

# Uso de datos de alta resolución para la evaluación de los recursos naturales en Municipios Mexicanos

Fabiola D. Yépez Rincón<sup>1</sup>  
D. Fabián Lozano García<sup>1</sup>  
M. Patricia VelaCoiffier<sup>1</sup>  
Silvia L. Casas González<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey -ITESM/CCA  
fabiola.yopez@gmail.com, dflozano@itesm.mx

<sup>2</sup>Universidad Autónoma de Tamaulipas – UAT/FIC  
silvia.casas757@gmail.com

**Resumen.** Hoy en día más del 75% de la población vive en las ciudades, razón por la cual las áreas urbanas son sistemas en constante cambio que requieren actualizaciones periódicas sobre los nuevos desarrollos y el cambio de uso de suelo entre otras problemáticas de los recursos naturales urbanos, que ayuden a generar las bases para las políticas públicas relacionadas con el desarrollo urbano sostenible. El objetivo principal de este trabajo fue desarrollar un procedimiento metodológico basado en el uso de sistemas de información geográfica y percepción remota que ayudarán a demostrar la utilidad de dos sensores de alta resolución (LIDAR y World View 2) en la cuantificación de los recursos naturales urbanos en el Noreste de México. Los resultados forman parte preliminar de un esfuerzo que se desarrolla en el Laboratorio de Sistemas de Información Georreferenciada del ITESM, en el desarrollo de nuevos métodos que establezcan mejoras en el proceso de actualización de información urbana y periurbana. Se eligieron 2 áreas de estudio de 6.25 km<sup>2</sup> en 2 Municipios pertenecientes al Área Metropolitana de Monterrey, San Pedro Garza García y Monterrey. La información LIDAR, consistente en una nube de puntos con resolución horizontal de 0.70 m y precisión vertical de 0.10 m de Diciembre de 2010, primero, se clasificó la información LIDAR y con ella se generó información en 3D de la superficie terrestre que fue clasificada. A la par se llevó a cabo una clasificación no supervisada de una imagen de satélite World View 2 coincidente con las fechas de los datos LIDAR. Ambos resultados fueron validados y comparados a través de una matriz de error en la que el porcentaje de exactitud alcanzando una exactitud del 89%.

**Palabras clave:** Datos de alta resolución, LIDAR, Evaluación de recursos naturales y urbanos.

**Abstract.** Nowadays over 75% of the population lives in the cities, reason why urban areas are constantly changing systems requiring regular updates on new developments and changes in land use and other issues of urban natural resources that help create the basis for public policies related to sustainable urban development. The main objective of this paper was to develop a methodological approach based on the use of GIS and remote sensing that help demonstrate the utility of two high resolution sensors (LIDAR and World View 2) for quantifying natural and urban resources in the Northeastern Mexico. The preliminary results are part of an effort that develops the Georeferenced Information Systems Laboratory ITESM, on developing new methods to establish improvements in the process of updating information urban and per urban. We chose two study areas 6.25 km<sup>2</sup> in 2 Municipalities belonging to the Metropolitan Area of Monterrey, San Pedro Garza Garcia and Monterrey. LIDAR information, consisting of a cloud of points with horizontal resolution of 0.70 m and 0.10 m vertical accuracy of December 2010, the first, was classified information with her LIDAR and 3D information is generated from the earth's surface that was classified. The pair conducted an unsupervised classification of a satellite image World View 2 dates coinciding with LIDAR data. Both results were validated and compared through an error matrix wherein the percentage of accuracy reaching an accuracy of 89%.

**Keywords:** High Resolution Data; LIDAR; Urban and Natural Resources Survey.

## 1. Introducción

Se requiere de un estudio completo sobre las problemáticas urbanas para afrontar los retos futuros tanto ambientales, económicos y sociales. A nivel mundial, América Latina reporta cerca del 3% en crecimiento urbano (Benítez-Senteno, 1992). El crecimiento de una ciudad se traduce a cambios en la superficie del terreno, por lo que seguramente cada mes o incluso

cada semana existirán cambios que reportar por modificaciones de los elementos en el mapa de una ciudad; elementos tales como edificios, puentes, tipo de suelo, área pavimentada, árboles, etc.. Sin embargo, dicha información no es evaluada ni monitoreada periódicamente, complicando la actualización de los datos.

