

## DETECCIÓN DE PAVIMENTACIÓN Y CARGA VEHICULAR, CALIDAD DEL AIRE Y SUS EFECTOS EN LA SALUD EN MEXICALI, B.C

Luis Ernesto CERVERA GOMEZ<sup>a</sup>, Hugo Luis ROJAS VILLALOBOS<sup>b</sup>, Tomás BALAREZO VAZQUEZ<sup>c</sup>

<sup>a</sup> El Colegio de Chihuahua, Anillo envolvente PRONAF, Ciudad Juárez. email: lcervera@colech.edu.mx

<sup>b</sup> Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Av. Del Charro 450. Cd. Juárez, Chih.

<sup>c</sup> COCEF, Blvd. Tomás Fernández 8069, Cd. Juárez, Chih., email: tbalarezo@cocef.org

### RESUMEN

El presente estudio realizado en la Ciudad de Mexicali, B.C. muestra la aplicación de dos algoritmos para extraer información de pavimentación y carga vehicular con imágenes satelitales de alta resolución comercial, ayudando con esto a la implementación de nuevos métodos con técnicas de percepción remota para evaluar las condiciones de pavimentación en calles, así como el conteo de carga vehicular. Se utilizó una imagen satelital del sensor Pleiades 1A, correspondiente al 12 de noviembre del año 2014 y con resolución espacial de 50 cm. El propósito fue conocer las necesidades de la ciudad de Mexicali, B. C., en cuanto a pavimentación por colonias y calles, así como la población a beneficiar y costos por pavimentar con asfalto. Asimismo, correlacionar espacialmente en una aproximación con nivel estrictamente descriptivo las variables detectadas en la imagen con la dispersión de contaminantes PM10 por estación del Sistema de Muestro de la ciudad de Mexicali y con la concentración de enfermedades respiratorias relacionadas con calidad del aire. Los principales resultados muestran que la ciudad tiene un 22% de sus calles sin pavimentar con una superficie total de 8,906,166 metros cuadrados. Se contó un total de 81,200 vehículos sobre calles, de los cuales 8,874 estaban circulando sobre vialidades no pavimentadas. Existe una relación espacial entre los máximos niveles de concentración de PM10 en zonas sin pavimentar y una posible relación con la distribución espacial de enfermedades respiratorias.

**Palabras clave:** Detección de pavimentación y Detección de carga vehicular, Sensor Pleiades 1A

### ABSTRACT

The present study was conducted at the border city of Mexicali, B.C. to develop two algorithms designed to extract information from paved and unpaved streets conditions and detection vehicles over streets using high spatial resolution (50 cm) satellite imagery (Pleiades 1A). Remote sensing techniques offer the opportunity to develop methods for road condition assessment and vehicle counting. First goal of the research was to know paved needs over streets considering pavement costs and the size o beneficiated population, additional with estimating quantities of vehicles moving over paved en unpaved streets. Final goal was to analyze possible spatial relationships go these two variables with air quality and health conditions measured by respiratory diseases. Main results indicate that 22% of streets (8.9 million of sq. meters) are in unpaved conditions. A total of 81,200 vehicles were separated from image. 8,874 vehicles were moving over unpaved streets. Finally, spatial analysis indicate spatial relationships among these variables with air quality measured by PM10 and respiratory diseases.

**Keywords:** Paved streets detection, Vehicles detection, Remote sensing and GIS, Pleiades 1A.

## 1 INTRODUCCIÓN

El presente estudio se realizó la Ciudad de Mexicali, ciudad fronteriza del estado de Baja

California, caracterizada por estar en una región climática poco favorable y con problemas en la calidad del aire. Esto debido a varios factores, entre los que destacan: la presencia de industria

contaminante; zonas no pavimentadas; espacios abiertos y alta carga vehicular con vehículos importados de modelos antiguos.

Uno de los problemas ambientales más importantes y sobre todo de las ciudades mexicanas fronterizas tiene que ver con el rezago en la pavimentación de calles. Esta carencia de infraestructura urbana tiene un impacto en la salud y en el medio ambiente en un contexto binacional. Por el lado estadounidense existen problemas de pavimentación, pero no tanto de cobertura, sino de mantenimiento, edad, calidad, etc. En este estudio, mediante el uso de tecnología satelital y la incorporación de Sistemas de Información Geográfica, se realizó un inventario del estado actual de pavimentación en las calles de Mexicali, B. C.

## **2 DIAGNÓSTICO DE PAVIMENTACIÓN**

Objetivo principal:

Conocer las necesidades de la Ciudad de Mexicali, B. C., en cuanto a pavimentación por colonias y calles, así como la población a beneficiar y costos por pavimentar con asfalto, interactuando con herramientas tecnológicas de última generación, como lo son las imágenes satelitales.

