

REALCE GEOMÉTRICO EN IMÁGENES DE MUY ALTA RESOLUCIÓN Y EXTRACCIÓN DE CATASTRO A TRAVÉS DE GEOBIA EN ÁREAS CON ALTA DENSIDAD URBANA

David GÓMEZ PALACIOS^a, Marco Antonio TORRES PÉREZ NEGRÓN^b, Eduardo REINOSO ANGULO^c

^{a,b,c} Coordinación de Ingeniería Sismológica, Instituto de Ingeniería, UNAM, Circuito Interior, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, México, D.F., CP. 04510.

dgomezp@iingen.unam.mx^a, mtorresp@iingen.unam.mx^b, ereinosa@iingen.unam.mx^c

RESUMEN

Las áreas urbanas, a diferencia de las áreas naturales, se distinguen por su diversidad de elementos en el paisaje y la geometría que predomina en ellas. Estas características salen del espacio espectral y exponen la necesidad de generar algoritmos, metodologías y técnicas destinadas a explorar con mayor profundidad los espacios con una muy alta densidad urbana. El auge que ha cobrado el empleo de GEOBIA (*Geographic Object-Based Image Analysis*, por sus siglas en inglés) permite una exploración más detallada de los datos obtenidos por sensores remotos a través de su conversión en imágenes-objeto, los cuales representan una forma híbrida de aproximación a la realidad a través productos con características de un ráster y un vector.

Se propuso una metodología para realizar la extracción de catastro a través de imágenes de muy alta resolución espacial en dos colonias de la Cd. de México, aplicando filtros de convolución a la imagen pancromática para realzar las fronteras entre en elementos, lo cual mejoró la segmentación de la escena. La generación de reglas se propuso sobre una combinación de diferentes bandas usadas como insumo: Azul, Verde, Rojo, Near IR, Pancromático con filtros de convolución, NDVI, Componentes Principales (4 Bandas) y un MDR.

Palabras clave: GEOBIA, Realce Geométrico, Clasificación por Reglas, Catastro, Percepción Remota Urbana, Segmentación de imágenes.

ABSTRACT

Urban areas can be distinguished for the diversity of elements in landscape and the dominant geometry. These characteristics go beyond to the spectral space and highlight the need of generate new algorithms, methodologies and techniques on the research to detail in high density urban areas. GEOBIA (*Geographic Object-Based Image Analysis*) has become increasingly for the detail exploration from data remote sensing throughout the generation of segment-image, a hybrid product which combine raster and vector characteristics. A methodology was proposed for the urban cadastre extraction throughout very high resolution satellite images in two Mexico City's neighbourhoods.

Keywords: GEOBIA, Geometric Enhancement Rule Classification, Cadastre, Urban Remote Sensing, Feature Extraction.

1. INTRODUCCIÓN

Más de la mitad de la población mundial habita en áreas urbanas, aproximadamente el 54% en 2014, porcentaje que se espera aumente a 66% en 2050 (ONU, 2014), incremento que será absorbido principalmente por países en vías de desarrollo. Para 2050 se espera que 2,500 millones de personas habiten en éstas. Con esta previsión es necesario entender a las áreas urbanas como elementos dinámicos y complejos en constante transformación y por tanto, su estudio debe ser periódico. Para las autoridades e instituciones de investigación, el contar con catastros actualizados y precisos de las urbanizaciones se vuelve un requisito indispensable y vital para las políticas de planeación urbana, la recaudación de impuestos y la prestación de servicios básicos a sus habitantes. Más importante aún se vuelve la necesidad de contar con catálogos de infraestructura para hacer frente a contingencias de origen natural o antrópico.

La Percepción Remota (PR) ha posibilitado en las últimas décadas un importante desarrollo de herramientas para el estudio de áreas urbanas, a través de las cuales se pueden realizar estudios económicamente más accesibles que los levantamientos en campo, y que también, permite seguir cambios y la naturaleza de estos. Mención aparte, el aumento de la resolución espacial en las principales constelaciones de satélites comerciales durante la última década y el desarrollo de algoritmos de segmentación capaces de ofrecer análisis con un mayor detalle y complejidad, entre los cuales GEOBIA han sido aprovechados para el estudio de las áreas urbanas con resultados satisfactorios en diferentes estudios. La PR permitió obtener un levantamiento rápido de la infraestructura dañada para hacer frente a la emergencia posterior al terremoto de *Port-au-Prince* en 2009 (Hussain, E. *et al.*, 2010). Recientemente, la telemetría ha sido empleada para seguir contingencias humanitarias, como la destrucción de aldeas en Baga y Doron Baga, Nigeria en 2015 por el grupo terrorista Boko Haram (International Amnity, 2015) y el mapeo de daños tras el terremoto de Katmandu, Nepal en 2015. Eventos como los anteriores nos llevan a la necesidad de proponer metodologías con imágenes de satélite de muy alta resolución para obtener catálogos de infraestructura, sus características, geometría y sistema estructural.

