

# **NUEVAS TÉCNICAS PARA GENERAR CARTOGRAFÍA DE MANERA AUTOMÁTICA, POR MEDIO DE FOTOGRAMETRÍA DIGITAL, LIDAR Y SEGMENTACIÓN DE IMÁGENES.**

**New techniques for mapping generate automatically, using digital photogrammetry, LIDAR and image segmentation.**

**Autores: MSc. William Barragán Zaque, MSc. Jose A. Lizcano Caro,  
Ing. Edinson Angarita Manosalva**

## **Resumen**

Dentro de este trabajo se presenta un desarrollo para la ciudad de Bogotá, en donde se emplean fotografías aéreas verticales de alta resolución, nubes de puntos obtenidas con tecnología LIDAR. Se ejecutan procedimientos de segmentación de imágenes y es complementado con procedimientos digitales para generar productos fotogramétricos y obtener de manera totalmente automática y en formato vectorial la cartografía de las edificaciones que se encuentran en la zona de estudio. Se tiene en cuenta alturas de las construcciones, algoritmos de segmentación, combinaciones de bandas espectrales. El resultado es la producción de cartografía automáticamente, para las edificaciones con una efectividad mayor al 97%, mostrando así, que la producción de cartografía para el futuro puede ser con métodos similares al planteado.

## **Abstract**

This project is carried a development for the city of Bogota , where vertical aerial photographs in high resolution, point clouds obtained with LIDAR technology used is used . Image segmentation procedures are executed and is supplemented with digital photogrammetric methods, for generating products and get fully automatically and in vector format mapping of buildings found in the study area. It takes into account the construction heights , segmentation algorithms , combinations of spectral bands. The result is the production of automatically mapping , for buildings with greater effectiveness than 97% , showing that the production of mapping for the future can be raised similar to the methods .

**Palabras claves:** Fotografías Aéreas, Segmentación de Imágenes, Cartografía, extracción Automática,.

**Key words:** Aerial Photography , Image Segmentation , Cartography, Automatic extraction

..

## **Introducción**

Dentro del perfeccionamiento del presente trabajo se desarrolla el diseño metodológico y se pone a prueba el mismo, para que pueda tener como resultado extraer automáticamente y de manera vectorial, los techos de las edificaciones ubicadas en una parte de la ciudad de Bogotá, en Colombia. Se realiza, de acuerdo con las últimas tendencias mundiales para generar cartografía de manera automática.

Se emplea un procedimiento fotogramétrico Digital, realizando la orientación interna, orientación externa, la generación del modelo digital del terreno, hasta finalmente la producción de una ortofoto; que sirvió de principal insumo para ser integrado con nubes de puntos obtenidas con tecnología LIDAR. Teniendo en cuenta la altura de las edificaciones extraídas del modelo digital de superficie DSM<sup>1</sup>, se generaron algoritmos de segmentación de imágenes, mediante procedimientos netamente digitales que se complementaron con la definición de umbrales de la desviación estándar de la pseudoimagen que representa el modelo digital de superficie.

Se realiza combinaciones y operaciones algebraicas de las bandas espectrales en las fotografías aéreas, para resaltar las características de los elementos, de esta manera se brinda una plena identificación de las construcciones en la zona, se identifica la geometría y forma, la compacidad y los factores de escala. Elementos que de manera conjunta y coordinada permiten la extracción automática de las edificaciones de la zona comprendidas en las fotografías aéreas. El resultado de estos trabajos presenta las edificaciones obtenidas de manera automática, considerando avances importantes y limitaciones en este importante tema. Estos productos finales se apoyaron con trabajo de campo y visitas de comprobación de los resultados generados. Solo así, se presenta un resultado confiable y certero donde se muestra que las últimas tecnologías en materia de segmentación automática de imágenes en combinación con la tecnología LIDAR<sup>2</sup> y la integración de diferentes algoritmos de asignación de clases permite extraer de manera automática las edificaciones de la zona de trabajo, demostrando así que estas tecnologías son aplicables con resultados plenamente confiables.

## **Desarrollo Metodológico y procesamiento de datos**

A continuación se presenta el desarrollo de las etapas que conducen al desarrollo de la metodología, en donde, primeramente se realiza todo el procesamiento fotogramétrico que permite obtener ortofotos<sup>3</sup> digitales, previamente construyendo el DTM<sup>4</sup> fuente, la definición de unidades, el tamaño de pixel de trabajo, que será consecuente con el tamaño final de la imagen.