El ambiente urbano sin duda es uno de los más cambiantes, lo cual aumenta la complejidad de clasificar y mapear las ciudades con métodos tradicionales (Williamson & Fourie, 1998). Oficialmente el uso de suelo que se reporta para en las ciudades para edificios por ejemplo, consiste en una combinación que varía de áreas habitacionales (residenciales), comerciales o las exclusivas del sector industrial. La clasificación de las áreas que corresponden a cada tipo de uso de suelo depende de datos generados a escalas 1:50,000 ó 1:20,000 que no son tan actuales y que en algunas ocasiones no se encuentran en formatos digitales, para las ciudades algunas capas alcanzan 1:5,000 pero son escasas. Desafortunadamente, algunos de estos datos además presentan deficiencias en la información o tienen campos o formatos distintos que no permiten su comparación, imposibilitando en algunos casos la continuidad del monitoreo, un problema común cuando se requiere hacer análisis históricos.

La ventaja de tener resultados de análisis geoespaciales de la superficie, es su utilidad para la planeación estratégica de la ciudad (Chen et. al. 2008). En la mayoría de las ciudades latinoamericanas existen problemas importantes de planeación urbana, desorden de crecimiento, falta de regulación en los asentamientos, sus características de construcción y la rapidez con la que se modifica la cobertura del (CEPAL, 2001; PNUMA, 2003; UNCHS, 1996). Las consecuencias de la falta de información y de instrumentos legales que regulen el desarrollo urbano inadecuado son la pérdida de suelo, disminución de vegetación, disminución de la infiltración natural, exceso en los materiales de arrastre, cambios en el clima local, problemas de inundación, aumento de contaminación atmosférica (WHO, 2005), entre otros; todo debido a la ausencia de orden en el desarrollo de las metrópolis.

Además, el análisis espacial permite evaluar periódicamente las bases de datos sobre el cambio de uso de suelo de las áreas urbanas, al poner en números y en planos la geoinformación tal como reacomodo catastral, áreas verdes urbanas, asentamientos irregulares u obstrucción a cauces, entre otras problemáticas de los recursos urbanos que permitirán guiar a los tomadores de decisiones con las bases necesarias para reajustar políticas urbanas.

Es por lo anterior que la metodología para el análisis de la superficie (uso de suelo) en las ciudades es trascendental y requiere de un sistema de inteligencia que integre las variables de infraestructura urbana y recursos naturales en una base georreferenciada que permita monitorear dichos cambios de una manera eficiente y en un costo razonable. Los sistemas inteligentes ayudan a conocer con datos más precisos el comportamiento de la estructura de ciudad y su proceso paralelo de transformación del hábitat (Kaiser et. al., 1995; World Bank, 1995), pues permiten el análisis cuantitativo de los elementos de la superficie.

Existen métodos para el mapeo de las ciudades tanto con las técnicas convencionales, como con percepción remota como lo son las estaciones totales, pictometría o fotografía oblicua, interpretación y clasificación de imágenes satelitales o más recientemente el análisis de datos LIDAR (Ackermann, 1999; Flood, 2001). LIDAR es una herramienta tecnológica para la creación de información 3D que está revolucionando desde hace una década a distintas disciplinas, demostrando utilidad y eficacia para resolver los problemas de precisión de datos

y para el inventario de recursos múltiples de la ciudad (Reutebuch et.al., 2001; Satale & Kulkarni, 2006). El sistema LIDAR funciona en muchas formas de manera más eficiente para obtener cartografía que la fotogrametría convencional (Baltasvias, 1999) y los datos (nubes de puntos en formatos xyz) se pueden combinar con la información de otro tipo de sensores. Las fusiones de los datos LIDAR con otros datos multispectrales pueden ser aplicables a una amplia gama de disciplinas como ingeniería civil, planificación urbana, manejo forestal, hidrología e hidráulica, etc. (Filin et.al., 2005; Lefsky et. al., 2002).

El objetivo principal de este estudio fue utilizar ambas tecnologías (datos LIDAR e imágenes multispectrales de alta resolución) y comparar los resultados de la clasificación para mejorar el procedimiento de obtención de información de la superficie de las ciudades en México.