En contraste con los elementos naturales, *p.ej.* el suelo y la vegetación, el número de investigaciones para materiales de origen humano, se encuentran bastante limitados (Ben Dor, *et al.*, 2001; Herold *et al.*, 2004; Heiden *et al.*, 2007). A pesar de que los catálogos espaciales de las áreas urbanas son requisito para un

amplio rango de aplicaciones temáticas que van desde el mapeo de áreas impermeables, la caracterización de condiciones termales y la identificación de zonas de pobreza, las aplicaciones de PR hasta hace poco se encontraban limitadas por la resolución espacial. Sin embargo, mejores resoluciones espaciales favorecieron la propuesta de esquemas de clasificación jerárquica con diferentes metodologías e insumos.

En áreas urbanas, el uso de suelo cambia continuamente debido a la construcción o modificación de estructuras, caminos y otros elementos. En planeación urbana, el monitoreo de estos cambios es una variable importante y la PR permite monitorear algunas de estas variables. Aunque las imágenes con una muy alta resolución espacial proporcionan un nivel de detalle muy grande, el empleo de telemetría presenta una serie de particularidades durante su empleo:

- 1) Los paisajes urbanos se caracterizan por su diversidad de elementos, a menudo compuestos de materiales no locales. Este hecho es de especial relevancia en PR, ya que a menudo se suelen “clasificar” los elementos en el paisaje de acuerdo a su respuesta espectral; sin embargo, en las áreas urbanas puede que un elemento no tenga una respecta espectral específica. Por ello es necesario privilegiar la textura sobre la respuesta espectral.
- 2) Dada la naturaleza “aérea” de la perspectiva de una imagen satelital se tiene que considerar que lo se observa es equivalente a una vista en planta, **Figura 1**. Estas pueden ser representativas de un elemento estructural o no.



Figura 1. Vista en perspectiva y en planta (desde un sensor en órbita) del museo Casa Lamm, en la colonia Roma Norte, Cd. de México.

- 3) La heterogeneidad del paisaje urbano no está condicionada solamente por su parte espectral, sino que, en las áreas urbanas los patrones geométricos juegan un papel más importante en la delimitación correcta entre los límites entre un elemento y otro. Sin embargo, una vista en planta desde satélite suele arrojar un mayor

número de caras de un mismo elemento cuando tienen una forma irregular.

- 4) Las ciudades en países en vías de desarrollo comparten algunas características particulares, que en PR deben de ser consideradas objeto de estudio. De especial interés en la materia es la distribución espacial entre los límites de un elemento urbano y sus vecinos, lo que dificulta establecer las fronteras entre ellos. De igual manera resulta la superficie de las viviendas y la densidad de éstas. A menor superficie por lote y mayor densidad urbana se vuelve más complejo establecer límites entre un elemento y sus vecinos.

2. METODOLOGÍA

2.1 MATERIALES & ÁREA DE ESTUDIO

Se escogieron dos áreas con una muy alta densidad urbana en la Cd. de México: las colonias Roma Norte y Centro Histórico en la delegación Cuauhtémoc, considerando la diversidad de usos de suelo y la disponibilidad de información catastral en éstas. Se trabajó con una imagen WorldView-2 del 2012 con bandas en la región del azul, verde, rojo e infrarrojo cercano y con una resolución espacial de 0.5 m por píxel. Además se contó con dos nubes LiDAR (una de superficie y otra de terreno).

2.2 REALCE DE IMÁGENES PANCRÓMICAS CON FILTROS DE CONVOLUCIÓN

El estudio de los elementos urbanos se ve enriquecido a través del empleo de la textura. Esta variable hace referencia a la heterogeneidad espacial de una determinada cubierta, en definitiva al contraste espacial entre los elementos que la componen. Visualmente se manifiesta como la rugosidad o suavidad de los tonos de gris. La textura involucra también una idea subjetiva de la psicovisión humana; para cuantificarla se requiere de un modelo matemático que exprese la relación espacial existente entre píxeles vecinos (Lira, 2011). Al aplicar filtros de convolución sobre la imagen pancromática se garantiza que aun cuando se modifiquen los valores de brillo o ND, estos no modificarán después del *sharpening* a los datos multiespectrales.