Objetivos específicos:

Aplicar un algoritmo que estime un indicador urbano de superficies pavimentadas y sin pavimentar, sin supervisión de campo. Esto último se suple con una precisa supervisión sobre la imagen satelital.

Utilizar los polígonos base para extraer superficies, resultados y estadísticas poblacionales de la clasificación de las “Áreas Geo-estadística Básicas” (AGEB’s) y las colonias que identifica el INEGI. Relacionar resultados finales de superficies sin pavimentar con costos de pavimentación con asfalto. Generar cartografía digital en el ambiente de los Sistemas de Información Geográfica, que se convierta en una herramienta de ayuda, tanto para la actualización de los inventarios de calles pavimentadas, como para la definición e integración de programas de pavimentación en

Mexicali, Baja California, por parte de las autoridades locales.

## **3 DETECCIÓN DE CARGA VEHICULAR**

El objetivo de esta componente es realizar un conteo de carga vehicular y separación de vehículos en la ciudad, los que se analizan en el contexto de la cobertura de pavimentación y de la contaminación y sus impactos en la salud. Para lograrlo, se habrá requerido utilizar la tecnología y uso de la imagen satelital PLEIADES 1-A, además de la incorporación de los sistemas de información geográfica.

### **3.1 Metodología: Detección y caracterización de vehículos**

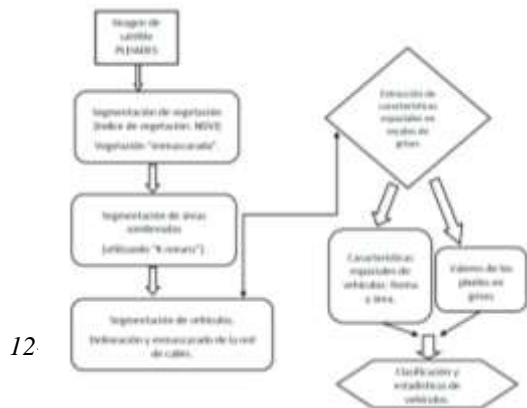
Para la detección de vehículos llevada a cabo en otros casos, se han utilizado normalmente fotografías aéreas con métodos variados (Hinz, 2005; Schollosser et al, 2003; Stilla et al, 2004). Aun y cuando es menos el trabajo que se ha realizado con imágenes satelitales para dichos propósitos, se puede decir que contar la carga vehicular de un territorio específico con imágenes satelitales o fotografías aéreas no es un ejercicio nuevo o reciente en la detección de objetos con técnicas de percepción remota. Desde el lanzamiento de los sistemas satelitales de alta resolución, tales como IKONOS, QUICKBIRD, World View I y II, GEO EYE, se han generado imágenes de menos de 50 cm de resolución espacial y con esto es técnicamente factible extraer información del tráfico o carga vehicular. Como se comentó anteriormente, en este proyecto se utilizó una imagen satelital del sensor PLEIADES 1-A, que fue lanzado el 16 de diciembre del año 2011 y que se considera como uno de los satélites comerciales (multiespectral) de la más alta resolución espacial (tamaño de píxel igual a 0.50 m). La imagen adquirida cuenta con cuatro bandas espectrales (rojo, verde, azul e infrarrojo). No existen métodos directos conocidos hasta ahora en México, para llevar a cabo el ejercicio que se propone en este apartado, por lo que se requiere nuevamente el desarrollo de un algoritmo especial enfocado a un método semi-automatizado que pueda proveer un conteo eficiente con precisiones mayores al 80 %. No obstante, existen ejemplos

relativamente nuevos de esta tecnología aplicada a la obtención de información vehicular con imágenes satelitales (Grabber et al, 2008; Eikvil et al, 2009).

Para la atención específica de este estudio, se aplicaron dos sistemas de información geográfica: uno tipo raster, para el cual se utilizó la plataforma ENVI 4.4 y ENVI EX y un Arc Gis como sistema vectorial. Para el formato raster se desarrolló especialmente un algoritmo orientado a la clasificación de objetos, con los que se pudiera, en este caso, separar y contabilizar los vehículos sobre las vialidades de la ciudad.

