

# Extracción automática de la vegetación en la zona metropolitana de la Ciudad de México utilizando procesamiento morfológico

***Erick López Ornelas***

Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Cuajimalpa, Santa Fe, 05348, Ciudad de México, Distrito Federal, México, +52 55 5814 6502  
*elopez@correo.cua.uam.mx*

***Rocío Abascal Mena***

Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Cuajimalpa, Santa Fe, 05348, Ciudad de México, Distrito Federal, México, +52 55 5814 6502  
*mabascal@correo.cua.uam.mx*

***Sergio Zepeda Hernández***

Universidad Autónoma Metropolitana – Cuajimalpa, Av. Vasco de Quiroga 4871, Cuajimalpa, Santa Fe, 05348, Ciudad de México, Distrito Federal, México, +52 55 5814 6502  
*jzepeda@correo.cua.uam.mx*

## Resumen

La vegetación es un elemento esencial para un entorno urbano saludable y los beneficios de ésta, en zonas urbanas, influyen el bienestar social de las personas que residen en estas áreas.

Al realizar la extracción de la vegetación, podremos entender los componentes espaciales y las dinámicas urbanas para poder ayudar en su planificación.

En este trabajo se presenta una técnica basada en el procesamiento morfológico para identificar y extraer de manera automática la cobertura vegetal de la zona metropolitana de la Ciudad de México utilizando imágenes satelitales de alta resolución espacial.

El proceso de extracción inicia con una simplificación de la imagen aplicando la técnica “watershed” (pre-procesamiento de imágenes), posteriormente se aplican un conjunto de operaciones morfológicas para extraer la información requerida (la vegetación).

La configuración de la vegetación que existe en las zonas metropolitanas puede ser muy variada. En este artículo mostramos algunos resultados de la extracción en configuraciones de vegetación muy distintas.

**Palabras Claves:** alta resolución espacial, imágenes satelitales, procesamiento morfológico, vegetación urbana.

## 1. Introducción

Actualmente la urbanización en grandes ciudades ha crecido a un ritmo muy rápido. Como resultado, los entornos urbanos se están convirtiendo en el paisaje dominante, lo que requiere un entendimiento de los procesos dinámicos que ocurren en estas áreas. Dos reconocidas características que distinguen a las ciudades de los ambientes naturales incluyen (1) el rápido cambio en las superficies y (2) el papel dominante de la actividad humana en este ambiente, lo que genera una gran heterogeneidad en el entorno urbano [1].

La vegetación ha sido identificada como un componente vital de un entorno urbano saludable, que influye tanto en las condiciones físicas de la ciudad, como en el bienestar social de sus residentes. Esto conlleva a una gran vinculación entre los sistemas humanos y los sistemas socio-ecológicos [2]. En una revisión de las necesidades sociales de las zonas urbanas, [3] sugiere que las acciones y las actitudes humanas se conectan directamente a las características físicas del entorno ambiental, de los cuales la vegetación y las áreas verdes son un componente importante.

Estudios recientes revelan que la composición de los entornos urbanos se correlaciona con importantes procesos sociales como la delincuencia [4], la salud [5, 6] y el desarrollo de la niñez [7]. Por lo tanto, la planificación urbana basada en un buen entendimiento de

la dinámica social y la composición ambiental, privilegiando la vegetación, deben de ser primordial. Los aspectos físicos y biofísicos de los entornos urbanos también están estrechamente vinculados a la cobertura vegetal. En concreto, la vegetación y grandes áreas verdes inciden directamente en la calidad del aire y del agua, la temperatura del aire y de la superficie [8, 9, 10].

El componente de la vegetación de una ciudad es una entidad dinámica y su gestión es un reto considerable. El desarrollo residencial y de negocios puede tener efectos adversos significativos sobre el alcance y condiciones de la vegetación urbana. Cuando hablamos de vegetación urbana, tenemos que incluir árboles individuales, zonas de arbustos, hierba, los parques y reservas naturales. También se incluye la vegetación ya sea en entornos públicos o privado y/o la combinación de estas áreas.

