

(T1) Detección de baches en vías urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, mediante técnicas de GEOBIA

Detection of potholes in urban roads from images of high spatial resolution, using GEOBIA techniques

Iván Andrés Serna Galeano¹ & Jorge Andrés Herrera Maldonado²

Para citar este artículo: Serna G. I.A. & Herrera, M. J.A. (2019). Detección de baches en vías urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, mediante técnicas de GEOBIA. Revista de Topografía Azimut (10), pp xx-xx

Fecha de recepción 15 de marzo de 2019 – Fecha de aceptación: 15 de mayo de 2019

(T2) Resumen

En la actualidad, la calidad y el mantenimiento vial son aspectos necesarios e indispensables para el adecuado funcionamiento del tránsito en las urbes contemporáneas. Su constante monitoreo y rápida reparación hacen que se eviten colapsos y de esta manera disminuir tiempos en los trayectos de los ciudadanos, actualmente las tecnologías geoespaciales han surgido como nuevas alternativas para la solución de distintos tipos de problemáticas. Las imágenes de alta resolución capturadas a partir de vehículos aéreos no tripulados (UAV) representan una alternativa para resolver problemas cotidianos. El presente estudio muestra la implementación de las tecnologías geoespaciales para el mapeo de huecos o baches existentes en las vías, con lo que se busca delimitar el objeto de estudio a partir de técnicas de análisis de objetos geográficos (GEOBIA) y funciones de lógica difusa; así será posible identificar características de difícil detección o que no se habían tenido en cuenta antes. La información capturada se evaluó y proceso rigurosamente obteniendo una ejecución de proyecto a bajo costo. La investigación se realizó con imágenes de muy alta resolución a 2,6 centímetros de resolución espacial, lo que permitió mapear los baches existentes dentro de la zona de estudio de manera automática, disminuyendo los tiempos de detección y verificación de la calzada vial que ejecuta un trabajador especializado en campo. Estos rendimientos del proceso son posibles si se tiene en cuenta la calidad de las imágenes capturadas.

Palabras claves: GEOBIA, lógica difusa, UAV, teledetección, bache.

Abstract

¹ Correo electrónico: iasernag@correo.udistrital.edu.co

² Correo electrónico: jaherreram@correo.udistrital.edu.co

Nowadays, quality and road maintenance are necessary and indispensable elements for the well-functioning of traffic in cities. The constant monitoring and its quick repair are important in order to avoid collapses and, in this way, reduce the time in the journeys of citizens. Currently, the geospatial technologies have emerged as new alternatives to solve different types of problems. The high-resolution images captured from unmanned aerial vehicles (UAV) represent an alternative to solve current problems. The present study shows the implementation of geospatial technologies for mapping existing holes or potholes in the roads, seeking to delimit the object of study from geographical objects analysis techniques (GEOBIA) and fuzzy logic functions, it allows to identify characteristics that are difficult to detect or that had not been considered before. The information captured was evaluated and the process rigorously obtaining a project execution at a low cost. The investigation was carried out with very high-resolution images at 2.6 centimetres of spatial resolution, which allowed to map the existing potholes within the study area automatically, decreasing the detection and verification times of the roadway that runs a worker specialized in field, these yields of the process are possible considering the quality of the captured images.

Keywords: GEOBIA, Fuzzy Logic, UAV, Remote Sensing, Pothole.

(T2) INTRODUCCIÓN

La clasificación orientada a objetos consiste en una estructuración de las imágenes en diferentes niveles de escala; de esta manera se construye un procesamiento de análisis. Los objetos resultantes de dichos procesos son asociados por homogeneidad en diferentes variables que los caracterizan como su forma, tamaño, geometría, ubicación entre otros.

Así, por medio de las imágenes geoespaciales es posible detectar casi automáticamente algunas coberturas, si bien la clasificación orientada a objetos contiene un amplio número de investigaciones, en su gran mayoría se orientan hacia el medio ambiente específicamente hacia coberturas vegetales como bosques.

Son pocas las aplicaciones que buscan solucionar aspectos del diario vivir por medio de tecnologías geoespaciales, con lo cual aplicar un método que mejore la detección de huecos para obtener una rápida reparación del mismo hace que este tema de investigación se vuelva una alternativa que beneficie de manera cercana y directa al usuario común que hace uso de este tipo de infraestructura.