Debido a que la adquisición de la imagen satelital implica una toma en un momento durante el día, cabe señalar que se obtuvo una aproximación satisfactoria del total de la carga vehicular circulando en una hora específica de la ciudad de Mexicali. Sin embargo, resulta prácticamente imposible contabilizar los vehículos ocultos en estructuras, edificaciones, sombras o bajo árboles. Aunque existen varios métodos identificados y relacionados con la separación y conteo de la carga vehicular, en este estudio de investigación para la ciudad de Mexicali, se adaptó un algoritmo similar al que propone Eikvil, 2009. Este algoritmo se basa en los siguientes pasos metodológicos: 1. Segmentación, 2. Extracción de características, 3. Pre-clasificación, 4. Aplicación de reglas (formas, superficies mínimas vehiculares, etc.), 5. Clasificación final y 6. Generación de indicadores

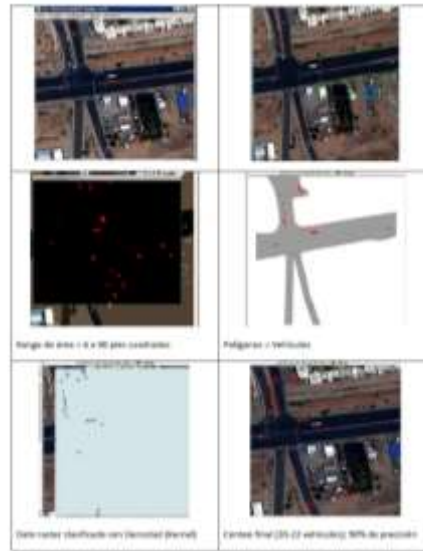
En la siguiente figura se muestra el algoritmo que se ha desarrollado específicamente para este proyecto.



**Figura 1.** Algoritmo para la segmentación y detección de vehículos para la ciudad de Mexicali, B.C.

### 3.1.1 Procedimiento en la aplicación del Algoritmo de conteo de carga vehicular

A continuación se expresan de manera sintetizada los principales procedimientos para la detección de objetos o vehículos.



**Figura 2:** Algoritmo propuesto para la detección de vehículos sobre vialidades.

Una vez realizado el procedimiento analítico recién descrito, se generaron los siguientes productos y que se relacionan a los propuestos para este estudio:

Producto	Descripción
a) Mapa de carga vehicular sobre vialidades	Resultado de la segmentación y separación de objetos, se desarrolla un mapa con el total de objetos, representando vehículos sobre las vialidades de la

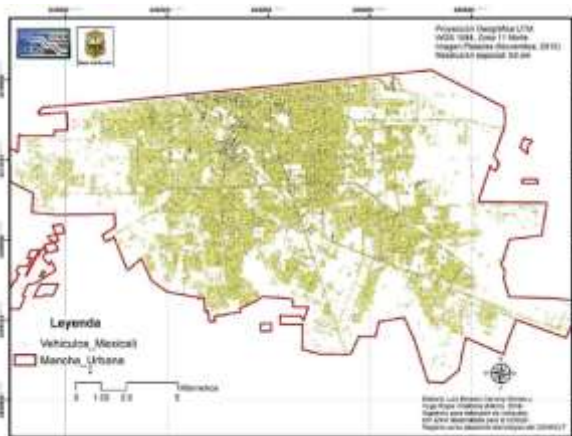
	ciudad. Resultado final con estadísticos por colonia.
b) Mapa de densidad de carga vehicular	Indicador espacializado de densidad representando el número de vehículos por unidad de superficie.
c) Carga vehicular sobre vialidades pavimentadas y no pavimentadas.	Mapa de distribución espacial de vehículos sobre vialidades pavimentadas y sin pavimentar (se calcula la carga vehicular para ambos casos).

**Cuadro 1.** Productos derivados de detección y caracterización vehicular.

#### 4 RESULTADOS DETECCION DE CARGA VEHICULAR

Con el método propuesto, se logró separar un total de 81,200 objetos definidos como vehículos, dentro de la mancha urbana en la Ciudad de Mexicali, B. C.

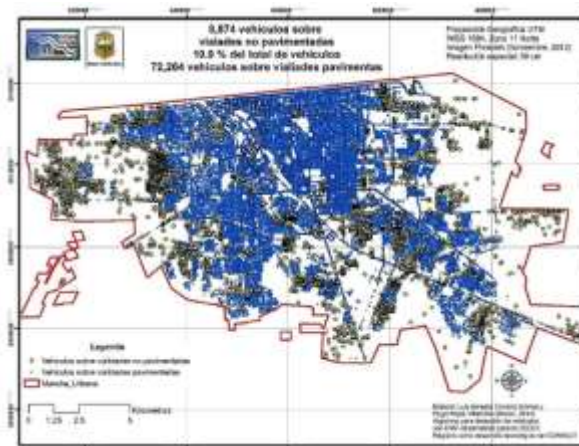
La siguiente figura muestra un mapa que contiene el total de los 81,200 vehículos detectados en dicho momento, sobre el espacio urbano de la ciudad de Mexicali, B. C. Se aprecian concentraciones en la parte centro y norte de la ciudad, alineaciones de vehículos sobre vialidades principales y menores cargas vehiculares al oriente y poniente de la mancha urbana.



