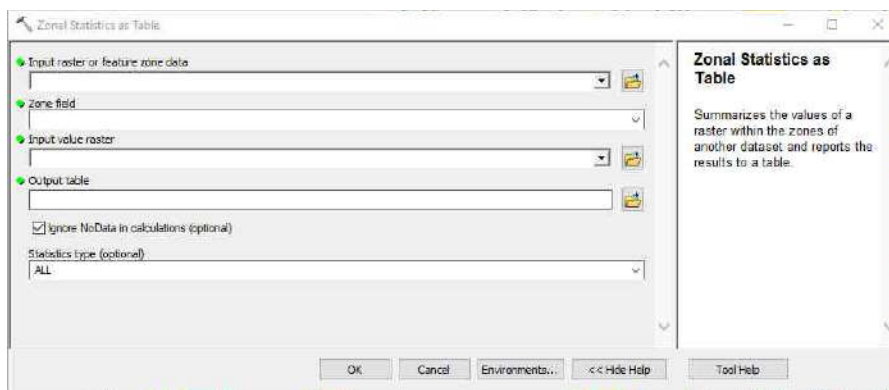
Para la extracción de los polígonos de construcción que han presentado cambios durante las dos fechas de adquisición de los datos lidar, es necesario aplicar procesos de identificación más automatizados, ya que un proceso de identificación visual demandaría bastantes horas de trabajo



UAECD

y más personal dedicado a la tarea de identificación. Por consiguiente, la aplicación de algoritmos de estadísticas zonales, permiten calcular sobre una capa vectorial (ya sea capa de construcciones), la información estadística para cada polígono, tomando como referencia una segunda capa (ya sea un raster), los valores de todos los pixeles que se encuentran dentro de cada polígono.

G21 Gráfico 21 Herramienta para el cálculo de estadísticas zonales con ArcGIS.
Fuente: Imagen tomada a ArcGIS Desktop



Para este cálculo, se requiere del raster denominado diff_nDSMs y el Feature Class de construcciones de la base catastral más actualizada (sin polígonos menores a 25m²). La herramienta se encuentra dentro de la Toolbox de Análisis Espacial y se denomina Zonal Statistics as Table (Gráfica 21). Las estadísticas calculadas por cada polígono son: el conteo de pixeles por polígono, el área en m², el valor mínimo, el valor máximo, el rango, la media, la desviación estándar y la sumatoria.

G22 Gráfico 22 Resultados de las estadísticas zonales
Fuente: Elaboración propia

Cambios_Fisicos_2006_2017									
Rowid	OBJECTID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	4697784	563	563	-7.396973	1.013916	8.410889	-0.851533	1.834558	-479.413086
2	4697785	429	429	-8.805908	1.830566	10.636475	-0.627473	1.703612	-269.186035
3	4697788	61	61	-1.340576	0.421875	1.762451	-0.171691	0.415864	-10.473145
4	4697789	84	84	3.931885	11.478027	7.546143	9.536252	1.501709	801.045166
5	4697988	256	256	-3.405762	8.387451	11.793213	1.839032	1.354338	470.792236
6	4697989	87	87	-1.45752	4.256348	5.713867	0.235354	0.959786	20.47583
7	4697990	65	65	-0.441162	9.233887	9.675049	4.433958	1.867829	288.207275
8	4697991	11	11	-0.378418	0.69751	1.075928	-0.071222	0.29496	-0.783447
9	4697992	143	143	-5.664307	6.773438	12.437744	0.194667	1.215112	27.837402
10	4698871	14	14	-3.963867	1.589355	5.553223	-2.494995	1.423758	-34.929932



UAEC

Las estadísticas resultantes son almacenadas en una tabla, como la mostrada en la (Gráfica 22), con la cual posteriormente, se aplica un Join (unión de atributos) basados en el campo OBJECID, el cual es común entre la tabla de estadísticas y la capa de construcciones de la base catastral. Como resultado, se adicionan a la capa de construcciones las estadísticas calculadas para cada polígono (Gráfica 23).