---

<sup>1</sup> Acronimo de Digital surface Model o modelo digital de Superficie

<sup>2</sup> Acrónimo de Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging, es una tecnología que permite determinar la distancia.

<sup>3</sup> Fotografía rectificada que presenta una sola escala, con una proyección central.

<sup>4</sup> Acrónimo de Digital terrain Model o Modelo Digital del Terreno

En segunda medida se realiza la segmentación de la imagen utilizando el algoritmo de multiresolución<sup>5</sup>. Finalmente, se realiza la estipulación de condicionamientos y creación de reglas que permiten realizar la extracción automática de las edificaciones. Teniendo en cuenta en primera instancia, la clasificación de los elementos presentes en la ortofoto, utilizando los valores de la media de los valores de las alturas del DSM, seguidamente realizando un análisis de la desviación estándar de las alturas presentadas en el DSM, posteriormente un refinamiento basado en información espectral, al igual que un refinamiento basado en contexto, para llegar a la obtención automática de la cartografía de las edificaciones, finalmente se realiza un refinamiento basado en forma.

## ***PRIMERA ETAPA – métodos fotogramétricos***

La fuente de información son fotografías aéreas adquiridas por el instituto Geográfico Agustín Codazzi<sup>6</sup> - IGAC con la cámara digital aerotransportada Vexcel Ultracam D<sup>7</sup>; las fotografías o imágenes aéreas tienen un traslape a lo largo de la dirección de vuelo. Para el desarrollo del trabajo se tuvo en cuenta la corrección de la geometría asociada a la cámara/sensor y el tamaño del pixel o GSD<sup>8</sup>, que representa lo que en fotogrametría analógica era la relación promedio entre una distancia en la imagen y la misma distancia en el terreno. Para la realización de su cálculo se dividió la distancia focal entre la altura de vuelo respecto a la elevación promedio del terreno. El tamaño promedio del GSD para el proyecto es de 8 centímetros. En esta primera parte se realiza la generación de modelo estereoscópico, siendo el principal insumo para generar la posibilidad de tomar medidas en coordenadas X, Y y Z con niveles de precisión acordes que permiten obtener cartografía posterior a una restitución fotogramétrica.

Es aquí en donde se realiza la selección del marco de referencia espacial que permite la definición de localizaciones mediante coordenadas. Complemento esencial para el establecimiento del bloque fotogramétrico, teniendo en cuenta los datos de la cámara fotogramétrica la altura media de vuelo y el tipo de sensor.

Antes de realizar la orientación interna de cada una de las imágenes se crean las imágenes piramidales, que optimizan el tiempo para despliegue y procesamiento. En esta orientación se ingresa los datos del tamaño de píxel. Específicamente en la configuración de la cámara es necesario el ingreso de los datos del certificado de calibración de la cámara con que fueron tomadas las fotografías. Para la generación de datos de orientación externa, es necesario contar con las coordenadas de los fotocentros:  $X_o$ ,  $Y_o$ ,  $Z_o$ , el ID de la imagen, los valores de los ángulos Omega, Phi, Kappa consignados en los datos del (IMU<sup>9</sup>).

Para la orientación externa, es necesaria la ubicación en la imagen de puntos de homólogos, este procedimiento se puede realizar de manera manual o automática. Cuando se ajusta el bloque fotogramétrico es posible realizar el cálculo de las estadísticas referidas al ajuste de mínimos cuadrados para estimar parámetros de precisión. Los mínimos cuadrados minimizan

---

<sup>5</sup> Es un método de segmentación basado en la unificación de zonas en la imagen, de acuerdo a las características de similar condición que se presenten dentro de ella.

<sup>6</sup> Es el instituto estatal, que oficialmente produce cartografía en la república de Colombia

<sup>7</sup> Cámara métrica digital aérea, propiedad del instituto Geográfico Agustín Codazzi - IGAC

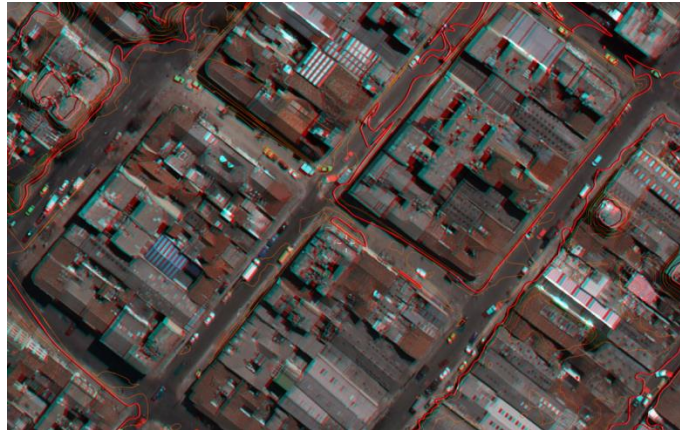
<sup>8</sup> Hace referencia al tamaño del objeto a reconocer, que en inglés se define como Ground Sample Distance