Un buen conocimiento de la cantidad de vegetación tiene una gran importancia para las comunidades en su planificación urbana, gestión de desastres, protección del medio ambiente o de la formulación de políticas de desarrollo urbano. La medición precisa, confiable y significativa de las coberturas de vegetación urbana ayuda a los tomadores de decisiones a generar mejores condiciones ambientales.

Por otro lado, la percepción remota proporciona métodos eficaces y eficientes para el seguimiento de las características superficiales de los entornos urbanos. Las imágenes satelitales ofrecen ventajas sobre los estudios de terreno, permitiendo la observación de una gran cobertura espacial y la recopilación de imágenes frecuentes en muchas zonas inaccesibles a un costo relativamente bajo.

Es por eso que en este artículo se describe una técnica de extracción, identificación y medición de la vegetación en zonas urbanas, basada en la aplicación de procesos morfológicos utilizando imágenes satelitales de alta resolución espacial.

## **2. Área de estudio**

Las imágenes IKONOS utilizadas para el estudio son de alta resolución, con una resolución de 1 m. El área de estudio se ubica en la zona poniente de la Ciudad de México. Actualmente, un número importante de zonas urbanas y áreas de vegetación que rodean a la ciudad, son el resultado de una expansión urbana desorganizada. Como se puede observar en la Fig. 1, se trata de una zona urbana compleja, con muchas áreas donde la vegetación y construcciones se entremezclan, generando una zona de estudio completamente heterogénea. El área estudiada contiene todos los tipos de objetos terrestres presentes en una ciudad (por ejemplo, edificios y casas, áreas verdes, árboles, calles, autos, etc.).



**Fig. 1. Imagen de alta resolución correspondiente a la zona poniente de la Ciudad de México.**

### **3. Procesamiento de la Información Espacial**

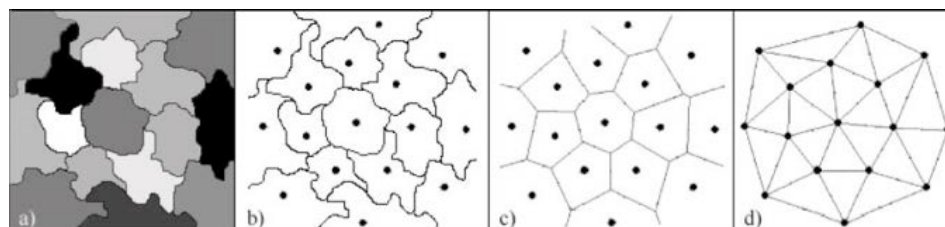
La identificación y extracción de la vegetación a partir de imágenes satelitales, conlleva al proceso de analizar e interpretar las imágenes basándonos en diversos elementos como el color de la imagen, la textura, la escala de grises, el patrón y el análisis de las relaciones espaciales. En nuestro caso, hemos aplicado un enfoque diferente de la

imagen basándonos en el uso de operaciones morfológicas con el fin de extraer la vegetación a partir de imágenes satelitales. A continuación explicamos la metodología completa de extracción.

### El pre-procesamiento (watershed)

El pre-procesamiento de imágenes, antes de la extracción de vegetación, es esencial para eliminar el ruido y aumentar la posibilidad de identificación de la vegetación en la imagen. La primera operación a realizar es la simplificación de la imagen realizando una primera agrupación de píxeles en pequeñas regiones, verificando su valor radiométrico, generadas mediante la técnica de “watershed” [11]. Esta técnica permite que la imagen en escala de grises pueda ser vista como un relieve topográfico, donde el nivel de gris de un píxel se interpreta como su altitud en el relieve. Una gota de agua que cae sobre un relieve topográfico fluye a lo largo de un camino para finalmente llegar a un mínimo local. Intuitivamente, la cuenca de un relieve corresponde a los límites de las cuencas hidrográficas adyacentes de las gotas de agua. En nuestro caso la generación de pequeñas regiones que comparten el mismo valor radiométrico.