G23 Gráfico 23 Tabla de atributos resultante del Join
Fuente: Elaboración propia

FID	Shape *	OBJECTID	ConCodigo	ConNPisos	ConTSemis	ConMSotano	LoteCodigo	ConMejora	SHAPE_Leng	SHAPE_Area	Rowid	OBJECTID *	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
207	Polygon	4704939	002107001028000000000000	2	0	0	002107001028	0	0.000361	97.281519	101	4704939	88	88	-2.890625	4.888404	7.780029	1.355599	1.417443	119.292725
210	Polygon	4704995	002107001003001000000000	4	0	0	002107001003	0	0.000361	90.871209	102	4704995	92	92	3.901855	10.554199	6.652344	6.159172	1.922381	566.643799
211	Polygon	4704996	002107001002000000000000	1	0	0	002107001002	0	0.000307	45.556578	103	4704996	45	45	-2.78125	7.97583	10.75708	0.794775	2.463889	35.764893
212	Polygon	4704997	002107001030000000000000	1	0	0	002107001030	0	0.000258	48.430362	104	4704997	46	46	-2.455684	3.009104	5.458707	0.592652	0.912163	26.189335
213	Polygon	4704998	002107001028000000000000	1	0	0	002107001028	0	0.000217	34.932174	105	4704998	35	35	-0.833008	2.289307	3.122314	0.264049	0.870489	9.241699
215	Polygon	4705056	004310024013000000000000	1	0	0	004310024013	0	0.000208	28.516253	106	4705056	27	27	-2.786865	2.370117	5.156862	-0.170202	1.079045	-4.595459
228	Polygon	4706018	006509007003000000000000	1	0	0	006509007003	0	0.000636	310.314714	107	4706018	310	310	-5.520996	13.17627	18.697266	6.99232	4.607852	2167.619141
229	Polygon	4706116	002102020005000000000000	1	0	0	002102020005	0	0.00055	154.823944	108	4706116	156	156	-0.548096	5.590811	6.128906	0.519697	1.598558	81.072754
234	Polygon	4706372	006400020110000000000000	1	0	0	00640002011	0	0.000216	27.109221	109	4706372	26	26	0.000836	0.711162	0.704246	0.212534	0.173573	5.525679
235	Polygon	4706440	004412011003000000000000	1	0	0	004412011003	0	0.000407	39.214263	110	4706440	38	38	-0.528076	3.796387	4.324463	1.07145	1.282313	40.715088

Ahora, para extraer los únicos polígonos de construcción en los cuales se evidenciaron cambios de demolición o nuevas edificaciones, se aplica una selección por atributos, basados en el campo MEAN (valor promedio de alturas por polígono). Para la selección por medio de atributos, es necesario recordar lo siguiente: El valor mínimo a tener en cuenta es de -2m y 2m, tanto para demoliciones como para nuevas edificaciones respectivamente. La selección en ArcGIS se hace por medio de la siguiente sentencia:

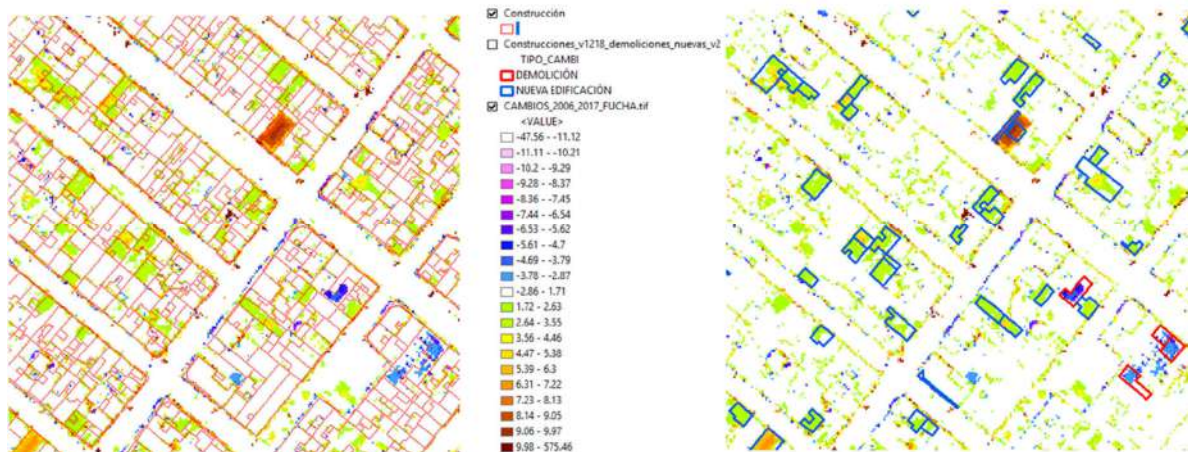
```
"cambios_fisicos:MEAN" <=-2 OR "cambios_fisicos:MEAN" >=2
```

Como resultado, se seleccionan los polígonos de construcciones que presentaron cambios mayores a 2m, tanto para demoliciones como para nuevas edificaciones. Los polígonos seleccionados, son exportados a un nuevo Feature Class denominado Cambios_Fisicos.



G24

Gráfico 24 Ejemplo de resultados. Izquierda: Capa construcciones superpuesta con diff_nDSMs. Derecha: Polígonos extraídos, luego de aplicación de estadísticas zonales. Fuente: Elaboración propia



Identificación de construcciones con diferencias en número de pisos entre base catastral y nDSM_2

Luego de obtener la capa de cambios físicos, se aplican nuevamente estadísticas zonales, pero teniendo como referencia el raster nDSM_2 (en el cual están las alturas de los objetos del año más actual), con el fin de comparar las alturas reportadas en la base catastral en su última versión (en el campo ConNPisos), con las alturas obtenidas directamente de la información lidar (nDSM_2). Ya en la tabla de atributos, para poder comparar estas alturas es necesario dividir la altura obtenida del nDSM_2 por un valor constante equivalente a una altura promedio por piso, en la presente metodología se aplica un valor de 2.7m de altura, para obtener en un nuevo campo de la capa de cambios físicos, el número de pisos aproximado de cada construcción, los polígonos de construcción que presenten diferencias mayores a dos pisos, va a ser guardados en un Feature Class con geometría tipo polígono y se nombrará Diff_Num_Pisos. Se seleccionan los polígonos de construcción con diferencias mayores a dos pisos, debido a la gran incertidumbre generada por la aplicación de un valor de 2.7m, ya que este valor puede variar bastante entre zonas con diferentes usos de suelo y no existe un único valor que se pueda aplicar a toda el área de estudio. Con este valor, se trata de compensar un poco la incertidumbre introducida por este valor constante.



UAEC

Conclusiones

A partir de datos lidar tomados en diferentes fechas, se pueden llegar identificar de forma puntual algunos cambios presentados en determinados polígonos de construcción durante un lapso tiempo, estos cambios son detectados a partir de una comparación directa entre las alturas medidas por el sensor lidar en las distintas fechas.

Con respecto a las posibles metodologías basadas en la comparación de imágenes ya sean satelitales o imágenes aéreas para la detección de cambios, los resultados obtenidos con la metodología basada en datos lidar, no dependen de los valores radiométricos asociados a la imagen ya que, si hubo una mejora en alguna construcción, pero sobre esta se instalaron cubiertas del mismo material o un material muy similar al anterior a la modificación, es muy probable que las respuestas radiométricas sean muy similares, evitando que el algoritmo de detección a partir de imágenes, valga la redundancia, lo detecte. Otro problema asociado al proceso de detección de cambios con imágenes, se presenta por las diferentes inclinaciones de las construcciones, ya que en un ortofotomosaico convencional, se corrige la posición de los elementos que están a suelo, en el caso de las construcciones, la única parte que se encuentra en su posición real es la base, mientras que las partes más altas pueden estar totalmente desplazadas con respecto a su base, por lo tanto, si se hace la comparación entre dos diferentes fechas, es muy probable que el algoritmo detecte las diferentes inclinaciones de la misma construcción como cambios, lo cual no es cierto.