## 2. Área de estudio

El área de estudio se encuentra en la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México.... En este estudio se seleccionaron 2 de los 10 sitios que serán estudiados utilizando datos de alta resolución, LIDAR y ópticos. En la Figura 1 se aprecian los dos sitios que numéricamente corresponden a los sitios 1 y 3 que tienen un área de 2.5km por lado.

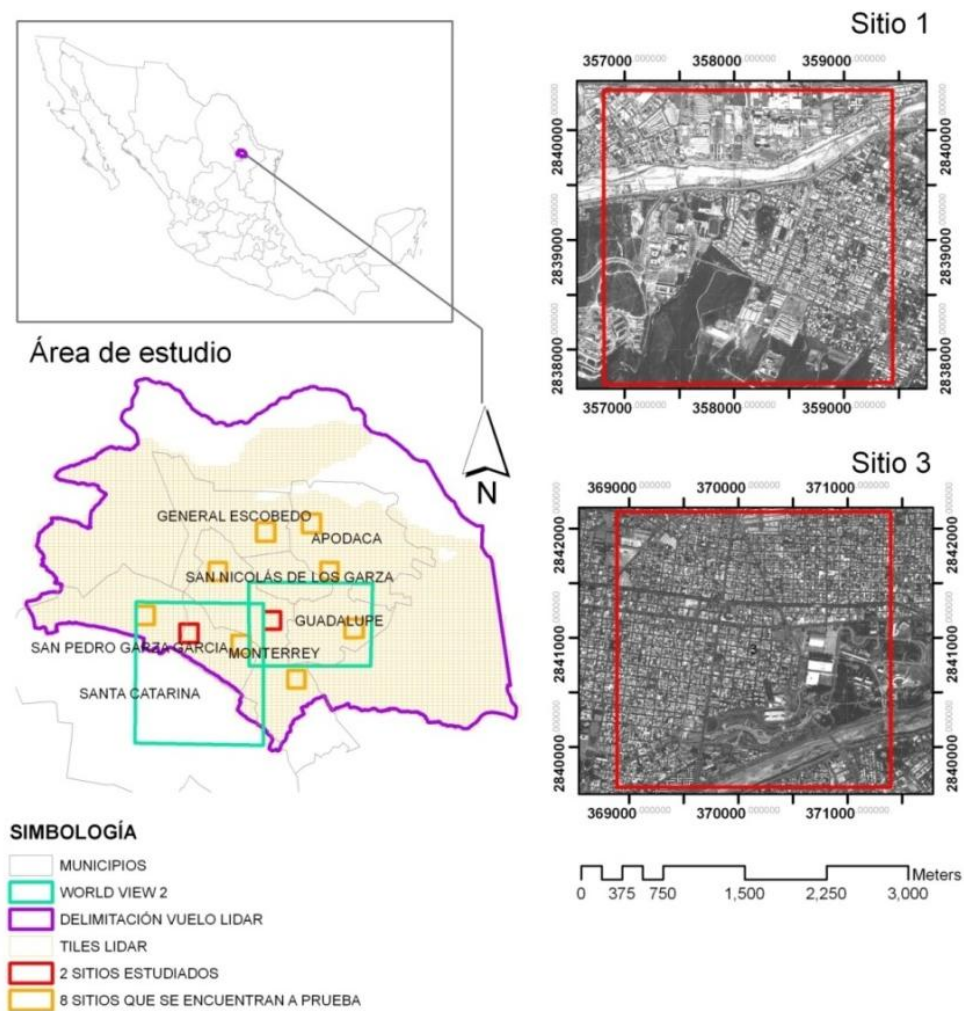


Figura 1. Localización del área de estudio, los sitios de muestreo y los sitios de los que se presentan resultados preliminares.

### 3. Metodología

El análisis de la superficie fue realizada con dos metodologías distintas de percepción remota: 1) Clasificación de datos LIDAR y 2) Clasificación de imágenes ópticas (World View 2). La metodología LIDAR fue la siguiente: Para el filtrado de los datos crudos se utilizaron algoritmos de filtrado que tiene el programa MARSs de Merrick. Las *breakinglines* permitieron separar el suelo (Digital Terrain Model, DTM) del resto de los elementos de la superficie (Digital Surface Mode, DSM). El resto de los elementos del DSM se clasificó diseñando filtros compuestos con los siguientes algoritmos: *Building*, *Elevation*, *Heightfromsurface*, *Intensity*, *PlaneAnalysis*, *Reclassify*, *Return* y *Cross Section*. Las clases establecidas fueron: Edificios, Calles y avenidas, Vegetación, Suelo, Agua, y Lecho del río etc. El diseño de los filtros y sus resultados específicos pueden ser consultados en la publicación de los autores Yépez Rincón & Lozano García, 2012, *in pub*.

