

INTEGRACIÓN DE IMÁGENES SPOT Y FOTOGRAFÍA AÉREA EN ESTUDIOS URBANOS*

Alfredo Cortés**
Clemencia Santos***

Resumen

El estudio del suelo urbano mediante imágenes producidas por sensores remotos es ya reconocido y analizado por diferentes investigadores quienes coinciden en su gran utilidad, sin embargo, siempre hacen alusión a su resolución espacial exigiendo día a día un mejoramiento en los sensores y los productos que generan. Frente a esta situación este trabajo permite ofrecer un producto híbrido de gran utilidad para estudios urbanos derivado de la integración de una fotografía aérea y una imagen SPOT, utilizando la técnica de transformación de espacios de color RGB \rightarrow IHS y viceversa. El producto resultante es una imagen multiespectral que posee las cualidades de la resolución espacial de la fotografía aérea y la resolución espectral de la imagen SPOT, superando las deficiencias que cada producto por separado presenta para la aplicación en estudios urbanos. La metodología aquí planteada se aplica a una zona de estudio, en donde se aprecia su utilidad y sus ventajas sobre el uso de los productos por separado.

Summary

Urban land use studies using remote sensing techniques is widely used and analyzed for many researchers who agree in its great utility, however, they would like to have better sensors in order to get images with spatial resolution enhanced. With this in mind, this work offers a hybrid product with great utility in urban land use, obtained from the integration of an aerial photography and an SPOT multispectral image, using color space transformations technique RGB \rightarrow IHS and viceversa. The resulting product is an multispectral image with spatial resolution of the aerial photography and spectral resolution from the SPOT multispectral image, overrunning the limitations that each separated product offers in urban land use applications. The techniques here analyzed were applied to a training site, where it can be seen its utility and advantage over the products used separately.

Introducción

Los estudios a nivel urbano exigen día a día nuevas técnicas que agilicen y optimicen las investigaciones en esta área. Su dinámica de crecimiento y el mapeamiento del uso del suelo urbano permiten realizar un adecuado seguimiento y planeación con los métodos clásicos (Neves, 1989). El uso del suelo urbano es complejo por la gran diversidad de funciones que dentro de él se realizan (Jensen, 1983). Es un espacio con diferentes niveles de ocupación, sus construcciones son de varios tamaños y dimensiones, espacios libres, semiocupados, erosionados, industrias ligeras, medianas y pesadas, donde la estructura, materiales y ordenamiento están determinados por el hombre y algunos accidentes naturales.

* Recibido: 5 de mayo de 1995.

** Instituto de Geografía, UNAM, México.

*** Instituto de Ingeniería, UNAM, México.

En el Instituto de Ingeniería se llevó a cabo el proyecto: **TEM: "Un espacio de investigación interdisciplinaria"** compuesto de tres fases (Antún, *et al.*, 1989).

TEM/FASE 1: "Interacciones entre transporte urbano de pasajeros y expansión urbana irregular de suelo metropolitano".

TEM/FASE 2: "Interacción entre infraestructura y equipamiento de transporte y patrones de implantación de actividades socioeconómicas en subzonas metropolitanas".

TEM/FASE 3: "Interacciones entre proyectos de transporte y estrategias de sistematización de estructuras territoriales metropolitanas".

En la realización del proyecto TEM fue necesario llevar a cabo un análisis metropolitano en contextos informales, (crecimiento urbano informal y transporte informal en proceso de formalización). La zona en estudio (Valle de Chalco), por sus características, no cuenta con un plano base adecuado, por lo que es necesario apoyarse en las técnicas de percepción remota para obtener un producto que supla este plano, especialmente en el desarrollo de las fases 1 y 2; es entonces cuando se propone el desarrollo del producto híbrido que se presenta en este trabajo.

Generación del producto híbrido

Una de las características más importantes de una imagen de satélite es su resolución espectral, la cual no se puede obtener con un vuelo aéreo normal, al menos a los costos de una imagen. La composición compleja del espacio urbano es la que establece la búsqueda de productos de percepción remota que mejoren la resolución espacial sin perder los atributos ya alcanzados en la resolución espectral.