Con respecto a la ortogonalidad de las construcciones, a diferencia de las imágenes, la nube de puntos lidar no presenta inconvenientes de inclinación aparente, por consiguiente, los problemas de desplazamiento (georreferenciación) detectados en la base catastral, pueden ser corregidos o justados con base a la información lidar, ya sea en un ambiente 2D o 3D.

La toma periódica de información lidar y la aplicación de la metodología propuesta, es de gran importancia para la UAECDD, ya que permite priorizar las zonas de cambios significativos (pre-reconocimiento) con fuentes de información confiable, para la optimización de las visitas en campo (reconocimiento), para el proceso de validación de los resultados reportados. Además de mantener la base cartográfica actualizada en cuanto a la información física de las construcciones, en algunas zonas de la ciudad en donde el ingreso puede ser un poco complejo.



UAECDD

Recomendaciones

Aunque en la presente metodología, se empleó como información secundaria los ortofomosaicos de Mapa de referencia (años 2007 y 2014) y la imagen satelital de Google Maps (año 2019), para el proceso de validar algunos resultados en la detección de cambios, las diferentes fechas de toma entre los datos lidar y las imágenes, pueden llegar a dificultar este proceso, generando cierta incertidumbre en los resultados reportados al final. Por tal motivo, se sugiere que en el momento de contratar la adquisición de datos lidar, se garantice la toma de fotografía aérea, para la generación de un ortofotomosaico, preferiblemente un ortofotomosaico verdadero, ya que en el verdadero las construcciones deben quedar totalmente ortogonales, permitiendo una base de información más fidedigna, que permita en la mayoría de caso evidenciar los cambios físicos detectados en las edificaciones, por los datos lidar. Igualmente, en la toma de aerofotografía se debe garantizar que sea incluida la información de la banda del infrarrojo ya que, al incluir esta información en la metodología propuesta, se pueden llegar a mejorar los resultados notablemente, debido a que la vegetación podrá ser más fácilmente identificada y removida, evitando que en algunas zonas sean confundidos puntos correspondientes a vegetación con puntos pertenecientes a construcciones.

Aunque es posible realizar la metodología con las actuales herramientas tecnológicas para el procesamiento de información geográfica de la UAECD, se recomienda que, para un mejor desempeño, en el caso de querer replicar la metodología a nivel Bogotá, se adquieran las herramientas de LAS Tools (el costo de 1 licencia completa es de 6.000 €), ya que ofrecen la capacidad de procesar grandes volúmenes de información lidar, que en comparación con las herramientas básicas empleadas en el presente documento, ofrecen una mayor estabilidad en los procesos ejecutados y menores costos computacionales. Es claro que esta recomendación debe estar acompañada con el mejoramiento del hardware, que de acuerdo al informe “INVESTIGACIÓN DE SOFTWARE Y HARDWARE PARA LA REVISIÓN DE INFORMACIÓN PROVENIENTE DE SENSORES REMOTOS”, se hace la siguiente recomendación en cuanto a las especificaciones mínimas para la operación de los programas necesarios, ver **iError! No se encuentra el origen de la referencia..**



UAECD

T5 Tabla 5 Especificaciones mínimas de hardware para el procesamiento de datos provenientes de sensores remotos, **Fuente:** Elaboración propia