<sup>9</sup> significa Inertial measurement unit, permite obtener datos de posicionamiento de cada una de las fotos con respecto a las otras.

y distribuyen el error a lo largo del bloque, finalmente con la información de los datos obtenidos en campo se asignan coordenadas reales al modelo.

En última instancia, en esta etapa se elabora el DTM. Para comprobar su precisión genera con un parámetro igual que el número de pixel por metro cuadrado del modelo final que se quiere. Los datos del terreno pueden ser vistos de forma mono o estéreo. En la figura 1, se observa parte de la zona de trabajo en forma estereoscópica. De este modelo, se puede obtener el DTM, insumo importante para obtener la ortofoto.

*Fuente: Elaboración de los autores*



*Figura 1. Parte de la zona de trabajo, presentando curvas de nivel, visualizada estereoscópicamente, para ser visualizado en tercera dimensión, con sistema de anáglifos*

## ***SEGUNDA ETAPA – Segmentación automática***

### **Los Algoritmos Segmentación**

Son utilizados para subdividir imágenes enteras a un nivel de píxeles, o presentar objetos de imagen de otros dominios, en objetos de imagen más pequeños. Existen diferentes algoritmos para realizar segmentación de imágenes digitales, dentro de los más sencillos se encuentran los de tablero de ajedrez o Chessboard Segmentation<sup>10</sup> y la segmentación basada en árboles de cuadrángulos o quadtree<sup>11</sup>. Existen otros algoritmos altamente sofisticados como la segmentación por multiresolución y segmentación por contraste de filtros. La utilización específica de los algoritmos de segmentación se presenta, cada vez que desee crear nuevos objetos de imagen basados en información de las capas de la imagen original.

---

<sup>10</sup> Es un algoritmo de segmentación que divide el dominio de píxeles o un dominio objeto de imagen en objetos de imagen cuadrados. La característica particular es que la segmentación de la imagen digital se presenta con cuadrados de igual tamaño, similar al tablero de un ajedrez. El tamaño de los cuadros es definido en los parámetros de escala.

<sup>11</sup> Es un algoritmo de segmentación que divide el dominio de píxeles o un objeto de imagen dominio en una red formada por objetos cuadrados de diferente tamaño. Se aplica a todos los objetos en el dominio y cada objeto se corta a lo largo de las líneas de división. Cada cuadrado tiene un tamaño máximo posible y cumple los criterios de homogeneidad definidos en los parámetros de escala. El tamaño máximo de objeto cuadrado es de 256 x 256, o 65.536 píxeles.

Adicionalmente, son una herramienta muy valiosa para refinar objetos de imagen existente, mediante la subdivisión en partes más pequeñas para un análisis detallado.

### ***Algoritmo de segmentación por multiresolución***

Disminuye la heterogeneidad medios los objetos presentes en una imagen, teniendo en cuenta una determinada resolución. Se puede ejecutar a nivel objeto o nivel de píxel, para la creación de nuevos objetos de imagen.

Este algoritmo de segmentación fusiona consecutivamente píxeles o la imagen objeto existente. Por lo tanto, es un algoritmo denominado “de abajo hacia arriba” refleja una segmentación basada en una región pairwise<sup>12</sup>. El procedimiento de segmentación por multiresolución funciona según las siguientes reglas.

Inicialmente, la segmentación de objetos de imagen individuales de un píxel y repetidamente ellos se funde en varios bucles en pares<sup>13</sup> a unidades más grandes, siempre y cuando, exista un umbral superior de homogeneidad que no sea superado localmente. Este criterio de homogeneidad, se define como una combinación de homogeneidad espectral. Únicamente se puede influir en este cálculo mediante la modificación del parámetro de escala, para el trabajo realizado se asumió un valor correspondiente a 25 píxeles, como factor de escala. Cuando se asume un valor alto en el parámetro de escala el resultado de la segmentación son objetos de imagen de mayor tamaño, cuando se asigna un valor bajo en el parámetro de escala, el resultado será objetos de imagen de menor tamaño.