Con el fin de continuar con el procesamiento morfológico, estas regiones  $R_i$  son consideradas como celdas de Voronoi [12]. A partir de estas regiones se pueden identificar a sus vecinos mediante un diagrama de Voronoi. De esta manera, podemos conectar todas estas regiones y así, aplicar operaciones morfológicas con todas las relaciones identificadas. Finalmente, la imagen entera estará representada por un grafo  $G(p) = (P, A)$ , donde  $P$  es el conjunto de vértices ( $R_i$  regiones que comparten el mismo valor radiométrico), y  $A$  es el conjunto de arcos. La Fig. 2 muestra un ejemplo de la generación de regiones, la representación de Voronoi y el grafo generado.



**Fig. 2. Representación de regiones, diagramas de Voronoi y grafo generado.**

### **Procesamiento morfológico**

Para segmentar estas imágenes de alta resolución y explotar el grafo anteriormente generado, se utiliza una técnica de segmentación basada en el procesamiento morfológico [13]. Esta técnica es fundamental ya que se basa en el estudio de la geometría, la forma, la simplificación y la conservación de las características principales de las regiones. Este procesamiento morfológico será aplicado directamente en el grafo para comparar vecinos del grafo y realizar un conjunto de fusiones entre las regiones para identificar la vegetación [14].

Este principio de fusión, consiste en la transformación del valor del grafo  $G(p)$  afectando el valor más próximo al valor radiométrico  $p_i$  entre los vecinos de  $p$ . El proceso de fusión es la unión de las regiones ( $R_i \cup R_j = R_n$ ). Para llevar a cabo esta fusión, las operaciones morfológicas (dilatación y erosión) deben ser aplicadas sobre el grafo. La dilatación  $\delta$  y la erosión  $\varepsilon$  del grafo  $G(p)$  se definen por [12] como

$$\forall p \in P: \delta (G (p)) = \max \{G (p_i), p_i \in NE (p) \cup \{p\}\} \text{ y}$$

$$\varepsilon (G (p)) = \min \{G (p_i), p_i \in NE (p) \cup \{p\}\}$$

donde  $NE (p)$  es el conjunto de vecinos de  $p$ . Otras dos operaciones deben aplicarse (apertura  $\gamma$  y cierre  $\phi$ ) sobre el grafo de la manera siguiente:

$$\gamma (G (p)) = \delta (\varepsilon (G (p))) \text{ y}$$

$$\phi (G (p)) = \varepsilon (\delta (G (p)))$$

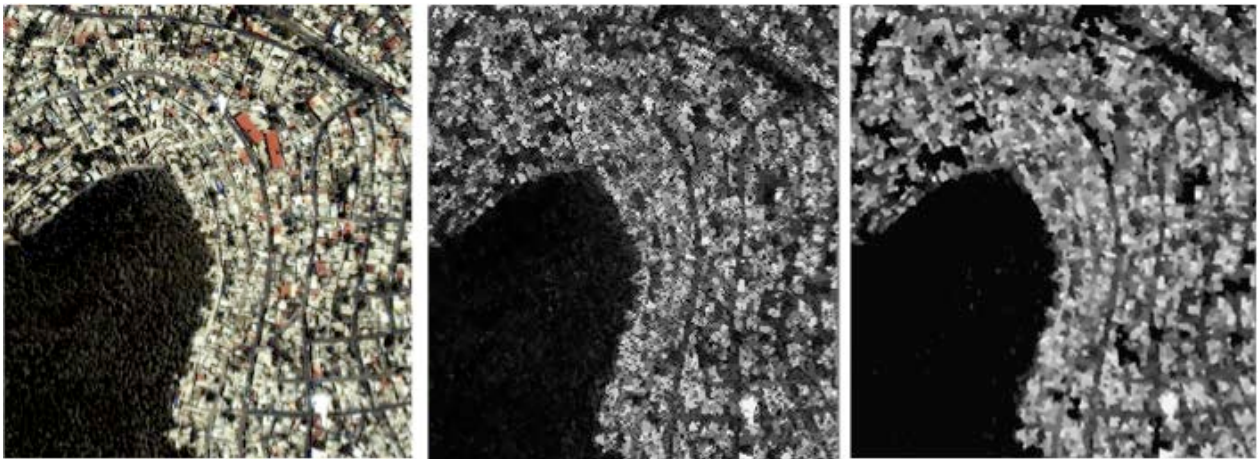
La acción geométrica de apertura y de cierre aumentan o disminuyen el tamaño de las regiones. Estas operaciones de apertura y cierre pueden ser reguladas mediante el uso de parámetros comparando el tamaño de las regiones y/o la longitud de contacto entre las regiones conectadas. A partir de estas operaciones, se requiere una iteración para