ELEMENTOS	CARACTERÍSTICAS MÍNIMAS
Computador / Procesador:	64 bits: Intel 64 (EM64T), AMD 64 o equivalente (Se recomiendan los procesadores multi-core)
Memoria (RAM)	16 GB o más
Espacio en disco	Mínimo 8 GB para la instalación del software Los requisitos de almacenamiento de datos varían según el proyecto. (Se recomiendan discos de alta velocidad o de estado sólido.)
Sistema operativo	<ul style="list-style-type: none"> • Windows 7 SP1 o superior, Professional and Ultimate (64-bit) • Windows 8 (Standard), Professional and Enterprise (64-bit) • Windows 8.1 (Standard), Professional and Enterprise (64-bit) • Windows 10 Pro (64-bit) • Windows Server 2008 R2 SP1 (64-bit) • Windows Server 2012 R2 (64-bit) • Windows Server 2016 (64-bit)
Tarjetas Graficas (Recomendado para fotogrametría)	NVIDIA Quadro K5200, K4200, K2200, K4206 NVIDIA Quadro K5000, K4000, K600
Monitores de pantalla estéreo recomendados (Recomendado para fotogrametría)	Monitor LCD con kit NVIDIA 3D Vision™ con Velocidad de refresco 120 Hz (o superior)
Periféricos	Ratón compatible con Windows con rueda de desplazamiento o dispositivo de entrada equivalente Teclado compatible con Windows. Puertos USB de súper alta velocidad (3.0)

Debido a la gran dinámica presentada en la ciudad de Bogotá, en cuanto a cambios físicos, es muy importante que la toma de información lidar sea periódica, con un cubrimiento total del área urbana de Bogotá. Se sugiere que se haga una toma de información lidar por año, con una densidad de 2 pulsos por metro cuadrado (pls/m²), como mínimo.



UAECD

Bibliografía

- American Society for Photogrammetry & Remote Sensing. (2013). *LAS SPECIFICATION VERSION 1.4 - R13*. Bethesda, Maryland: The American Society for Photogrammetry & Remote Sensing.
- American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. (2015). ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing Vol. 81, No. 3*, A1-A26.
- Castillo , V., & Lorena, P. (2016). *Aportes de la Pasantía Realizada en el Observatorio de la PPLGBTI a la Formación en Pedagogía de las Ciencias Sociales*. Bogotá D.C.: Repositorio Institucional Universidad Distrital - RIUD . Obtenido de <http://hdl.handle.net/11349/4291>
- Dong, P., & Chen, Q. (2018). *LiDAR Remote Sensing and Applications*. Terre Haute, Indiana, U.S.A.: CRC Press Taylor & Francis Group.
- Krzystek, P. (2014). *Advanced lidar data processing with LasTools*. Munich.
- Li, Z., Qing, Z., & Gold, C. (2005). *DIGITAL TERRAIN MODELING Principles and Methodology*. Boca Raton: CRC Press.
- McManamon, P. (2015). *Field Guide to Lidar*. Bellingham, Washington: SPIE.
- Pang, S., Hu, X., Cai, Z., & Gong, J. (2018). Building Change Detection from Bi-Temporal Dense-Matching Point Clouds and Aerial Images. *Sensors*, 3-16.
- Shan, J., & Toth , C. K. (2009). *TOPOGRAPHIC LASER RANGING AND SCANNING Principles and Processing*. Boca Raton: CRC Press Taylor & Francis Group, LLC.
- Sotoodeh, S. (2006). OUTLIER DETECTION IN LASER SCANNER POINT CLOUDS. *IAPRS Volume XXXVI*, 297-302.
- Unidad Administrativa Espacial de Catastro - UAECD. (2014). *Propuesta Técnica y metodológica para el uso de imágenes de sensores remotos como apoyo al censo inmobiliario de Bogotá*. Bogotá D.C.





Latitud: 4.603557, Longitud: -74.094105
Bogotá, Cundinamarca, Colombia.

[www.
ideca.
gov.
co](http://www.ideca.gov.co)