1. En segunda instancia del procedimiento, la semilla busca su mejor ajuste de vecino para una posible fusión.
2. Si el mejor ajuste no es mutuo, el mejor objeto de imagen candidato, se convierte en la nueva semilla
3. objeto de imagen y encuentra su mejor mutualista apropiado.
4. Cuando el mejor ajuste entre píxeles es mutuo, los objetos de imagen se fusionan.
5. En cada bucle que se ejecute, cada objeto de imagen en el nivel de objeto se manejará una vez.
6. Los ciclos continúan, cuantas veces sea necesario, hasta que ya no es posible fusión.

Es establecida una rutina de búsqueda del mejor vecino del objeto de la imagen. Las iteraciones del procedimiento se realizan hasta que no hay fusiones de objetos de imagen adicionales; este procedimiento se puede realizar sin sobrepasar la máxima homogeneidad permitida para un objeto de imagen, que se ha definido de manera previa.

---

12 Segmentación basada en comparación por parejas. Es referida a cualquier proceso de comparación de las entidades en pares, para juzgar cuál de cada entidad es preferida, o tiene una mayor cantidad de alguna propiedad cuantitativa. El método de comparación por pares se utiliza en el estudio científico de las preferencias, actitudes, y sistemas multiagente de Inteligencia Artificial.

13 Un bucle o loop, en programación, es una sentencia que se realiza repetidas veces a una parte del código, se realiza repetidamente hasta que la condición deje de cumplirse. ahorra tiempo, con código más claro y susceptible de cambios fácilmente.

Con un cualquier tamaño promedio de los objetos de imagen, la segmentación por multiresolución presenta una buena abstracción y conformación de áreas. No obstante, tiene como principal requisito, que en la estación de trabajo (WS) que se esté realizando el procedimiento tenga una capacidad de memoria alta. Es necesario tener en cuenta que otras técnicas de segmentación pueden consumir más recursos computacionales.

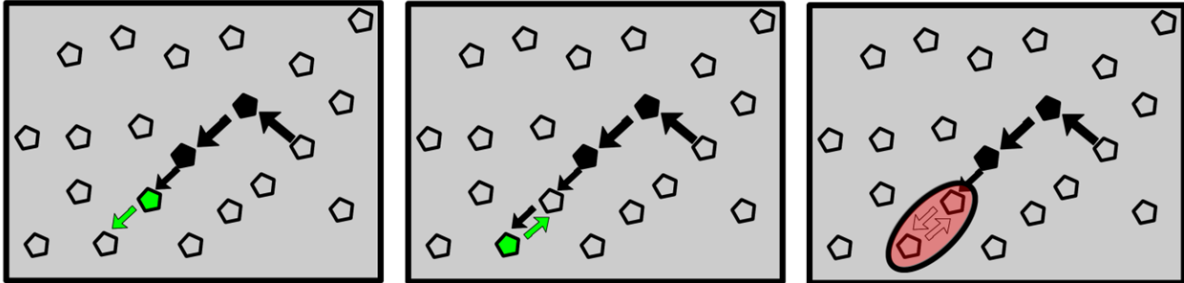


Figura 2. Formación de nueva región. El algoritmo de segmentación por multiresolución trabaja para que la ubicación salte de objeto en objeto repetidamente hasta que encuentre un mejor vecino. Si la homogeneidad del nuevo objeto imagen no excede el parámetro de escala, los dos objetos de imagen pareja se fusionan, formando así la nueva región.

Fuente: Elaboración de los autores

### ***Asignación de pesos a capas de la imagen***

Para la segmentación por multiresolución se puede asignar pesos a cada una de las capas de la imagen. Es posible tener resultados más certeros dado que cuanto mayor sea el peso asignado a una capa de imagen, más peso se le dará a la información de píxeles de la capa durante el proceso de segmentación.

Es posible también, especificar las capas temáticas a ser candidatos para la segmentación. Cada capa temática que se utiliza para la segmentación conducirá a la división adicional de objetos de imágenes al tiempo que permite acceso consistente a su información temática. Es posible segmentar una imagen utilizando más de una capa temática. Los resultados son los objetos de imagen que representan intersecciones adecuadas entre las capas temáticas. Sin duda alguna la definición del tamaño de las regiones en la segmentación es el parámetro de escala, el cual determina la heterogeneidad máxima permitida para los objetos de imagen resultante. Este parámetro también define que los objetos resultantes de un valor de escala determinado condicionan un número mayor de regiones heterogéneas y un número menor de regiones homogéneas.