El espacio de color generado a partir de los tres colores primarios (rojo, verde y azul) como ejes de coordenadas, sirve como marco de referencia en la transformación de espacios. Este espacio tiene una representación alternativa apoyada en el concepto de percepción visual del ojo humano, los ejes de este espacio son la intensidad, el matiz y la saturación, **ihs** (Dutra, 1986).

El *matiz* es lo que se percibe como color (tal como el púrpura o el amarillo). La *saturación* es el grado de pureza del color y se puede considerar como la cantidad de blanco mezclada con el color. La *intensidad* es el brillo del color, se puede pensar en ésta como la fotografía en blanco y negro obtenida de una escena en color. Esta última característica es la que permite la combinación de imágenes (Mather, 1987).

La creación de programas especiales permite utilizar mejor las propiedades de espacios de color antes definidos **RGB** → **IHS**, entre éstas se puede destacar el ordenamiento de la resolución espacial I, H, S como es percibido por el ojo humano. Están ordenadas por la resolución espacial y la componente **I** se percibe con máxima resolución seguida de **H** y **S**. Esto se debe al hecho de que la retina del ojo humano está compuesta de un número mucho mayor de bastonetes (responsables de la percepción del brillo) que de conos

(responsables de la percepción del color). Este factor es el que se aprovecha para integrar datos de diferentes resoluciones (Vieira *et al.*, 1988).

La fotografía aérea ofrece una resolución espacial de hasta 1 m, lo que permite un análisis más detallado de la zona en estudio. SPOT nos ofrece una resolución espacial equivalente a 20 m, en 3 bandas espectrales: una en el infrarrojo cercano y dos en el visible. Existen en el mercado diferentes productos que potencialmente pueden ser utilizados en estudios urbanos, sin embargo, presentan algunos problemas de orden práctico (formato de presentación y tiempo de adquisición y entrega), como es el caso de las imágenes de SOJUSKARTA que tienen una resolución espacial de 6 m; sin embargo, sólo se consiguen imágenes impresas, lo que implica una tarea de barrido para obtenerlas en formato digital. Por otro lado, estas imágenes son espectrozonales y no multispectrales con una cobertura limitada a nivel nacional.

La fotografía aérea y la imagen multispectral presentan características diferentes. La primera de ellas tiene una resolución espacial que se puede aprovechar muy bien en los estudios urbanos y la segunda ofrece una gama de bandas multispectrales que permiten el análisis y la clasificación de los factores urbanos, diferenciándolos entre sí.

Al digitalizar la fotografía aérea se puede lograr un realce de las cualidades originales, mediante las técnicas de procesamiento digital de imágenes, facilitando su interpretación; de igual forma se pueden realzar los aspectos que se deseen de la imagen SPOT antes de hacer el producto híbrido.

De lo anterior se puede resumir que el interés de ofrecer un producto híbrido fotografía aérea-imagen SPOT, básicamente se fundamenta en:

1. Ofrecer un producto que mejore la resolución espacial de la imagen SPOT sin perder las cualidades multispectrales que ésta ofrece.
2. Poder aprovechar toda la información que posee la fotografía aérea en forma digital para obtener su fácil y rápido manejo mediante procesamientos automáticos de imágenes digitales.
3. Tener un producto con las mejores cualidades para el estudio del uso del suelo urbano que aproveche las ventajas de un análisis multibanda de SPOT y la resolución espacial de la fotografía digitalizada a través de la aplicación de técnicas de realce.
4. Presentar una imagen híbrida que nos permita mejorar la clasificación del uso del suelo urbano a los niveles de trabajos realizados con fotografías aéreas solas, de escalas 1:5 000 en su resolución espacial y además la oportunidad de trabajar con diferentes combinaciones de bandas del espectro electromagnético, aumentando el grado de análisis según la clasificación a emplear.

5. Minimizar los costos (tiempo, dinero y esfuerzo) de los trabajos urbanos a realizar sobre imágenes de sensores.

Material y equipo usado

El material y equipo empleado en el proceso de producción del producto híbrido fue el siguiente.

1. Fotografía aérea de la zona del volcán Xico en el municipio de Chalco, Estado de México, escala 1:20 000, mostrada en la **foto 1**.
2. Imagen del satélite SPOT, bandas 1, 2 y 3, mostradas como compuesto de color 321 en la **foto 2**.
3. Carta topográfica de la zona en estudio, escala 1:50 000, publicada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).
4. Sistema para procesamiento de imágenes digitales PIXSAT (Cortés, 1995).