La clasificación de las imágenes World View 2, siguió el procedimiento estándar de PCI Geomática para la clasificación de imágenes ópticas. Realizándose un manejo previo de la información en la que se hizo la corrección geométrica y se extrajo el polígono con los sitios de estudio específicos. Para la clasificación se utilizaron 60 clases para hacer los clusters y con esquema de color en verdaderos y 24 iteraciones, y convergence threshold 0.95.

La imagen que se manejó contenía únicamente cuatro de las ocho bandas disponibles: Roja, Verde, Azul e Infraroja cercana. Las clases obtenidas fueron a) Edificios, b) Vegetación, 3) Calles, 4) Suelos, 5) Agua, 6) Sombras y 7) Otros como se desglosan en la Figura 2. La clasificación se validó al seleccionar 10 puntos por cada tipo de clase, es decir una estratificación de puntos al azar. Se realizó la misma metodología para la clasificación de World View 2 y para LIDAR. Dado a que el objetivo principal de este documento fue utilizar ambas tecnologías y comparar los resultados de la clasificación se utilizaron una serie de puntos estratificados por clase al azar. Cada clase obtuvo 10 puntos que fueron muestreados al azar para verificar su certeza.

La verificación se realizó en esta etapa sobre la imagen, sin embargo para el resultado final del estudio se pretende verificar en campo al menos el 50% de los puntos señalados. La información se comparó en una matriz de confusión donde se obtuvieron los resultados de las ópticas en negro y de LIDAR en rojo (Figura 3).

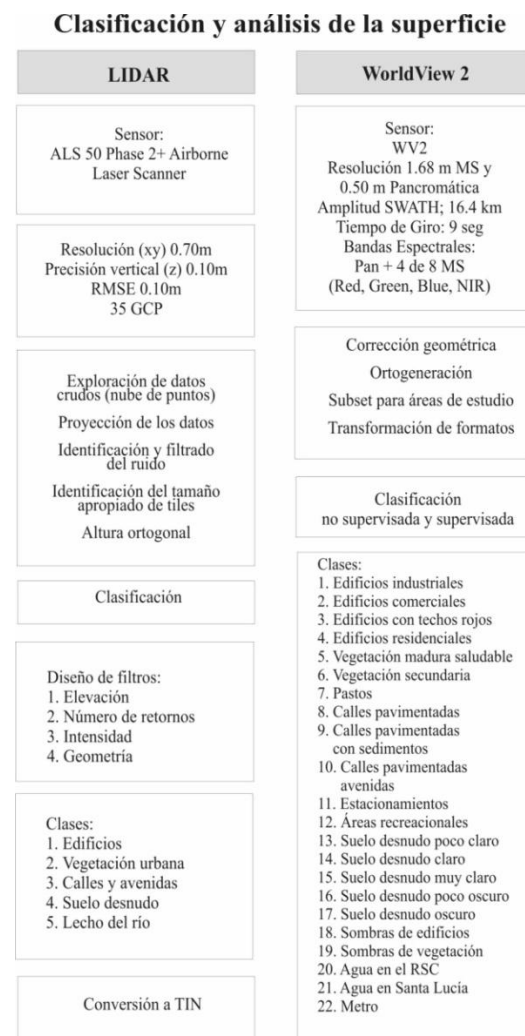


Figura 2. Metodología que se siguió para clasificar la información.

#### 4. Resultados y conclusiones

Ambas clasificaciones fueron comparadas por clase, pero para el cálculo de errores de omisión y comisión se generalizaron las clases en 1)Edificios, 2)Vegetación urbana, 3)Calles y avenidas, 4)Suelo y 5) Agua y 6) Otros. Se obtuvieron diferencias importantes entre ambos sensores. Desde la vista aérea se aprecia en la Figura 3 una clara confusión del filtrado en LIDAR con las clases de vegetación y edificios. La razón de esta confusión se remite al número de retornos que se utilizaron y quizás a valores de intensidad. Sin embargo, la clasificación de la imagen se pueden apreciar las diferencias entre 22 clases, lográndose apreciar claramente entre clases con edificios residenciales e industriales.