Es recomendable, producir objetos de imagen de la mayor escala posible, que permitan distinguir diferentes regiones de imagen, cumpliendo con el principio de tener regiones finales, tan grande como sea posible y tan finas como sea necesario. Es necesario también verificar que la escala de los objetos de imagen es un poco menos preponderante que la separación de las diferentes regiones.

### ***Definición de la homogeneidad de las regiones***

El parámetro de escala define la homogeneidad de las regiones resultado de la segmentación. Principalmente se calculan tres criterios: el color, la suavidad, y compacidad. El criterio de color es el más importante para crear objetos significativos. Cuando la homogeneidad es alta,

normalmente mejora la calidad de la extracción de objetos, porque la compacidad de los objetos espaciales está asociada con el concepto de forma de la imagen. Lo que permite que, los criterios de forma sean especialmente útiles para evitar resultados de objetos altamente divididos.



*Figura 3. Aerofotografía con GSD correspondiente a 3cms Zona correspondiente al norte de Bogotá  
Fuente: Adquirida por los autores y CAMARA DEL AIRE SAS, desde aeronave remotamente tripulada.*

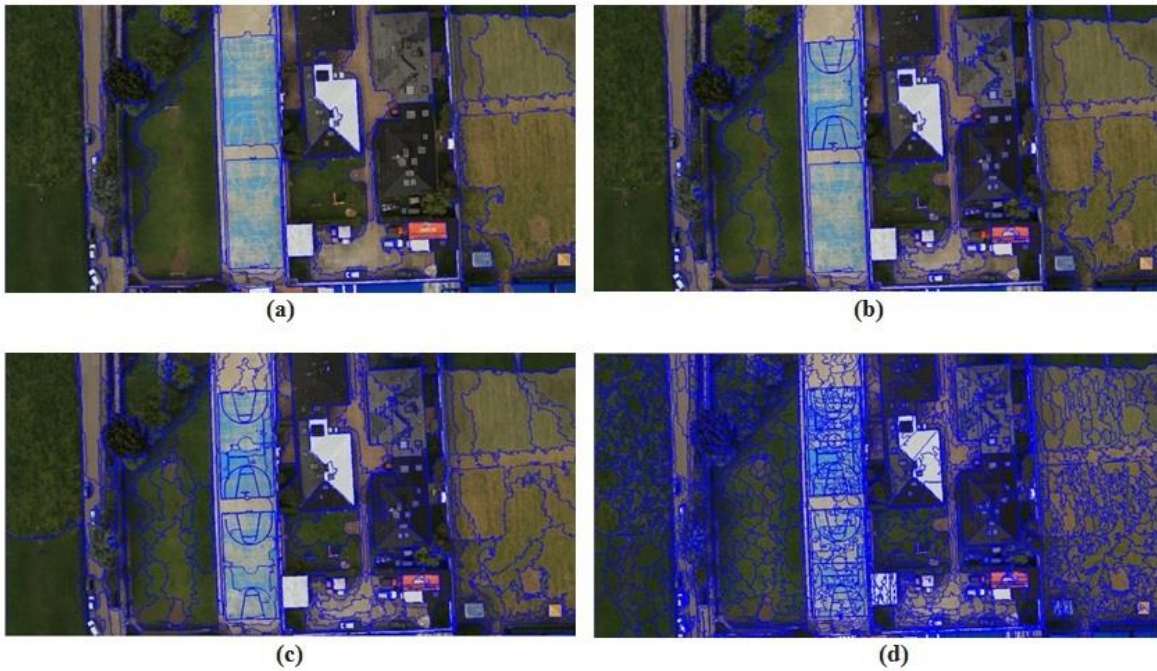


Figura 4. Comparación de aerofotografía segmentada con un parámetro de criterios de homogeneidad, forma 0.1, compacidad 0.5. Se presenta variación en el factor de escala para a) factor de escala 800, b) factor de escala 500, c) factor de escala 300 y d) factor de escala 100. Fuente: Elaboración de los autores