poder alternar las transformaciones. El grafo se actualiza constantemente para mantener actualizada la fusión de las regiones.

El resultado de este proceso, es una imagen segmentada con un conjunto de regiones que comparten el mismo valor radiométrico pero que mantienen su forma y geometría, organizando de manera espacialmente la imagen [14].

En la Fig. 3, se muestra un extracto de la imagen original, la imagen pre-procesada mediante la técnica de "watershed" y el procesamiento morfológico aplicado.



**Fig. 3. Imagen original, Watershed y Procesamiento Morfológico.**

### **Extracción de la vegetación**

La última etapa consiste en calcular el grafo final correspondiente a la imagen segmentada para identificar las características {C} de cada región. Estas características {C} o "metadatos" [15] describen cada una de las regiones finales, lo que permite que se pueda interactuar y seleccionar de manera directa las regiones sin tener que interactuar directamente con la imagen. Estas características son el tamaño, la forma, superficie, perímetro, longitud de contacto con sus vecinos y las relaciones espaciales que existen

(inclusión, separación, unión). Estos metadatos sobre las diferentes regiones se recopilan y se almacenan en descriptores XML.

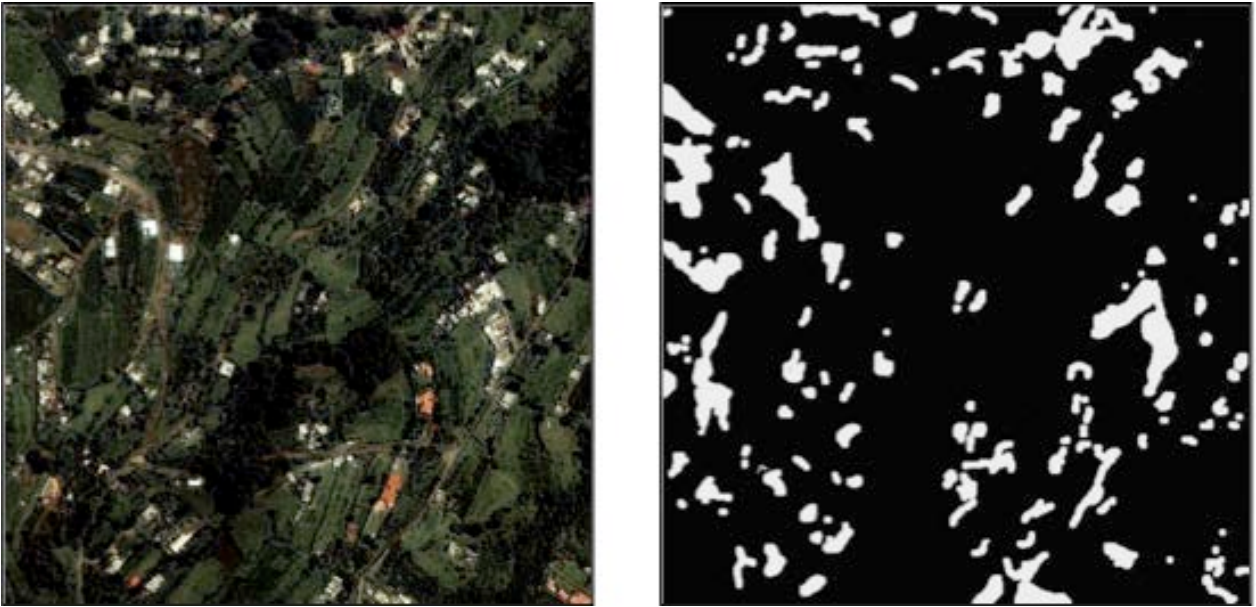
Así que podemos consultar estos descriptores XML para extraer la información deseada, en nuestro caso, la vegetación. La recuperación de la información y la consulta de los resultados se ilustran en la siguiente sección, donde el objetivo es extraer todas las regiones de vegetación de las imágenes satelitales. A partir de la imagen original, se seleccionaron pequeñas zonas de la imagen para mostrar el comportamiento del procesamiento.