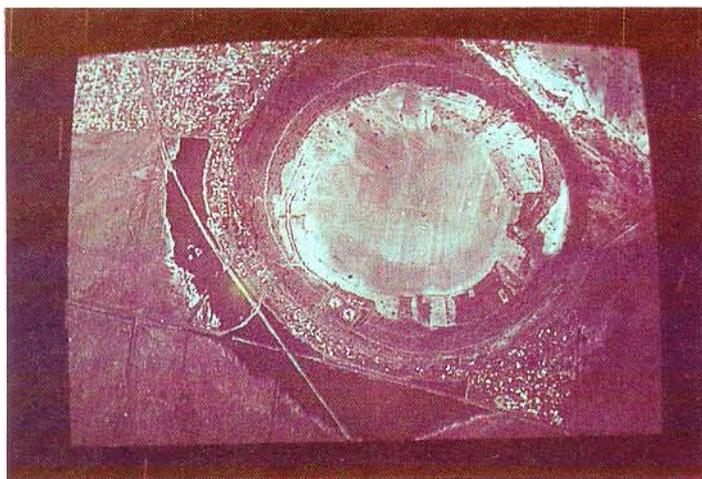


Foto 1. Fotografía aérea del volcán Xico, México.

Proceso de integración fotografía aérea - imagen SPOT

Digitización de la fotografía aérea

La fotografía se digitizó. Por las características del barredor (*scanner*) se generan 3 bandas, cada una correspondiente a uno de los tres cañones de digitización RGB. Debido a lo anterior, de las tres bandas se tomó la de mejor contraste, que resultó ser la del cañón rojo.

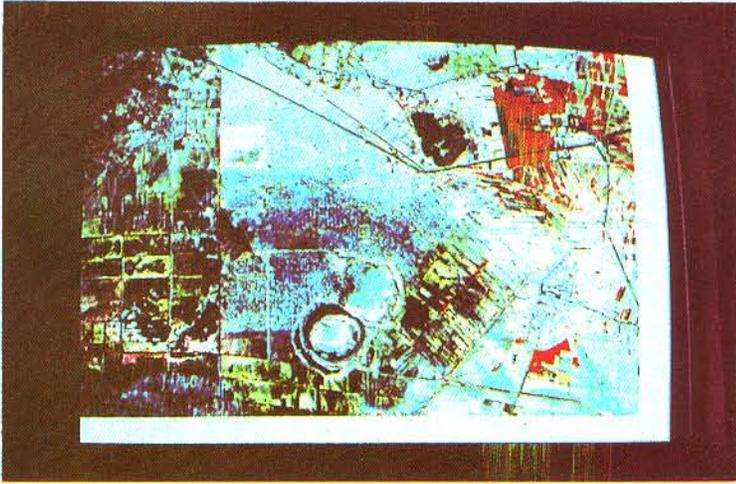


Foto 2. Imagen SPOT del volcán Xico, México.

El proceso anterior se hubiera evitado si el barredor generara solo una banda monocromática. El tamaño del píxel digitizado fue de 1.67 m dando una escala de 1:4 000 desplegada en pantalla. Por razones de cambio de escala entre la imagen y la fotografía, la imagen obtenida de la digitización se redujo a la mitad, de aquí que los píxeles finales fueron de 3.36 m aproximadamente, la reducción se hizo con el método de elemento vecino más cercano.

Filtraje de la fotografía aérea

Uno de los primeros pasos en la generación del producto híbrido es el filtraje de la fotografía aérea digitizada. El filtro utilizado fue un pasa--altas que realzó las características principales de la fotografía. El núcleo de este filtro es el siguiente:

0	-1	0
-1	5	-1
0	-1	0

Corrección geométrica de la fotografía

Utilizando la carta topográfica 1:50 000 de la zona se hizo la corrección geométrica de la fotografía digitizada, obteniendo un producto que tiene como referencia el sistema de coordenadas UTM. Se usaron 18 puntos de control con una corrección de tercer orden y el error máximo obtenido en el producto final fue de 0.5 píxeles, o sea 1.67 m aproximadamente. En la foto 3 se muestra la fotografía con corrección geométrica.