### ***Segmentación de diferencia espectral***

El algoritmo de segmentación de diferencia espectral, fusiona los objetos de imagen vecinos, de acuerdo a los valores medios, de la capa de intensidad de la imagen. Los objetos de imagen vecinos son fusionados si la diferencia entre sus intensidades medias de capas, están por debajo del valor dado por la diferencia espectral máxima. Este algoritmo está diseñado para refinar los resultados de segmentación existente, mediante la fusión espectral de los objetos de imagen similares, producidos por segmentaciones anteriores. Adicionalmente es posible definir la máxima diferencia espectral teniendo en cuenta valores pancromáticos, entre los objetos de imagen que son utilizados durante la segmentación. Si el valor de la diferencia es bajo los objetos vecinos se fusionan. A continuación se presentan las ecuaciones [1|2|3] que representan la normalización de cada una de las capas en concordancia con el pesos asignado para cada una de ellas. En donde  $[k_1; k_2; k_3]$  corresponden a las capas y  $[w]$  concierne al peso asignado.

$$wnk_1 = \frac{wk_1}{(wk_1 + wk_2 + wk_3)} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$wnk_2 = \frac{wk_2}{(wk_1 + wk_2 + wk_3)} \quad \text{Ecuación 2}$$



$$wnk_3 = \frac{wk_3}{(wk_1 + wk_2 + wk_3)} \quad \text{Ecuación 3}$$

## **RESULTADOS OBTENIDOS**

Para obtener cartografía de manera automática se requieren 2 insumos. El primero, la imagen multiespectral obtenida con la cámara Vexel ultra Cam D y el segundo, la nube de puntos LIDAR, que fue convertida en una pseudoimagen, que representara el modelo Digital de superficie. La imagen cuenta con tres bandas espectrales (rojo, verde, azul), a esta imagen se realiza una segmentación por multiresolución, con el objeto realizar una discriminación de zonas con homogeneidad y zonas heterogéneas. Posterior a ello, se efectúa una primera clasificación de las edificaciones, teniendo como parámetro básico, la altura de las mismas; siendo extraído de la media del DSM, que para el desarrollo del presente trabajo se estableció una mayor o igual a 2610 msnm. El resultado fue unas áreas que satisfacen esta condición. A las áreas obtenidas se realiza un análisis estadístico de cómo es el comportamiento de la desviación estándar de las alturas de los elementos clasificados anteriormente, se asume que si los valores de la desviación estándar de las alturas tienen una dispersión baja, corresponde a techos de edificaciones, si por el contrario, la dispersión es alta se trata de vegetación. Con este criterio se aplica un algoritmo matemático de asignación de clase, asumiendo que los elementos que tienen un valor de desviación estándar superior a 6, se considera, pertenecen a árboles. De esta manera, las áreas que anteriormente fueron clasificados como edificio y que por los valores de desviación estándar de DSM, no lo son, se pueden sustraer. Aunque la clasificación de edificaciones mejora, es posible observar que aún se encuentra clasificada parte de la vegetación como edificios, para mejorar la clasificación actual se realiza un refinamiento basado en información espectral, donde se utiliza siguiente operación matemática entre bandas:

$$\text{Realce de Vegetacion} = \frac{\text{Banda Verde}}{(\text{Banda Rojo} + \text{Banda Verde} + \text{Banda Azul})}$$

Después de aplicar la anterior formula, se muestran los lugares en donde existe vegetación, esta información es útil para identificar cuáles de las zonas que aún siguen clasificadas como edificaciones, no lo son; haciendo que se genere una clasificación más acertada. Como la nueva clasificación de edificios presenta zonas en donde se evidencia que los edificios no se encuentran completos en su geometría, es decir, no tienen una forma tan regular y definida como en la realidad se presentan, se procede a realizar un refinamiento basado en contexto, para este procedimiento se tiene en cuenta, la relación del área con los pixeles vecinos. Aplicando un algoritmo de asignación de clase y definiendo una condición de umbral de relación de los bordes de los edificios, la geometría de la clasificación mejora sustancialmente. De esta manera se llega a un resultado de cuales áreas corresponden a edificaciones en la zona de estudio, sabiendo que es netamente automático.