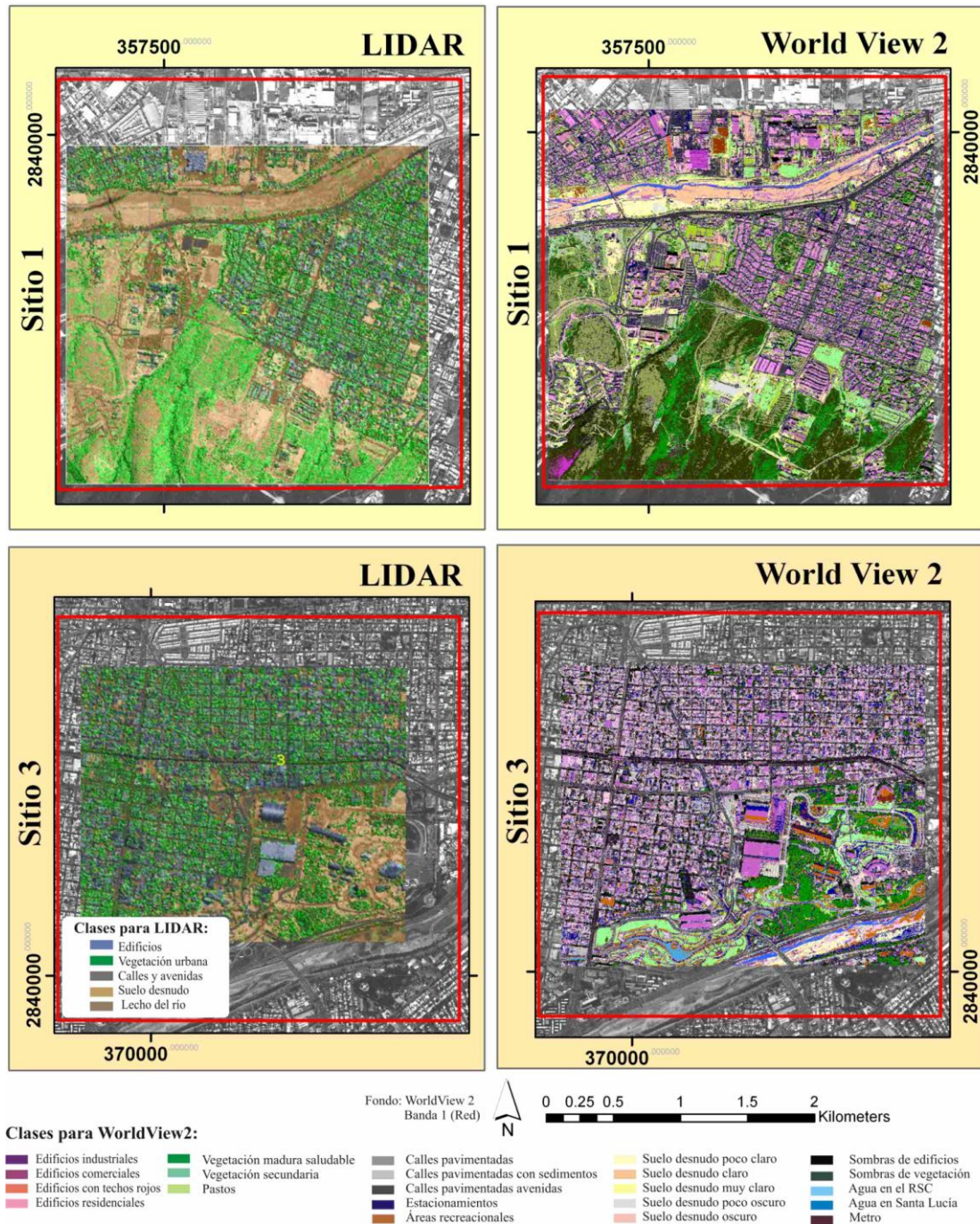


Figura 3. Las clasificaciones por sensor y sitio.