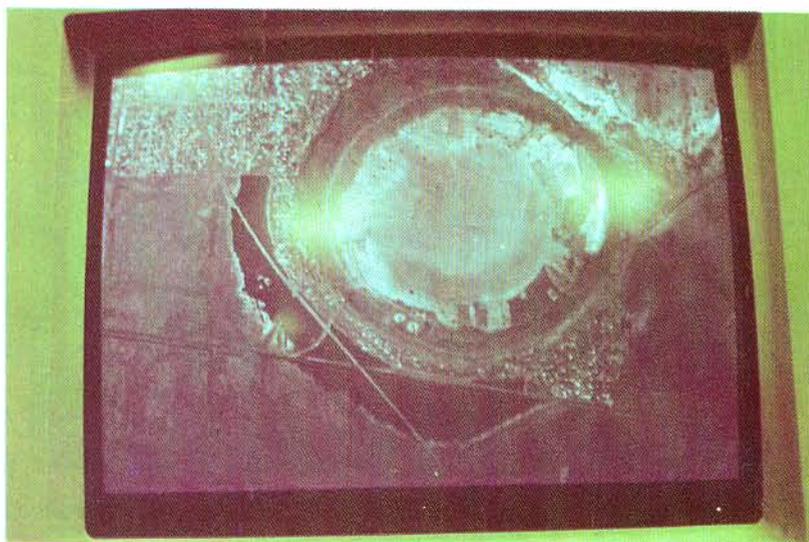


Foto 3. Fotografía aérea corregida geométricamente.

Registro de la imagen SPOT

Una vez corregida la fotografía, ésta fue utilizada para registrar la imagen SPOT. El tamaño del pixel se remuestreó cada 3.36 m, generándose aproximadamente 36 pixeles por cada uno de los originales en la imagen. El número de puntos utilizados fue de 17 y la corrección se llevó a cabo con polinomios de tercer orden, generando errores máximos de 0.5 *pixeles*. En la **foto 4** se muestra la imagen registrada.

Transformación RGB \rightarrow HIS

La imagen SPOT se transforma al espacio HIS, utilizando la transformación proporcionada por el sistema PIXSAT (Cortés, 1995). Esta transformación genera tres bandas: Matiz (H), Intensidad (I) y Saturación (S).

Ajuste de los histogramas

El histograma de la fotografía se ajusta al histograma de la banda de Intensidad (I) de la imagen SPOT transformada. Este ajuste permite conservar la cantidad de luz presente en la imagen original, manteniendo el contraste de la misma. Este proceso se utiliza con frecuencia en aquellos casos en que se desea homogeneizar el contraste entre dos imágenes.



Foto 4. Imagen SPOT registrada a la fotografía aérea.

Reemplazo de la banda de intensidad

El siguiente paso es reemplazar la banda de intensidad en la imagen transformada por la fotografía. Después de este proceso la imagen transformada IHS contiene la fotografía como parte de la misma. En este punto es donde se lleva a cabo la parte más importante de la generación del producto híbrido. Las características de resolución espacial se integran a la imagen. Ya se mencionó que la intensidad en una imagen digital es el brillo y que conceptualmente puede ser pensado como la fotografía blanco y negro de esta imagen. De aquí surge la idea de reemplazar la banda de intensidad por la fotografía digital.

Transformación IHS \rightarrow RGB

La última de las transformaciones importantes es la de la transformación inversa de espacios de color IHS \rightarrow RGB. La transformación combina los datos de intensidad, matiz y saturación para obtener los colores: rojo, verde y azul. Al finalizar esta operación se tiene ya una imagen multispectral de tres bandas con las características espaciales de la fotografía y las características espectrales de la imagen SPOT. En la **foto 5** se muestra el compuesto de color del producto final.