Los realces geométricos exploran la distribución de los píxeles y la variación de los valores de brillo con el fin de definir zonas o regiones homogéneas, así como la detección y delimitación de vértices y fronteras entre estas regiones y los píxeles adyacentes. Las imágenes resultantes a menudo son muy distintas en apariencia y facilitan el reconocimiento humano (Weng, 2012) y son insumo necesario para realzar los límites entre los elementos urbanos en una imagen de satélite. Para imágenes con muy alta resolución (≤ 0.5 m por píxel) se usó un *kernel* de 3×3 para realzar estas características, tal como se muestra en la **Figura 2**.



Figura 2. Izquierda, imagen pancromática sin ningún proceso de realce geométrico; derecha, imagen pancromática realizada con filtros de convolución.

La conjunción de los realces aplicados a la imagen pancromática a través de los filtros de convolución fue extrapolada a la información multiespectral a través de un algoritmo *sharpening*. De esta manera se garantizó que la información multiespectral no fuera afectada por los realces en la imagen pancromática. La calidad de la imagen resultante permite realizar la delimitación de fronteras de una manera mucho más precisa, **Figura 3**.

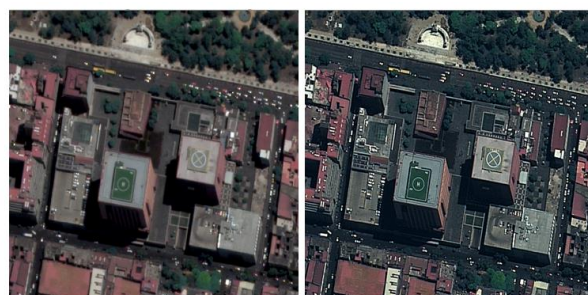


Figura 3. Los realces geométricos en la imagen pancromática realzan la geometría de los elementos urbanos sin alterar los valores de las bandas multiespectrales.

2.3 SEGMENTACIÓN Y GENERACIÓN DE REGLAS PARA ELEMENTOS URBANOS

Además de la imagen *IHS sharpening* se integraron otras bandas con las mismas dimensiones espaciales durante el proceso de segmentación para apoyar la generación de reglas, las cuales se integraron en el siguiente orden: banda en el azul, verde, rojo e infrarrojo cercano, NDVI, Componentes Principales (cuatro bandas), imagen pancromática con filtros de convolución y un modelo relativo de relieve generado a partir de las nubes LiDAR. De esta manera cada imagen-segmento que se generó contiene información espectral, de textura y espacial en diferentes magnitudes para cada insumo.

Los objetos de interés a menudo tienen límites claros, representados por incrementos o descensos de gradiente, mientras que la parte interna de los objetos tienen una intensidad más uniforme (con poca o ninguna magnitud de gradiente). Estos límites, previamente realzados con los filtros de convolución son usados para definir la naturaleza de la segmentación limitándose a las bandas en el visible, con ello se logra que la segmentación sea mucho más apegada a las características geométricas de las áreas urbanas, **Figura 4**.

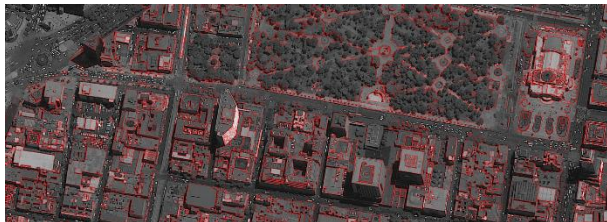


Figura 4. Restringiendo la segmentación en el visible, las imágenes-segmento (y sus vértices) se aproximan de una manera más exacta a su geometría original.

La generación de reglas para la extracción de catastro con alta densidad urbana debe estar orientada a la búsqueda de las relaciones de los materiales dominantes en la zona en las diferentes magnitudes en que se encuentran las imágenes-segmento. En la ciudad de México predominan las construcciones de concreto y mampostería sobre otros materiales menos frecuentes (acero, plástico, madera, etc.). Sin embargo, desde la perspectiva del satélite, a menudo las características que se encuentran en una escena no siempre tienen que corresponder con un sistema estructural, razón por la cual es necesario que las reglas que se propongan abandonen la idea central de clasificación espectral y se apoyen en características geométricas y de textura como ejes centrales para la explotación de la riqueza y diversidad de los elementos y relaciones en una imagen-segmento.