En la actualidad, las afectaciones de daño en una vía son medidas para dimensionar y establecer las condiciones del pavimento. Para el efecto se tienen métodos como PCI (*paviment condition index*) (Marrugo, 2014) utilizado en varios países y el cual calcula la cantidad de daño del pavimento. Este método se aplica de manera presencial y directa. Otra técnica es PAVER, en la cual se registra un número de fallas y así se hace la estimación del índice de condición del pavimento (Hajek *et al.*, 1986).

Con el fin de obtener resultados de precisión esta metodología se basa en GEOBIA, que puede definirse como clasificación orientada a objetos, y forma parte de una subdisciplina de las ciencias de la información geográficas (GIS) que desarrolla métodos automáticos para la partición de imágenes de sensores remotos dentro de objetos representativos, y

evalúa las caracterizaciones de las componentes espaciales, espectrales y temporales, para así generar nueva información geográfica (Müllerová, Pergl y Pyšek, 2013).

GEOBIA contempla un flujo de trabajo donde, en primera instancia, el preprocesamiento genera regiones homogéneas en las imágenes, así mismo la segmentación produce una agrupación de estas particiones los cuales crean objetos geográficos para la posterior clasificación, asignándole una clase a cada objeto geográfico (Kim, Warner, Madden y Atkinson, 2011).

En ese sentido, el desarrollo de esta investigación busca solventar la necesidad de detectar la existencia de bache o hueco en una vía local, a bajo costo y de manera rápida y efectiva. Esta pesquisa arrojó como resultado un mapa de la zona de estudio en donde se podrán detectar los huecos o baches existentes, y así discriminar y cuantificar las áreas afectadas del resto del área de estudio.

(T2) MATERIALES Y MÉTODO

(T3) SEGMENTACIÓN

La segmentación es el proceso de discriminar objetos y características con las de otros pertenecientes a la misma imagen. Esta separación ocurre por rasgos como homogeneidad de píxeles con los cuales se identifica el mejor recorrido que establezca o encierre el objeto, en donde se debe tener en cuenta aspectos como varianza y comportamiento espectral (Li, Balla-Arabé, Ginhac y Yang, 2016). Normalmente se utiliza para reconocer objetos en procesos de teledetección implementados sobre imágenes de alta resolución (Fu, Zhao, Li y Shi, 2013).

A diferencia de la clasificación convencional basada en el pixel, en la segmentación por objeto se busca eliminar el ruido atribuyéndoles más características a las regiones encerradas. Para este proceso se utilizan algoritmos que realizan subdivisiones de la imagen entera al nivel del pixel (Barragán, Martínez y Garzón, 2015). Este tipo de técnica ha tenido mejores resultados en imágenes de alta resolución (Chen, Hay y St-Onge, 2012).

(T3) LÓGICA DIFUSA

Es una extensión de la lógica booleana basada en la teoría de conjuntos difusos. Provee gran flexibilidad con el razonamiento, con el que se consideran imprecisiones e incertidumbres. Una ventaja de la lógica

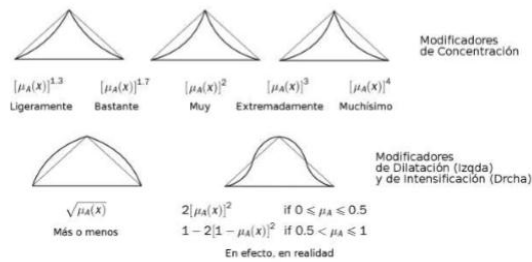


Figura 1. Algunos modificadores y su representación gráfica y matemática

Fuente: Morcillo (2011).

difusa sobre la formalización del razonamiento humano son las reglas; estas se establecen en lenguaje natural (Argyros Argyridis, 2015).

Los conjuntos difusos lingüísticamente representan las posibilidades relativas de términos primarios (*alto, rico, pobre*) dentro de una variable booleana y, con estos, se calculan los conjuntos difusos de los términos compuestos (como *muy* y *alto* construimos el término compuesto *muy alto*). Una etiqueta lingüística se forma como una sucesión de los símbolos terminales de la gramática: *Muy alto, no muy bajo...* Un uso habitual de las variables lingüísticas es en reglas difusas (Morcillo, 2011) (figura 1).