## **4. Resultados**

### **Caso 1: Zona con grandes áreas verdes**

En la Ciudad de México, hay algunas áreas con grandes paisajes verdes, esto debido a que en la periferia de la ciudad se pueden encontrar áreas semi-pobladas, donde la población se ha instalado sin ningún tipo de planificación urbana. Esto conduce a la existencia de grandes paisajes, sin desarrollo urbano estructurado. En estas zonas no hay parques o jardines pero si existen zonas verdes salvajes. Después de aplicar la extracción de la vegetación, el porcentaje de vegetación sobre la imagen es del 86,6%. En la Fig. 4 se muestra un ejemplo de este paisaje y el resultado de la extracción de la vegetación.





**Fig. 4. Zonas con grandes áreas verdes.**

### **Caso 2: Zonas densamente poblada con pobres áreas verdes**

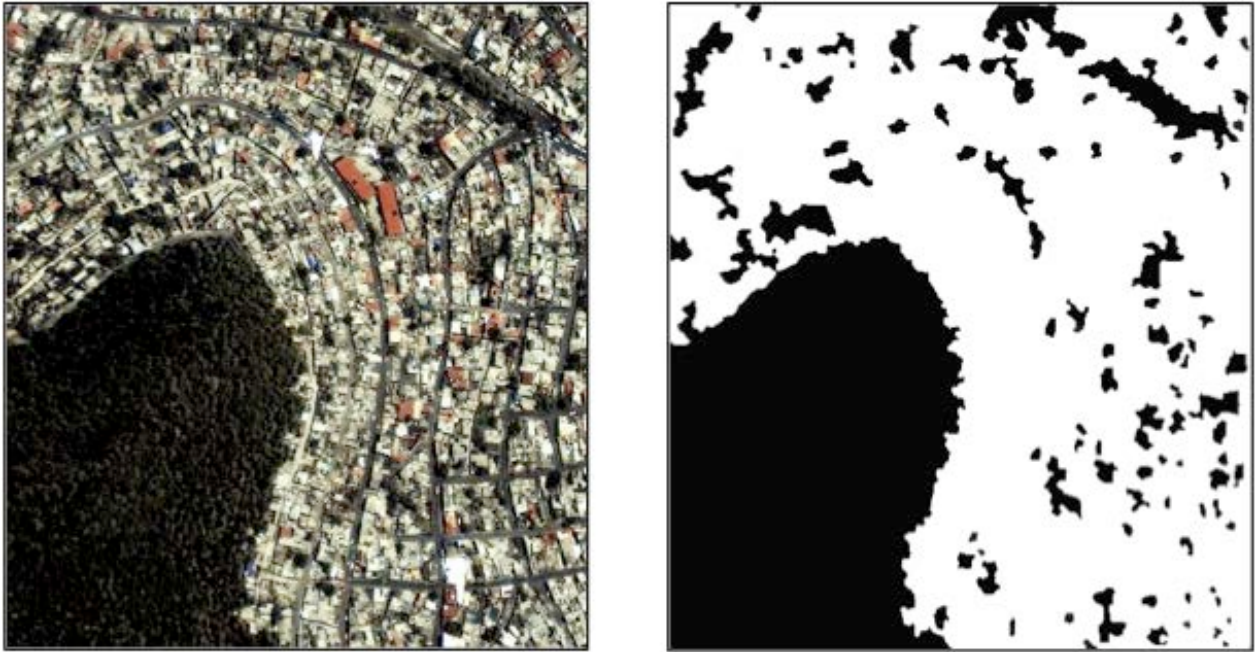
Este paisaje es muy común en la Ciudad de México. Áreas verdes pequeñas que, literalmente, han sido devoradas por la mancha urbana, donde solo existen pequeñas zonas verdes y una cantidad reducida de jardines. La extracción en estas áreas es difícil porque hay muchos elementos urbanos que perturban la detección. El porcentaje de zonas verdes identificado en la imagen es del 6,9%. Podemos observar en la Fig. 5 que, aunque la extracción usando métodos de procesamiento morfológicas da resultados satisfactorios, la extracción da resultados es complicado en este tipo de paisaje.