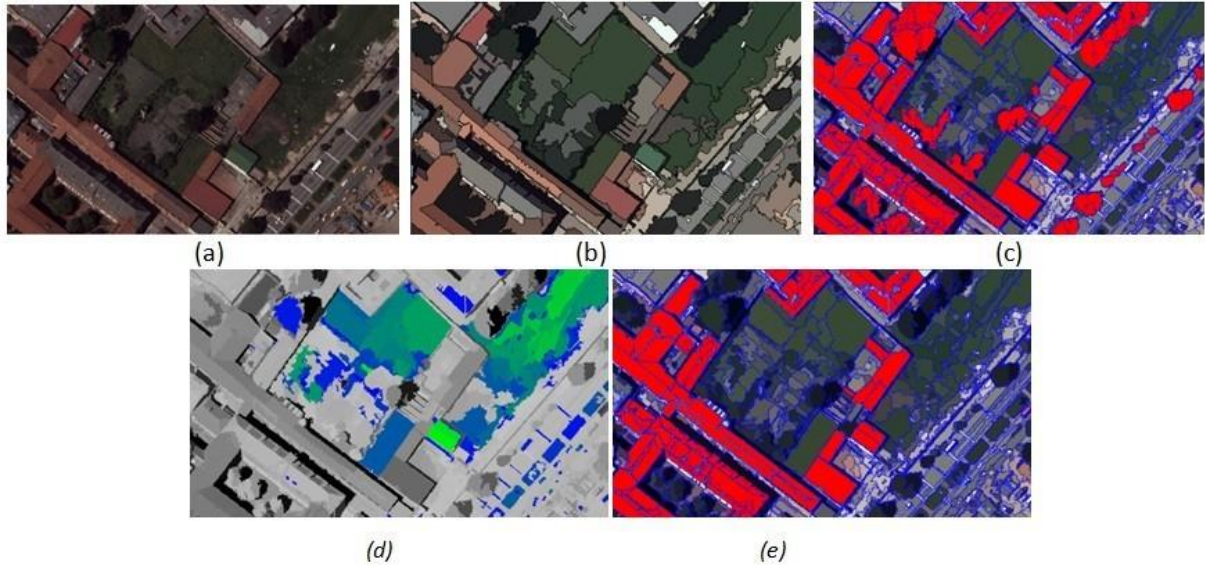


Figura 6. Proceso de segmentación y extracción automática de edificaciones. a) Imagen RGB. b) Segmentación de imagen con parámetro de escala 100 pixel. c) clasificación de la imagen teniendo en cuenta los valores de las alturas del DSM. d) Realce de la vegetación obtenido por operación matemática de bandas. e) Resultado final, extracción automática de edificaciones, producto de la aplicación de diferentes algoritmos y refinamientos.

Fuente: Elaboración de los autores

## CONCLUSIONES

Se afirma que la extracción automática de elementos en fotografías aéreas e imágenes producto de sensores aerotransportados, será a mediano y largo plazo, uno de los métodos más utilizados para la generación de cartografía; gracias a su confiabilidad, eficiencia y rapidez en la obtención de elementos representativos del terreno.

En perspectiva general, la segmentación de imágenes es el punto de partida más importante, para brindar trabajos de alta precisión que deriven productos cartográficos. La calidad de estos productos es comparable con la de los obtenidos tradicionalmente mediante la restitución de modelos esteresocopicos. De los criterios elegidos para la realización de la segmentación depende la homogeneidad o heterogeneidad de las regiones segmentadas y esto va a redundar en la facilidad para realizar refinamientos y establecer algoritmos acertados que permitan el mejoramiento de la clasificación realizada.

La metodología propuesta e implementada en el desarrollo de este trabajo puede ser mejorada, de acuerdo a la finalidad que se tenga y dependiendo de los elementos que se requieran extraer en las imágenes digitales. Los resultados aquí planteados fueron comprobados en el terreno directamente y se concluyó que el nivel de confianza en la clasificación final, extraída automáticamente es mayor al 97%.