Dentro del proyecto se utilizaron funciones de pertenencia que describen toda la información contenida en un conjunto difuso (ortofotomosaico). Dichas funciones son continuas, cerradas, acotadas y poseen propiedades matemáticas de *normalidad, monotonidad y simetría*.

La función gamma (figura 2) es utilizada en la clasificación de valores extremos generalmente (Ross, 2004). La función lambda (figura 3) se usa en la descripción de valores intermedios. Por último, la función S (figura 4) corresponde a otro tipo de función continua no lineal, es decir, una función a trozos que permite discriminar en un rango la probabilidad el nivel digital correspondiente; no solo en discriminaciones espectrales, sino también en funciones de relación y cercanía.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{si } x \in (a, m) \\ 1 & \text{si } x \geq m \end{cases}$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{para } a < x < m \\ 1 & \text{par } x \geq m \end{cases}$$

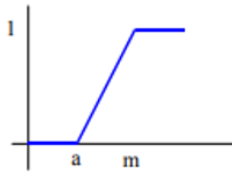


Figura 2. Función gamma

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{si } x \in (a, m) \\ \frac{b-x}{b-m} & \text{si } x \in (m, b) \\ 0 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & \text{para } a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m} & \text{para } m < x \leq b \\ 0 & \text{para } x > b \end{cases}$$

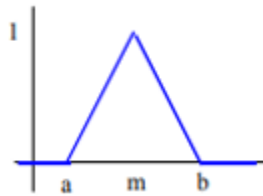


Figura 3. Función lambda

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & \text{para } x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^2 & \text{para } a \leq x \leq \frac{a+c}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^2 & \text{para } \frac{a+c}{2} \leq x \leq c \\ 1 & \text{para } x \geq c \end{cases}$$

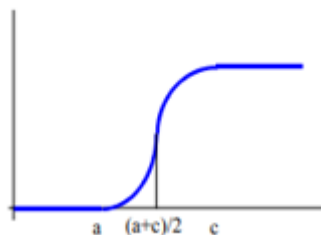


Figura 4 Función S

(T2) METODOLOGÍA

(T3) ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la ciudad de Bogotá, Colombia. En donde se capturaron imágenes con un dron Phantom 4 a 100 metros de altura con el fin de obtener un GSD menor a 3 cm, las cuales fueron procesadas para capturar una ortofoto. En el área de estudio (figura 5) escogida se evidencia la vía y los huecos deseados a mapear.



Figura 5. Zona de estudio y objeto a detectar

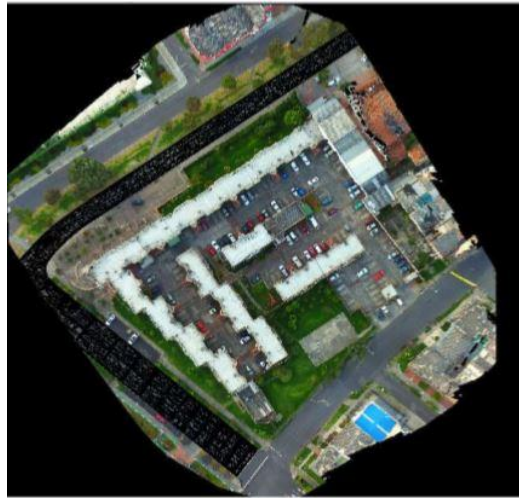


Figura 6. Imagen segmentada algoritmo mutirresolución

(T3) APLICACIÓN SEGMENTACION

Para segmentar la vía de manera adecuada fue necesario la utilización de un atributo temático, en este caso, la delimitación vial en formato .Shp. Esta información se obtuvo de IDECA (2017), la cual generó una segmentación multispectral únicamente de la zona de interés en particular (vía) (figura 6) mediante el *software E-Cognition*.

(T3) APLICACIÓN LÓGICA DIFUSA

Para la clasificación de las variables y su discriminación a nivel digital y relaciones de cercanía se tuvieron en cuenta funciones de lógica difusa, específicamente de pertenencia. La figura 7 representa las funciones dadas por el *software* para su manejo. Las más utilizadas fueron gamma, lambda y S, para la discriminación de los objetos de interés. La acotación de las funciones es inferida de las propiedades espectrales del objeto a analizar, ya sea con los niveles digitales de las bandas o índices que pertenezcan a la propiedad del objeto visible.