**Figura 3.** Total de vehículos detectados en Mexicali, B. C. (Nov. 21, 2012. 18:35 hrs.).

Respecto al total de vehículos sobre vialidades pavimentadas y no pavimentadas En primer término, para poder estimar el total de vehículos sobre vialidades no pavimentadas, se hizo una separación de este tipo de calles del total. Se creó una zona buffer alrededor de esas calles de 15 m. Con el módulo de geo procesamiento se realizó un intersect entre el buffer de calles no pavimentadas y el total de la carga vehicular de Mexicali.

Como resultado, se encontró que 8,874 vehículos del total, se ubicaban en las calles no pavimentadas, representando el 10.9 % de la carga vehicular total de Mexicali, B. C.



**Figura 4.** Total de vehículos sobre vialidades no pavimentadas en Mexicali, B. C.

Para calcular un mapa que refleje la concentración espacial o patrones espaciales de carga vehicular, se recurre a técnicas de análisis espacial, se recurre a técnicas de análisis espacial, se recurre a técnicas de análisis espacial y una de ellas es conocida como el cálculo de densidad. Estos indicadores espaciales sólo se calculan con información presentada o relacionadas a puntos. Es por ello que se calcularon los canchales geométricos de todas las colonias. De aquí se deriva un mapa de colonias por puntos y en la tabla de atributos se cuenta con el cálculo de conteo de vehículos por colonia.

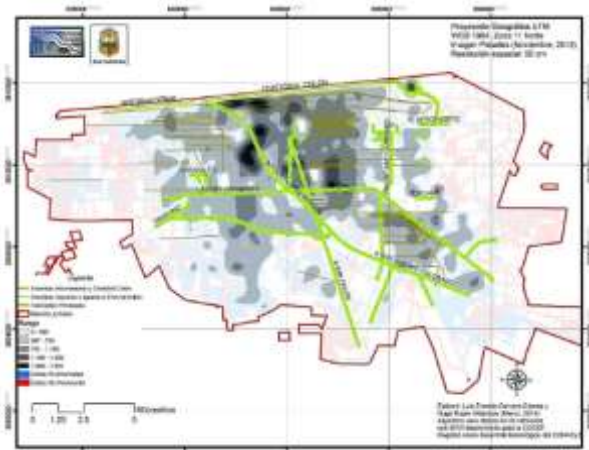


Figura 5. Densidad de carga vehicular vs avenidas principales.

Como un resultado consecuente al estudio realizado entre la calidad del aire y la pavimentación, se estableció una correlación entre las calles sin pavimentar (en rojo) y las máximas concentraciones de partículas finas PM10, resultando el siguiente mapa:

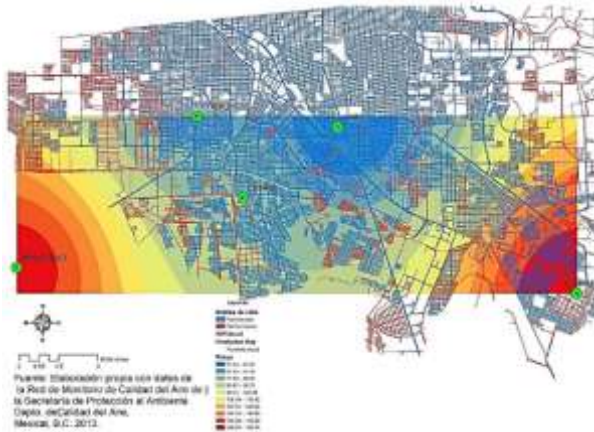


Figura 6. Correlación espacial entre la calidad del aire y la cobertura de pavimentación

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos la colaboración del Mtro. Mario Vázquez por su comprometido seguimiento del proyecto, así como a la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) por el financiamiento del proyecto.

## REFERENCIAS

- Canada Center for Remote Sensing (2008). Optical Imaging Systems Information Extraction from High Resolution Satellite Images. Available in [http://nrcan.gc.ca/optic/high/infoext\\_e.php](http://nrcan.gc.ca/optic/high/infoext_e.php)
- Guindon, B., 1997. Computers-Based Aerial Image Understanding: A Review and Assessment of its Application to Planimetric Information Extraction from Very High Resolution Satellite Images. Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 23, p.p. 38.
- Jensen J. R., and Cowen, D.C. 1999. Remote sensing of Urban/suburban infrastructure and socio-economic attributes, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 65(5):611-622.
- Quatrochi, D.A. and Weng, Q. 2007. Urban Remote Sensing. CRC Press. Taylor & Francis Group. 412 pp.
- Usher, J.M. (2000). Remote Sensing applications in transportation modeling, RemoteTechnology Centers Final Report,
- Western Research Institute (2003). Pavement Construction and Maintenance Applications for Remote Sensing. June 2, 25 pp
- Herold, et al (2008). Spectrometry and hyperspectral Remote Sensing of Urban Road Infrastructure. 29 pp.