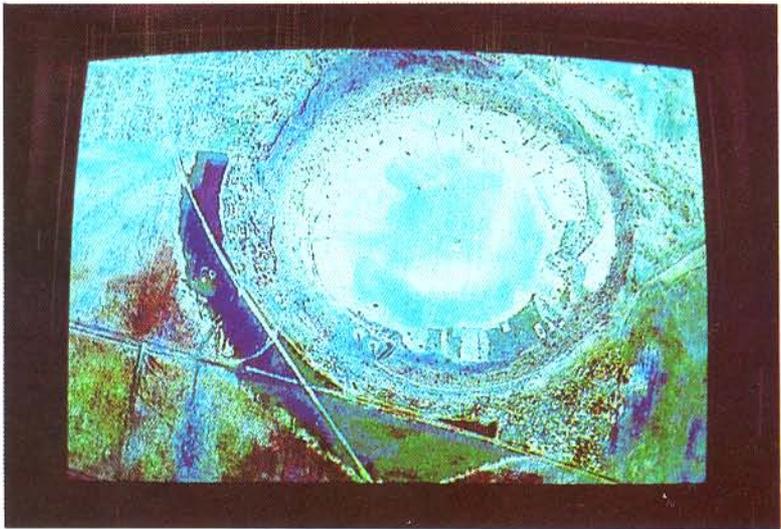


Foto 5. Compuesto de color del producto híbrido.