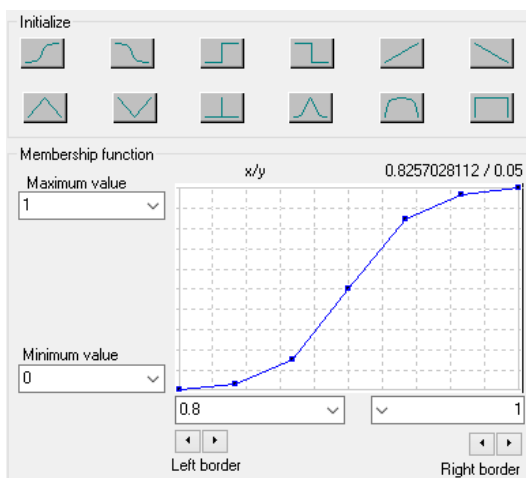


Figura 7 Funciones de Pertenencia, ejemplificación de una Función S

(T3) CLASIFICACIÓN

La figura 8 ilustra el procedimiento de segmentación y clasificación, en donde se encuentran cuatro clases para su clasificación (señales de tránsito, luminarias, árboles y baches); así es posible una clasificación inicial para luego asignar clases finales, lo cual simplifica los resultados a tres variables, *vía*, *no vía* y *baches*.

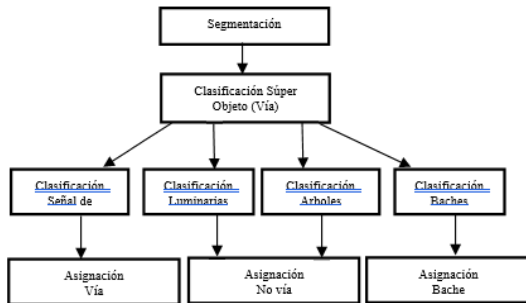


Figura 8. Flujo de clasificación

(T2) RESULTADOS

El área de baches detectado corresponde a 1,37 m², lo que representa un 0,059 % respecto a 2321,63 m² corresponde al área total de la vía y el área medida en campo corresponde a 1,133 m² que corresponde a un 0,048 % respecto al mismo tamaño de vía. En la figura 9 se muestran las clasificaciones obtenidas mediante el análisis de GEOBIA. En donde se aprecia, en (a), la detección de los elementos expuestos, y en (b), la clasificación simplificada de los elementos de interés.

Tabla 1 Área de baches en la zona de estudio

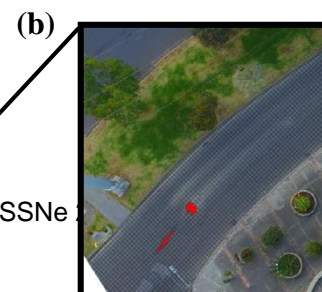
Clase	Área m ²	% Vía
Bache	1.373	0.059%
Bache (medida en campo)	1.133	0.048%
Vía	2321.632103	100%

Fuente:

Como resultado visual, (d) presenta la clasificación de los baches y la eficiencia de la detección respecto a (c), que es la imagen original. La delimitación del hueco, además de detectarse, toma la precisión del GSD correspondiente.

Por último, la tabla 2 describe la desviación estándar espectral del objeto bache; esta tiene un valor de 0,02, lo que indica la homogeneidad espectral respecto a las reglas establecidas para su detección. Se cuenta con una máxima diferencia de más y menos 3,5977 a nivel

digital. (a)





(c)



(d)

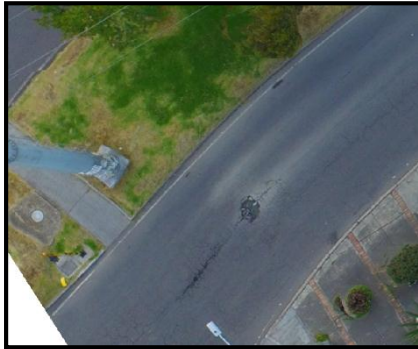


Figura 9. (a) Clasificación inicial, (b) clasificación final obtenida, (c) acercamiento imagen sin clasificar y (d) acercamiento clasificación

Tabla 2 Desviación estándar espectral promedio

Clase	Desviación estándar	Máx. diferencia
Bache	0.02	3.5977

(T2) DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Hay diversos estudios de GEOIBA que buscan solventar necesidades en diferentes campos, pero principalmente estos se inclinan hacia el medio ambiente. Este estudio cobra importancia en la medida que representa un proyecto a bajo costo que solventa una necesidad de uso cotidiano en el ámbito urbano, sin involucrar sensores especializados o de difícil acceso.