**Fig. 5. Zonas densamente pobladas con poca vegetación.**

### **Caso 3: Zonas con alto agrupamiento vegetativo**

Este paisaje es muy común en la periferia de la Ciudad de México. De hecho, existen una gran cantidad de barrancas, que promueven este tipo de agrupaciones. Este paisaje muestra algunas pequeñas zonas de vegetación, donde la población se ha instalado con regularidad y otras grandes zonas verdes en las que es imposible vivir. El porcentaje de vegetación identificado en esta imagen es del 34,9% (ver Fig. 6).



**Fig. 6. Zonas con alta concentración de áreas verdes.**

#### **Caso 4: Zona mixta con elementos urbanos**

Este caso también es representativo ya que refleja las zonas de alta plusvalía que existen en la zona poniente de la Ciudad de México. Estas áreas cuentan con amplias zonas verdes y jardines, incluyendo campos de golf con edificios altos. La extracción de la vegetación en este tipo de configuración es complicado porque hay zonas artificiales que pueden ser identificados incorrectamente como canchas de tenis. El porcentaje de áreas verdes detectado en este tipo de imagen es del 70,7% (Fig. 7).



**Fig. 7. Zonas mixtas con vegetación y elementos urbanos.**

## 5. Conclusiones

Aunque existen algunos métodos estándar para el procesamiento de imágenes y extracción de elementos a partir de imágenes satelitales, no existe un único método que pueda ser aplicable de manera uniforme en todos los casos. Por lo que es una tarea complicada donde muchas técnicas pueden ser desarrolladas y aplicadas para obtener mejores resultados.

En este artículo presentamos un enfoque morfológico completo para identificar la vegetación urbana independientemente de la configuración de la vegetación en las zonas urbanas. La extracción funciona con imágenes satelitales de alta resolución espacial. De esta manera, nuestro estudio describe una nueva aplicación para identificar la vegetación urbana en diferentes asentamientos urbanos completamente heterogéneos. Los primeros resultados son prometedores, que apuntan en un futuro hacia la identificación de la vegetación a gran escala, tomando áreas que cubran en su totalidad la Ciudad de México para poder identificar las zonas que contengan mayores áreas verdes.



Una clasificación automática de la vegetación extraída también es posible de realizarse el cual podría generar mapas temáticos con las diversas áreas verdes identificadas.

Consideramos también, como un trabajo futuro fundamental, el trabajar en la pertinencia de los resultados obtenidos, de esta forma se podrían extraer otros tipos de objetos de la imagen como calles, casas, autos, etc.

Por último, es interesante poder aplicar esta técnica en ámbitos completamente diferentes como lo son las imágenes biomédicas donde el análisis de éstas es fundamental para la optimización de los diagnósticos médicos.