Zona en estudio

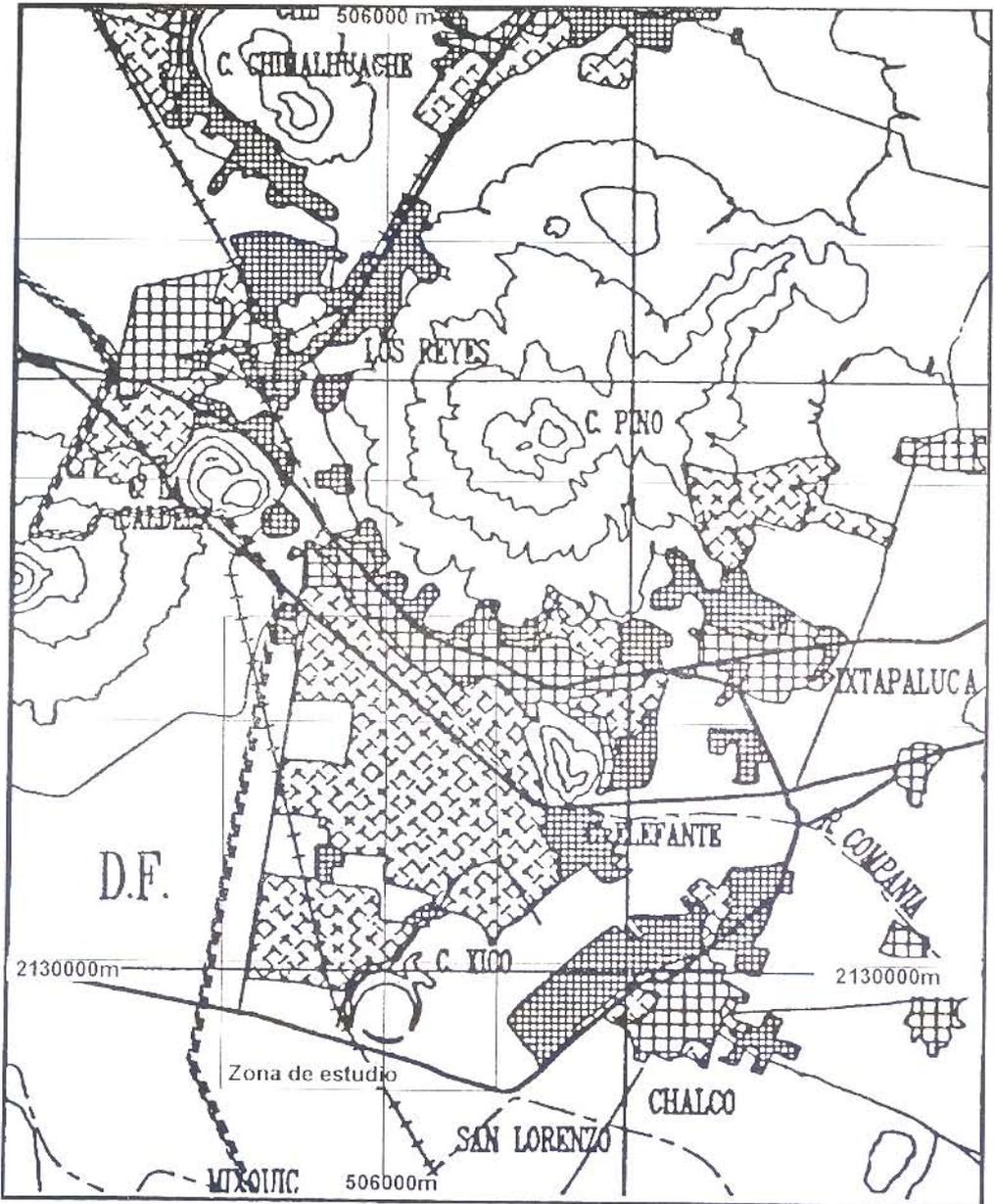
Localización geográfica

El Valle de Chalco se encuentra ubicado en la provincia del Eje Neovolcánico, subprovincia lagos y volcanes de Anáhuac y enclavado en la cuenca del río Moctezuma-Pánuco, teniendo en la parte este-centro las estribaciones de la Sierra Nevada y oeste en las partes bajas de las mismas. Comprende cinco de los 17 municipios conurbados de la ciudad de México.

Para fines del estudio se limita al Municipio de Chalco, zona que ocupa el segundo lugar por extensión de los 17 municipios, su cabecera municipal es Chalco de Díaz Covarrubias, el clima general es templado-subhúmedo y es la zona de mayor y más rápido crecimiento a la periferia del Distrito Federal (**Mapa 1**), convirtiéndose probablemente en el laboratorio más importante del mundo para estudiar fenómenos urbanos.

Metodología de análisis y aplicación del producto híbrido

En esta sección se resumen algunas características de las actividades realizadas sobre el caso Valle de Chalco (Fase 1 y 2, Proyecto TEM) para el análisis de interacciones entre sistemas informales del transporte público de pasajeros y la estructura territorial en un área de expansión metropolitana irregular.



Mapa I. Área en estudio.