Los resultados muestran una desviación estándar baja en la clase *bache* lo cual indica que los pixeles agrupados en el objeto de la clase presentan una alta homogeneidad entre ellos, dando como resultado una correcta detección del hueco.

Esto fue producto, en gran parte, de la diferencia espectral que varía en medida de una vía con presencia de baches; a esto también se le adicionaron características como forma y tonalidad en las bandas del rojo, los cuales contribuyeron a la fácil detección.

Respecto a las medidas tomadas en campo, es posible apreciar mediante los datos recolectados que aquellos valores son menores debido a que no se mide el bache de manera detallada; contrario a lo que ocurre con los cálculos realizados por el *software*, lo que implica mayores costos de ejecución al momento de reparación.

Esta subestimación surge del método PAVER, el cual contempla una medición con instrumentación que solo permite obtener una forma regular aproximada.

Se puede afirmar, entonces, que la implementación resulta eficiente, ya que es capaz de mapear de manera correcta los baches existentes, aunque se deben indicar ciertas limitantes, pues la calidad de la detección depende de la calidad de la imagen y la homogeneidad del asfalto. Si la vía contiene reparachos o manchas, es posible que se generen falsas detecciones en el momento de ejecutar la clasificación.

(T2) Referencias bibliográficas

Argyros Argyridis, D.P. (2015). A Fuzzy Spatial Reasoner for Multi-Scale GEOBIA Ontologies. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(6), 491-498. DOI: <https://doi.org/10.14358/PERS.81.6.491>

Barragán, W., Martínez, A. y Garzón, P. (2015). Generación automática de cartografía para edificaciones, utilizando fotografías digitales aéreas verticales de alta resolución espacial y nubes de puntos LiDAR. *Revista de Ingeniería*, 42, 30-38. <https://doi.org/10.16924/riua.v0i42.753>

Chen, G., Hay, G.J. y St-Onge, B. (2012). A GEOBIA framework to estimate forest parameters from lidar transects, Quickbird imagery and machine learning: A case study in Quebec, Canada. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 15, 28-37.

Dernoncourt, F. (2013). *Introduction to fuzzy logic*. Massachusetts: Massachusetts Institut of Technology.

Fu, G., Zhao, H., Li, C. y Shi, L. (2013). Segmentation for High-Resolution Optical Remote Sensing Imagery Using Improved Quadtree and Region Adjacency Graph Technique. *Remote Sensing*, 5(7), 3259-3279. <https://doi.org/10.3390/rs5073259>

Hajek, J.J., Phang, W.A., Wrong, G.A., Prakash, A. y Stott, G.M. (1986). *Pavement Condition Index (PCI) for Flexible Pavements*. Recuperado de <https://trid.trb.org/view.aspx?id=288009>

Infraestructura de Datos Espaciales para el Distrito Capital (IDECA) (11 de mayo de 2017). Recuperado de <https://www.ideca.gov.co/>

Kim, M., Warner, T.A., Madden, M. y Atkinson, D.S. (2011). Multi-scale GEOBIA with very high spatial resolution digital aerial imagery: scale, texture and image objects. *International Journal of Remote Sensing*, 32(10), 2825–2850.

Li, C., Balla-Arabé, S., Ginhac, D. y Yang, F. (2016). Embedded Implementation of VHR Satellite Image Segmentation. *Sensors*, 16(771), 1-24. <https://doi.org/10.3390/s16060771>

Marrugo Martínez, C.E. (2014). *Evaluación de la metodología VIZIR como herramienta para la toma de decisiones en las intervenciones a realizar en los pavimentos flexibles*. (Tesis). Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá, Colombia. Recuperado de <http://unimilitar-dspace.metabiblioteca.org/handle/10654/12067>

Morcillo, C.G. (2011). *Lógica difusa*. Castilla: Universidad de Castilla-La Mancha.

Müllerová, J., Pergl, J. y Pyšek, P. (2013). Remote sensing as a tool for monitoring plant invasions: testing the effects of data resolution and image classification approach on the detection of a model plant species *Heracleum mantegazzianum* (giant hogweed). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 25, 55-65.

Ross, T. (2004). *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. Nueva Jersey, EE. UU.: John Wiley & Sons.