## Referencias Bibliográficas

- Awrangjeb, Mohammad; Zhang, Chunsun; Fraser, Clive S. (2013): Automatic extraction of building roofs using LIDAR data and multispectral imagery. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 83, S. 1-18. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.05.06.
- Barnea, Shahar; Filin, Sagi (2013): Segmentation of terrestrial laser scanning data using geometry and image information. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 76, S. 33-48. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2012.05.001.
- Bucksch, Alexander; Lindenbergh, Roderik (2008): CAMPINO - A skeletonization method for point cloud processing. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 63 (1), S. 115-127. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2007.10.004.
- Ergun, Bahadir; Sahin, Cumhur; Ustuntas, Taner (2014): Segmentation and determination of grid points of curve points in terrestrial laser scanning data for regular curve surfaces via C-means integrated fuzzy logic approach. In: *Optics and Lasers in Engineering* 52, S. 261-268. DOI: 10.1016/j.optlaseng.2013.04.020.
- Falkingham, Peter L.; Bates, Karl T.; Farlow, James O.; Dodson, Peter (2014): Historical Photogrammetry: Bird's Paluxy River Dinosaur Chase Sequence Digitally Reconstructed as It Was prior to Excavation 70 Years Ago. In: *PLoS ONE* 9 (4), S. e93247. DOI: 10.1371/journal.pone.0093247.
- Gamanya, Ruvimbo; Maeyer, Philippe de; Dapper, Morgan de (2009): Object-oriented change detection for the city of Harare, Zimbabwe. In: *Expert Systems with Applications* 36 (1), S. 571-588. DOI: 10.1016/j.eswa.2007.09.067.
- García-San-Miguel, D.; Lerma, J. L. (2013): Geometric calibration of a terrestrial laser scanner with local additional parameters: An automatic strategy. In: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 79, S. 122-136. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.02.007.
- González-Aguilera, D.; Rodríguez-Gonzálvez, P.; Armesto, J.; Lagüela, S. (2012): Novel approach to 3D thermography and energy efficiency evaluation. In: *Energy and Buildings* 54, S. 436-443. DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.07.023.
- Guarnieri, Alberto; Vettore, Antonio; Camarda, Martina; Domenica, Costantino (2011): Automatic registration of large range datasets with spin-images. In: *Journal of Cultural Heritage* 12 (4), S. 476-484. DOI: 10.1016/j.culher.2011.03.010.
- Jung, Jaehoon; Hong, Sungchul; Jeong, Seongsu; Kim, Sangmin; Cho, Hyungsig; Hong, Seunghwan; Heo, Joon (2014): Productive modeling for development of as-built BIM of existing indoor structures. In: *Automation in Construction* 42, S. 68-77. DOI: 10.1016/j.autcon.2014.02.021.
- Kabolizade, Mostafa; Ebadi, Hamid; Ahmadi, Salman (2010): An improved snake model for automatic extraction of buildings from urban aerial images and LiDAR data. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 34 (5), S. 435-441. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2010.04.006.
- Lim, Ee Hui; Suter, David (2009): 3D terrestrial LIDAR classifications with super-voxels and multi-scale Conditional Random Fields. In: *Computer-Aided Design* 41 (10), S. 701-710. DOI: 10.1016/j.cad.2009.02.010.
- Madhavan, B. Babu; Wang, C.; Tanahashi, H.; Hirayu, H.; Niwa, Y.; Yamamoto, K. et al. (2006): A computer vision based approach for 3D building modelling of airborne laser scanner DSM data. In: *Computers, Environment and Urban Systems* 30 (1), S. 54-77. DOI: 10.1016/j.compenvurbsys.2005.01.001.
- Martínez, Joaquín; Soria-Medina, Alex; Arias, Pedro; Buffara-Antunes, Alzir Felipe (2012): Automatic processing of Terrestrial Laser Scanning data of building façades. In: *Automation in Construction* 22, S. 298-305. DOI: 10.1016/j.autcon.2011.09.05.
- Minetto, Rodrigo; Thome, Nicolas; Cord, Matthieu; Leite, Neucimar J.; Stolfi, Jorge (2014): SnooperText: A text detection system for automatic indexing of urban scenes. In:

- Computer Vision and Image Understanding 122, S. 92-104. DOI: 10.1016/j.cviu.2013.10.004.
- Nga, Do Hang; Yanai, Keiji (2014): Automatic extraction of relevant video shots of specific actions exploiting Web data. In: Computer Vision and Image Understanding 118, S. 2-15. DOI: 10.1016/j.cviu.2013.03.009.
- Qin, Rongjun; Gruen, Armin (2014): 3D change detection at street level using mobile laser scanning point clouds and terrestrial images. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 90, S. 23-35. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2014.01.006.
- Sebari, Imane; He, Dong-Chen (2013): Automatic fuzzy object-based analysis of VHRS images for urban objects extraction. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 79, S. 171-184. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2013.02.006.
- Soudarissanane, Sylvie; Lindenbergh, Roderik; Menenti, Massimo; Teunissen, Peter (2011): Scanning geometry: Influencing factor on the quality of terrestrial laser scanning points. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 66 (4), S. 389-399. DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2011.01.005.
- Triglav ekada, Mihaela; Zorn, Matija; R. Colucci, Renato (2014): Changes in the area of the Canin (Italy) and Triglav glaciers (Slovenia) since 1893 based on archive images and aerial laser scanning. In: geod. vestn. 58 (02), S. 274-313. DOI: 10.15292/geodetski-vestnik.2014.02.274-313.