Generación de un plano base

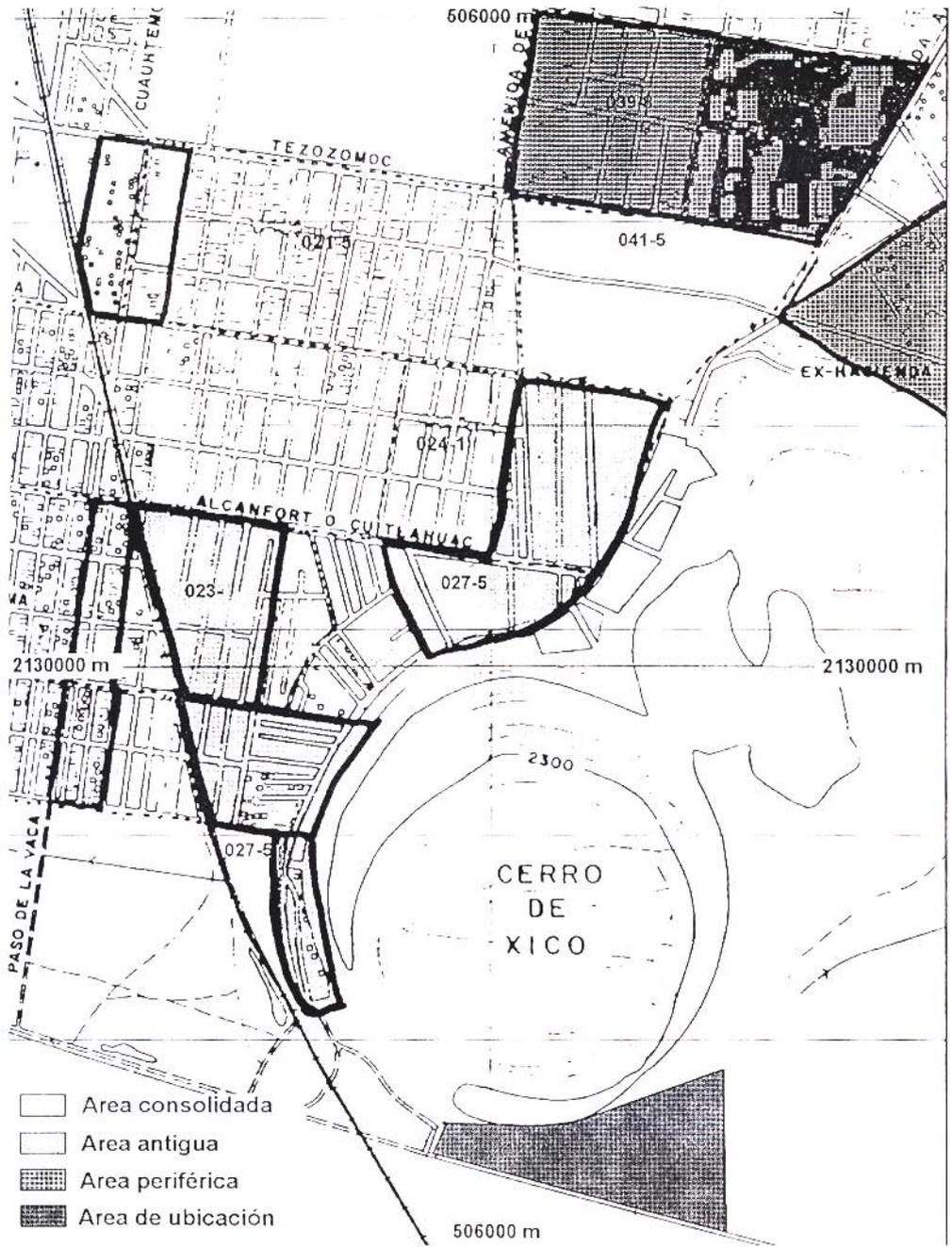
A partir de planos producidos por diferentes agencias gubernamentales federales, estatales y municipales (INEGI, Comisión Regularizadora de Tenencia de la Tierra, Comisión Federal de Electricidad, Teléfonos de México, Gobierno del Estado de México) y diferentes series de fotografías aéreas (con fecha y cualidades muy distintas) se generó un plano base preliminar con indicaciones de diferentes etapas del crecimiento urbano en el Valle de Chalco (Santos, 1989). Simultáneamente se desarrolló trabajo de campo con el propósito de identificar y localizar en el plano equipamiento urbano y de servicios sociales básicos, y para registrar la nomenclatura que los habitantes asignaban a la vialidad primaria.

Posteriormente, con base en un sistema de procesamiento de imágenes digitales (Cortés, 1995), se realizó una exploración del crecimiento urbano mediante imágenes de satélites Landsat TM y SPOT (Santos, 1991) y se generó el producto híbrido de la integración de aerofotografía a la imagen de satélite SPOT, el que permitió un monitoreo más eficiente (por las cualidades de cada uno de los sensores que se conservaron en la generación del producto híbrido) del crecimiento en la periferia y del reciente proceso de redensificación urbana. Este proceso de redensificación se identifica con mayor facilidad en el producto híbrido, que permite establecer un conteo de construcciones por manzanas y supermanzanas, procedimiento realizado en gabinete, lo que permite un ahorro de trabajo de campo.

Reconstrucción de historias de casos

Para analizar las interacciones entre transporte y apropiación social del suelo y autoconstrucción de vivienda se realizó una extensa investigación de campo que tendría una distribución en el territorio, determinada por ciertas características, distribuidas según análisis de la imagen híbrida. Las historias de caso de familias extendidas reconstruyen el proceso de cambio de uso y apropiación social del suelo y la evolución de la accesibilidad al transporte y de cambios en la movilidad espacial. Se considera familia extendida al conjunto de hogares que cohabitan en una misma vivienda y/o en un mismo predio.

Con el crecimiento urbano estudiado y la imagen híbrida se pudo realizar la selección de los puntos de encuesta. Se adoptó una muestra, que no pretende ser representativa estadísticamente sino simplemente una fuente calificada de información primaria, integrada por 60 familias que se seleccionaron de un conjunto de 20 supermanzanas previamente escogidas del área de expansión urbana y muy claramente realizadas mediante el producto híbrido fotografía aérea- imagen SPOT. En cada supermanzana se procuró identificar tres familias con mayor raigambre, tradición, prestigio o reconocimiento social de los vecinos cercanos.