## **6. Referencias**

- [1] T. Oke, *Urban Environments. The Surface Climates of Canada*. 2007. 303-327. Montreal: McGill-Queen's University Press.
- [2] L. Alessa, A. Kliskey, G. Brown, "Social-ecological hotspots mapping: a spatial approach for indentifying coupled social-ecological space". *Landscape and Urban Planning*, 2008, 85, 27- 39.
- [3] R. Matsuoka, R. Kaplan, "People needs in the urban landscape: analysis of landscape and urban planning contributions". *Landscape and Urban Planning*. 2008. 84, 7-19.
- [4] F. Kuo, W. Sullivan, "Environment and crime in the inner city". *Environment & Behavior*. 2008. 33. 343-365.
- [5] S. Coen, N. Ross, "Exploring the material basis for health: characteristics of parks in Montreal neighborhoods with contrasting health outcomes". *Health & Place*. 2006. 12. 361- 371.

- [6] G. Gidlof, E. Ohrstrom, "Noise and well being in urban residential environments: the potential role of perceived availability to nearby green areas". *Landscape and Urban Planning*. 2007. 83. 115-126.
- [7] A. Taylor, A. Wiley, F. Kuo, W. Sullivan, "Green spaces as places to grow". *Environment & Behavior*. 1998. 30. 3-28.
- [8] R. Avissar, "Potential effects of vegetation on the urban thermal environment". *Atmospheric Environment*. 1996. 30. 437-448.
- [9] C. Grimmond, C. Souch, M. Hubble, "The influence of tree cover on summertime energy balance fluxes, San Gabriel Valley, Los Angeles". *Climate Research*. 1996. 6. 45-57.
- [10] D. Nowak, J. Dwyer, "The Urban Forest Effects (UFORE) Model: Quantifying urban forest structure and functions". *Proceedings of Integrated tools for natural resources inventories in the 21st century. IUFRO Conference*. 2001. 16–20.
- [11] L. Vincent, P. Soille, "Watersheds in Digital Spaces: An Efficient Algorithm based on Immersion simulations". *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2001. 583-598.
- [12] L. Vincent, "Graphs and mathematical morphology". *Signal Processing*, 1999. 16. 365-388.
- [13] F. Zanoguera, *Segmentation interactive d'images fixes et séquences vidéo basée sur des hiérarchies de partitions. Thèse de Doctorat en Morphologie Mathématique, ENSMP*. 2001.
- [14] E. Lopez-Ornelas, G. Flouzat, F. Laporterie-Dejean, "Satellite image segmentation using graphs representation and morphological processing". In *SPIE / Remote Sensing*. 2003.

- [15] I. Amous, A. Jedidi, F. Sèdes, "A contribution to multimedia document modeling and organizing". International conference on Object Oriented Information Systems. 2002. 2425. 434-444.

## **7. Autores**

El Dr. Erick López-Ornelas es profesor-investigador en el Departamento de Tecnologías de la Información de la Universidad Autónoma Metropolitana - Cuajimalpa en la Ciudad de México. Recibió su doctorado en Informática en la Universidad Paul Sabatier de Toulouse Francia, en el 2005. Sus intereses de investigación incluyen: sistemas de información geográfica, visualización geográfica, percepción remota y geomática. También ha trabajado en aplicaciones de HCI y sistemas contextuales.

La Dra. Rocío Abascal-Mena es profesor-investigador en el Departamento de Tecnologías de la Información de la Universidad Autónoma Metropolitana - Cuajimalpa en la Ciudad de México. Realizó su doctorado en el Instituto Nacional de Ciencias Aplicadas (INSA) de Lyon, Francia, en el 2005. Sus intereses actuales de investigación incluyen: desarrollo y explotación de bibliotecas digitales, Web semántica, lingüística computacional, recuperación y análisis de información, Interacción Humano Computadora, análisis de redes sociales.

El Dr. Sergio Zepeda-Hernández realizó su doctorado en Ingeniería Eléctrica en la especialidad de Informática del Centro de Investigación y Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (México) en 2009. Actualmente es profesor-investigador del Departamento de Tecnologías de la Información de la Universidad Autónoma Metropolitana - Cuajimalpa en la Ciudad de México. Sus intereses de investigación incluyen la ingeniería web, recuperación de información, Interacción Humano Computadora, usabilidad y diseño de interfaces.