La generación de reglas es complicada y presenta dificultades o particularidades dependiendo del área a estudiar, por lo que es necesario hacer la aclaración de que las reglas no son universales, pero si el comportamiento que tienen los diferentes elementos urbanos en algunas regiones del espectro electromagnético o las relaciones que siguen estos elementos de acuerdo a su frecuencia en la distribución de los componentes principales, su textura y geometría. Para proponer las reglas se partió del principio de aislar en las componentes principales y la textura de las diferentes regiones espectrales del visible los rangos en que diferentes elementos urbanos hacían respuesta, siendo las componentes principales los elementos que mejor permitieron aislarlos. Sobre esta primera regla se fueron generando otras sub-reglas para delimitar con mayor precisión las diferentes categorías y reducir en la clasificación los falsos positivos. En el paisaje urbano predominan las estructuras de concreto y mampostería, las cuales son identificables en las CP 1 y CP2, mientras que los elementos menos frecuentes como las naves industriales con techos metálicos o techos plastificados al ser menos frecuentes se encuentran en las CP 3 y CP4, respectivamente. La relación propuesta se muestra en la **Figura 5**.

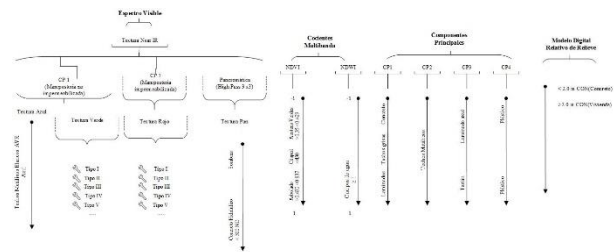


Figura 5. Esquema propuesto para la extracción de catastro en áreas urbanas.

Las reglas generadas fueron satisfactorias, en el sentido de que los realces aplicados a la imagen pancromática permitieron realzar la geometría de la infraestructura y esto permitió delimitar algunos sistemas estructurales, permitiendo abarcar casi en su totalidad los elementos urbanos de las colonias clasificadas, **Figura 6**.



Figura 6. Elementos clasificados como mampostería o concreto con techo impermeabilizado se muestran en un plano 3D para la colonia Roma Norte.

3. RESULTADOS

Con la metodología aquí descrita se comprobó la utilidad de los filtros de convolución aplicados para realzar la geometría de los diferentes elementos urbanos en las dos áreas de estudio. Además, se probaron efectivos al poder fusionarse por un algoritmo *sharpening* a los datos en el visible e infrarrojo cercano. Para la generación de imágenes-segmento, se llegó a la conclusión de que los algoritmos de segmentación conviene restringirlos a la región del visible o al pancromático, ya que de esta manera se evita homogeneizar los límites con la información de bandas más homogéneas como el infrarrojo cercano o el NDVI.

Las reglas que se propusieron para las colonia Roma Norte y Centro Histórico (**Figura 7**), aunque no fueron las mismas, si comparten características en común en lo cuanto a la estructuración de las secuencias generadas. Uno de los resultados más interesantes resultó la utilidad que integraron las componentes principales para la delimitación de las categorías. Las CP suelen presentar cierto grado de dificultad para su interpretación, ya que no están correlacionadas entre ellas y la identificación de umbrales se vuelve un proceso confuso y difícil debido a la amplitud de sus histogramas. Al segmentar las imágenes y generar objetos-imagen que albergan estadísticas de cada una de los insumos de entrada, permiten conocer el comportamiento de los histogramas en relación con características ya conocidas y si estas siguen un patrón específico.

Ya que la mayor parte de la varianza está almacenada en la CP 1 permite hacer una hipótesis en cuanto a los elementos más frecuentes en la escena estarán almacenados en esta, por el contrario los elementos menos frecuentes en el paisaje urbano se encuentran presentes en alguna de las otras componentes principales,

por ejemplo, en la CP 4 se identificó dos umbrales que hacen referencia a techos o elementos plastificados, mientras que en la CP 3 también se encontró el umbral que refiere a techos metálicos. La ventaja de las CP es que permite identificar elementos comunes de manera independiente de sus valores espectrales y mejorar estos rangos con reglas secundarias usando atributos espaciales o de textura.

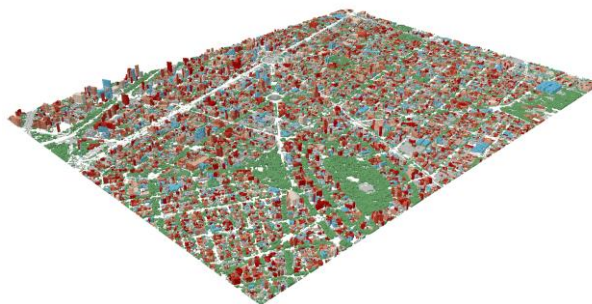


Figura 7. Vista en 3D con la infraestructura extraída para una sección de la colonia Roma Norte con la metodología propuesta.