Mapa 2. Supermanzanas y estratos identificados en el estudio.

Las supermanzanas se seleccionaron con base en cuatro estratos (**Mapa 2**); para cada uno de éstos se escogieron cinco supermanzanas. Los estratos definidos fueron: *a*) área antigua, *b*) área periférica en el frente de expansión urbana, *c*) área consolidada en proceso de cambio de uso y *d*) área con ubicación estratégica; en esta última se adoptaron como criterios complementarios la vecindad a la autopista México-Puebla, la pertenencia a la zona donde la regularización oficial de la tenencia del suelo está en proceso, área contigua al drenaje sudoeste, área mejorada por programas gubernamentales de beneficio social y periferia de las faldas del volcán Xico (Antún, 1992).

Cada familia seleccionada recibió varias visitas de asistentes de investigación del proyecto con el propósito de reconstruir historias de caso. Se utilizó un guión de entrevista abierta y una ficha indicativa para elaborar las monografías.

Conclusiones

Sin duda, el producto final obtenido mejoró la calidad de la interpretación visual en zonas urbanas que se venía haciendo por separado en imágenes y fotografías con los métodos convencionales. El producto generado con el método expuesto en este artículo presenta las características de resolución espacial y espectral deseadas, lo que permitirá utilizar las técnicas usuales de muestreo y clasificación con mayor grado de precisión.

Sin duda alguna esta técnica permite un monitoreo más eficiente del crecimiento urbano en la periferia y el estudio de la redensificación urbana en áreas de reciente crecimiento, permitiendo un notable ahorro de tiempo en trabajos de campo. También fue de mucha importancia para realzar las características de los corredores de transporte urbano y visualizar los cambios en la redensificación de los frentes de manzana que daban sobre ellos.

Es importante destacar que fue un buen intento por elaborar nuevos productos de análisis urbano y que se pudo realizar gracias a contar en el Laboratorio de Transporte del Instituto de Ingeniería con las imágenes requeridas, además de poderle dar una aplicación directa en más de una de las fases de proyecto TEM.

Referencias

- Antún, J. P. y C. Santos (1992), "Transporte y crecimiento urbano irregular. Una metodología de análisis", *Memorias XVIII Congreso de la Academia Nacional de Ingeniería*, sept. 1992, México.
- Antún, J. P., R. Peralta, D. Hiernaux y E. Vicente (1989), *Sistemas de Transporte y Estructuras Territoriales Metropolitanas: Identificación de temas de investigación relevantes y exploración del potencial de la aplicación de técnicas de percepción remota, aplicación de técnicas de percepción remota*, Proyecto 9508, Instituto de Ingeniería, UNAM, México, julio, pp. 38.

- Cortés, A., M. A. Castillo y R. Alvarez (1995), "PixSat, un sistema para el procesamiento y visualización de imágenes digitales en la supercomputadora CRAY-YMP", *Memorias del VII Simposio Latinoamericano de Percepción Remota*, Puerto Vallarta, Jal., México, nov., pp. 155-172.
- Dutra, L. V. y P. R. Meneses (1986), "Aplicação da transformação IHS para realce de cores em imagens LANDSAT", *I Simposio Latinoamericano de Percepción Remota*, Gramado, Brasil.
- Jensen, J. R. (1983), "Urban/Suburban land use analysis", *Manual of Remote Sensing*, American Society of Photogrammetry, vol. II, pp. 1571-1666.
- Neves de Oliveira, M. de L. y S. Shizue (1989), *Integração de imagem SPOT multiespectral e aerofoto pancromatica para estudo do uso do solo urbano*.
- Mather, P. M. (1987), *Computer processing of remotely-sensed images*, John Wiley & Sons.
- Santos, C. (1991), Exploración mediante sensores remotos del crecimiento urbano en el Valle de Chalco, Proyecto TEM, Documento Interno, Instituto de Ingeniería, UNAM, México.
- Vieira D. L., C. Foresti, P. R. Meneses y M. de L. N. O. Kurkdjian (1988) Utilização de transformação IHS para integração de imagens de diferentes resoluções: Estudo do uso do solo urbano, Publicación INPE-4606-PRE/1329, INPE-Brasil.