En la Figura 4 se observa con puntos rojos los errores del sensor LIDAR y con puntos negros las imágenes ópticas. Para los resultados de LIDAR puede concluirse que la vegetación tiende a confundirse con los edificios, así como los pavimentos con suelos.

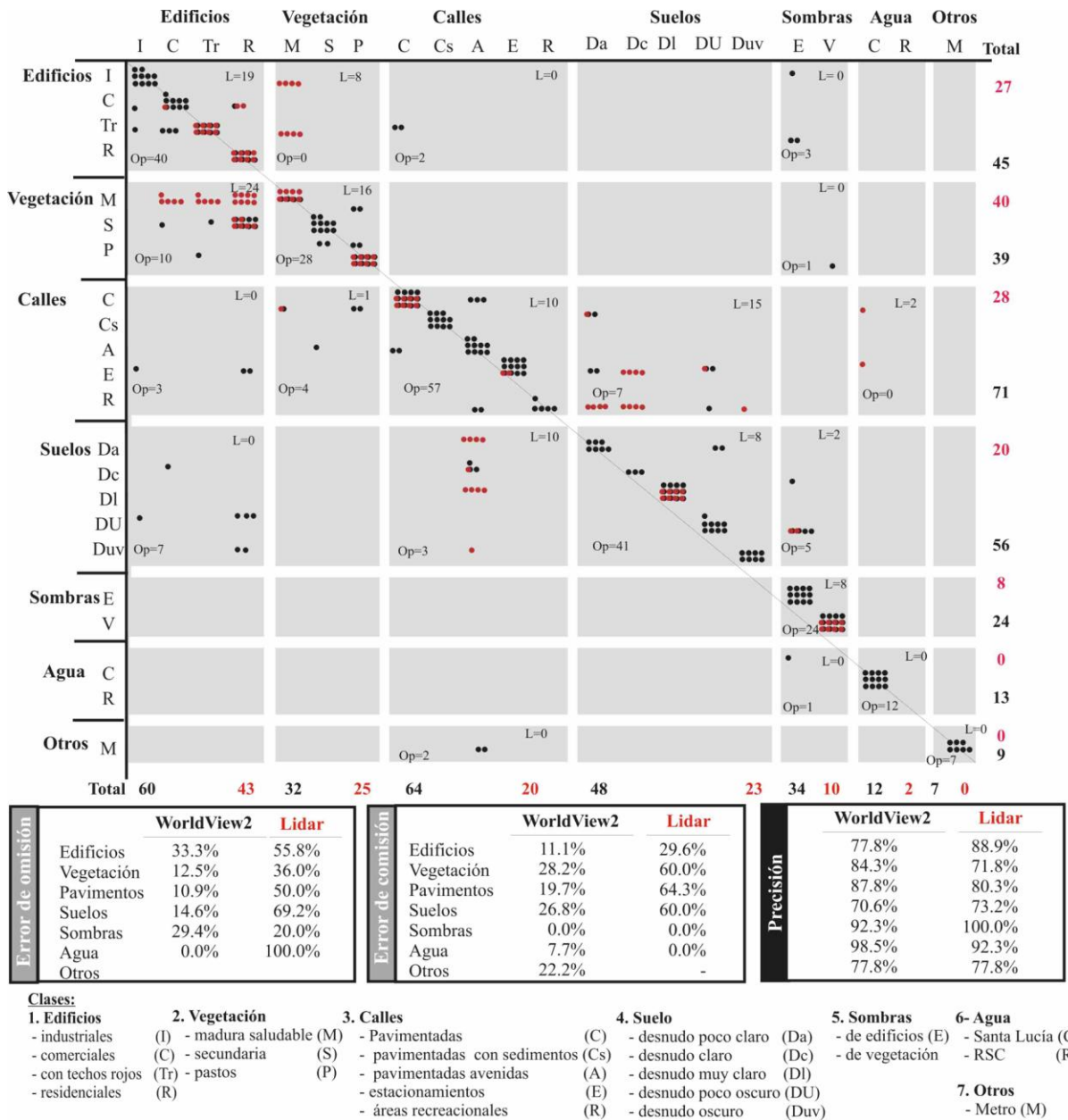


Figura 4. Matriz de error para LIDAR (puntos rojos) y World View 2 (puntos negros).