Los alcances obtenidos en las dos áreas de estudio se pudieron lograr en gran parte a que se contó con información muy detallada de las elevaciones urbanas a través de las nubes LiDAR. En México, las principales áreas urbanas del país cuentan con este tipo de información, la cual es un insumo vital junto con las imágenes de satélite de alta resolución espacial. Las reglas regeneradas para la colonia Roma Norte y el Centro Histórico en el Distrito Federal son representativas para la delegación Cuauhtémoc, pero un estudio de un área tan compleja como la ciudad de México requiere de una mayor área de muestreo.

4. CONCLUSIONES

Con el desarrollo de metodologías que emplean imágenes satelitales de muy alta resolución es posible hacer un estudio no sólo integral, sino con fundamentos físicos y matemáticos para la extracción de los catálogos de infraestructura urbana. En planeación urbana, el monitoreo de éstos es una importante variable, la cual ha sido trabajada principalmente a través de sistemas de información geográfica y su elaboración se ha llevado a cabo a través de extracción manual por operadores humanos. Los recientes avances en PR pueden llegar a automatizar parte del proceso y por lo tanto son de utilidad para cubrir áreas extensas y complejas.

Conviene señalar la importancia que la generación de este tipo de metodologías debe tener un enfoque particular para cada región geográficas, con el fin de identificar los patrones espaciales en cada una y poderlos integrar a las reglas para cada zona de estudio. Puede que, en una misma área urbana existan zonas donde la densidad urbana sea más alta o baja y por lo tanto se requieran que la clasificación requiera un mayor número de subreglas para su correcta identificación. La mayoría de las metodologías en la literatura que emplean GEOBIA para la identificación de elementos urbanos no pueden ser aplicadas a ciudades con altas densidades urbanas debido a la dificultad que representa la delimitación de fronteras en ciudades densamente pobladas. A esto debe sumarse la incertidumbre que suponen los patrones de desigualdad que se ven reflejados en una escena a través de los patrones urbanos, *p.ej.* el tamaño de los predios y los materiales de construcción usados.

La PR a través de metodologías que trabajan sobre imágenes de satélite de muy alta resolución puede llegar a ser de gran utilidad para los tomadores de decisiones y otros sectores interesados, como las aseguradoras y ONG. Conviene finalmente destacar el carácter preventivo de este tipo de estudios, ya que permiten identificar por un lado, la exposición a amenazas naturales o antrópicas y por otro, son insumos necesarios para la detección o comparación de cambios tras la ocurrencia de algún fenómeno de gran magnitud.

REFERENCIAS

- Amnesty International (2015) Nigeria: Satellite images show horrific scale of Boko Haram attack on Baga. Consultado en septiembre de 2015. <https://www.amnesty.org/>
- Ben-Dor, E.; Levin, N. & Saaroni, H. (2001) A Spectral based recognition of the urban environment using the visible and near-infrared spectral region (0.4 – 1.1 μm). A case study over Tel-Aviv, Israel. *International Journal of Remote Sensing*, 22 (11), 2193 – 2218.
- Heiden, U.; Segl, K.; Roessner, S. & Kaufmann, H. (2007) Determination of robust spectral features for identification of urban HyMap data, in *Proceeding of the 2nd GRSS/IPSRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas*, Berlin.
- Herold, M.; Roberts, D.; Gardner, M. & Dennison, P. (2004) Spectrometry for urban area remote sensing – development and analysis of a spectral library from 350 to 2400 nm. *Remote Sensing of Environment*, 91 (3-4), 304 – 319.
- Hussain E., *et al.* (2011) Building Extraction and Rubble Mapping for City Port-au-Prince Post 2010 Earthquake with GeoEye-1 Imagery and Lidar Data *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* Vol. 77:10 1011-1023
- Lira-Chávez, J. (2010) *Multispectral images processing*, Second Edition. Geophysics Institute, UNAM. Mexico
- Lizarazo, I & Elsner, P (2008) From Pixels to Gixels: A unified functional model for geographic object-based image analysis. *ISPRS Archives*. Volume XXXVIII-4/C1, 2008
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2014) *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision, Highlights (ST/ESA/SER.A/352)*
- Weng, Q. (2012) *An Introduction to Contemporary Remote Sensing*. The McGraw-Hill Companies, China. ISBN 978-0-07-174011-1
- Xiaojun, Y. (2011) *Urban Remote Sensing: Monitoring, Synthesis and Modeling in the Urban Environment*, Wiley-Blackwell.