## 5. Recomendaciones

Los resultados preliminares obtenidos de acuerdo al análisis de la matriz de errores de omisión y comisión indican que será necesario el perfeccionamiento de los filtros utilizados en la clasificación de los datos LIDAR, para lograr mejores resultados en el filtrado automático de la información. En términos generales se recomienda en primer término 1) Ajustar la clasificación de la imagen World View 2 para alcanzar un nivel de exactitud sobre el 95%, mediante un proceso de clasificación mixta (método supervisado y no supervisado, 2) Recalibrar los filtros que fueron diseñados para la clasificación de datos LIDAR en base a las

clases propuestas para los datos ópticos y 3) Fusionar la información resultante de la clasificación para elevar el nivel de exactitud al 98%.

## 6. Agradecimientos

Los autores agradecemos a la Comisión Nacional del Agua y al Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey por la provisión de los insumos y apoyo necesarios para la elaboración de éste documento.

## 7. Referencias

- Ackermann, F. (1999). Airborne laser scanning present status and future expectations. **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, Vol. 54, pp. 148.
- Baltsavias, E. (1999). A comparison between photogrammetry and laser scanning, **Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, 54, 83-94.
- Benítez-Senteno, Raúl. (1992). **Los estudios de población en América Latina y México**, en Francisco Paoli, Las ciencias sociales y las humanidades, México; UNAM-Miguel Ángel Porrúa.
- CEPAL. (2001). **Plan de acción regional de América latina y el Caribe sobre asentamientos humanos**. Santiago de Chile.
- Chen, T., J. Wang, K. & K. Zhang. (2008). **Urban man-made object extraction using the distribution of the gradient directions**. ISPRS documents.
- Filin, S., Kulakov, Y. & Doytsher, Y. (2005). Application of Airborne Laser Technology to 3D. **Cadastré. FIG Working Week 2005 and GSDI-8**.
- Flood, M. (2001). Laser altimetry—from science to commercial LIDAR mapping. **Photogramm. Eng. Remote Sens.**, 67, 1209-1211.
- García de León Loza, A. 1998. **Cuantificación de las características físicas de la vivienda urbana en México**. Boletín de los Sistemas Nacionales Estadístico y de Información Geográfica.
- Garza, G. & F.A. Rodríguez. (1998). **Normativa urbanística en las principales metrópolis de México**. El Colegio de México.
- Kaiser, E.J., D. R. Godschalk & F. S. Chapin. (1995). **Urban Land Use Planning**. 4ª. Edición. University of Illinois Press, p.v.
- Lefsky, M., W. Cohen, G. Parker, & D. Harding. (2002). LIDAR Remote Sensing for Ecosystem Studies, **Bioscience**. Vol. 52, No. 1. pp. 19-30.
- PNUMA. (2003). **Asentamientos humanos en América Latina y el Caribe**. Panamá.
- Reutebuch, S.E., H.E. Andersen. & R. J. McGaughey. (2001) R.J. **Light detection and ranging (LIDAR): an emerging tool for multiple resource inventory**. *J. Forest.* 103, 286-292.
- Satale, D. & M. Kulkarni. (2003). **LIDAR in mapping**. Map India Conference GISdevelopment.net. <http://www.gisdevelopment.net/technology/gis/mi03129.htm>, Last accessed March 28, 2006).
- UNCHS. (1996). **An Urbanising World: Global Report on Human Settlements**, Oxford: Oxford University Press.
- Williamson, I. & C. Fourie. (1998). Using the Case Study Methodology for Cadastral Reform. **Geomatica**. Vol. 52 No. 3 pp283-295.
- World Bank. (1995). **The Urban Age. 3:2**. World Bank: Washington, D.C.
- World Health Organization. (2005). **Ecosystems and human well-being: Health Synthesis**. Millenium Ecosystem Assessment. WHO Press, Suiza. 53p.
- Yépez Rincón, F. D. y D.F. Lozano García. 2012. **Mapeo de ciudades con datos LIDAR**. in Dinámicas locales del cambio global: Aplicaciones de percepción remota y análisis espacial en la evaluación del uso del territorio. Universidad de Chihuahua. *in pub*.