

Producción e integración de fotomapas digitales para la evaluación del crecimiento urbano en el Municipio de Texcoco, Estado de México: período 1970-1989-1997

David Romero Hernández*
Jorge López Blanco*

Recibido: 14 de octubre de 1999
Aceptado en versión final: 10 de febrero de 2000

Resumen. Se aplicó un método para la producción e integración de fotomapas digitales con fines de evaluación del crecimiento de las principales áreas urbanas en Texcoco, México. Se elaboraron tres fotomapas. Se evaluaron sus exactitudes cartográficas con base en: a) la medida del error medio cuadrático total por foto (Σ), evaluado al georreferir las fotografías tomando la posición de los puntos de control del terreno previamente al proceso de corrección geométrica, y b) las diferencias de posición entre algunos de los rasgos de las fotografías aéreas corregidas geométricamente, al compararlos con los mismos rasgos digitizados de una cartografía existente a escala detallada (1:10 000). Los resultados muestran que la metodología empleada es accesible, útil y válida en términos de exactitud cartográfica, para registrar y cuantificar cambios en la extensión de las áreas urbanas con relieve casi plano. Se encontró que existe un crecimiento sustancial en algunos sectores del área evaluada, particularmente en los fraccionamientos Lomas de Cristo y Lomas de San Esteban, con un porcentaje acumulado de crecimiento hasta de 346% durante el período considerado (1970-1997).

Palabras clave: Crecimiento de áreas urbanas, fotomapas digitales, georreferencia, corrección geométrica, Texcoco, México.

Abstract. A method to produce and integrate detailed digital photomaps was applied, in order to evaluate the growth of the main urban areas in Texcoco, Mexico. Three photomaps were elaborated. Their cartographic accuracy and precision were evaluated based on: a) the assessment of the Total Root Mean Square Error (TRMSE; S) by photograph, obtained through a geo-referencing procedure taking into account the position of ground control points prior to the geometric correction process, and b) the differences in position among some terrain features on our geometrically corrected aerial photographs, and the same digitized features from existent reference maps at a detailed scale (1:10 000). Results show that this methodology is useful, accessible and valid, in terms of cartographic accuracy in order to register and quantifying changes in the extension of urban areas with a virtually flat relief. It was found that some sectors of the area under evaluation presented a substantial growth, particularly in Lomas de Cristo and Lomas de San Esteban, which showed an accumulated growth percentage of 346% during the 1970-1997.

Key words: Urban areas growth, digital photomaps, geo-referencing, geometric correction, Texcoco, Mexico.

INTRODUCCIÓN

La importancia de registrar y cuantificar de una manera expedita y adecuada, en términos de exactitud cartográfica, la extensión en el crecimiento de las áreas urbanas, resulta de la necesidad de obtener información básica de las áreas metropolitanas en las megalópolis latinoamericanas. Esta información puede ser útil para establecer las posibles medidas de mitigación del crecimiento urbano acelerado, caótico y con población ocupante, cuya característica principal es la de tener altos índices de marginación. Asimismo, dicha información

actualizada puede ser apropiada para conocer la dimensión de la pérdida de recursos, en términos de suelos potencialmente agrícolas, debido a la ocupación de áreas con cobertura actual agrícola y forestal, para fines de construcción de vivienda urbana principalmente.

La Teledetección Fotográfica Digital ha sido empleada a partir de mediados de la década de los ochenta y cada vez es mayor su demanda, de acuerdo con el gran número de aplicaciones que se han venido realizando (Meisner, 1987; López, 1994; King, 1995, 1997; King *et al.*, 1995a, 1995b); así como el

* Instituto de Geografía, UNAM, Ciudad Universitaria, 04510, México, D. F. E-mail: geoponte@yahoo.com y jblanco@servidor.unam.mx

desarrollo de la mejor y más económica aplicación de esta tecnología, debido al uso masivo de los sensores CCD (*Charge Couple Device*, por sus siglas en inglés), instalados como planos de imagen en los dispositivos de registro de cámaras fotográficas y video-gráficas comunes. Dichos sensores CCD funcionan como dispositivos de registro instantáneo de imágenes (no de barrido), debido a la función que realizan sus múltiples foto-detectores acoplados por carga (Almelio, 1974, citado en Burrough, 1989).

De la literatura publicada revisada sobre el tema, considerada en este trabajo, se muestran algunos ejemplos en donde se pueden apreciar claramente las carencias existentes en cuanto a la falta de cartografía detallada del área conurbada de la Ciudad de México (Septién, 1985). De acuerdo con esto, es posible justificar este trabajo bajo la premisa de la importancia que tiene la búsqueda y desarrollo de un método de bajo costo que permita la actualización de la cartografía urbana, la cual puede ser muy útil para el proceso de planeación, auxiliándose además de la interpretación de las fotografías aéreas.

Palacio presentó, en 1997, un estudio en donde se emplearon imágenes de video como una fuente tecnológica alternativa para la actualización de la cartografía urbana de la ciudad de Manzanillo, Colima. En ese trabajo se destaca, entre otras cosas, la gran cantidad de rasgos existentes que pueden ser usados para su control geométrico con fines de corrección, a diferencia de las fotografías o escenas videográficas de áreas naturales.

Asimismo, se puede mencionar el uso que hicieron Peralta *et al.*, en 1992, de sus fotografías digitales registradas en 1991, corregidas por deformación geométrica y sobrepuestas visualmente por detalles, en una fotografía de contacto del año de 1978. Esa información fue empleada para mostrar el cambio de uso de suelo, delimitando a las nuevas colonias sobre terrenos que originalmente eran utilizados para agricultura de temporal, en la localidad de San Luis Huexotla, en el municipio de Texcoco.

Considerando lo anterior resulta de la mayor importancia el tener una alternativa de uso distinta a las tecnologías de mayor costo (como la teledetección espacial), con la cual la observación y cuantificación del crecimiento de la mancha urbana sirva como base para la obtención de información actualizada de alta resolución espacial, a fin de cumplir tareas de planeación urbana y regional, sobre todo en ciudades de países subdesarrollados (Borges y Neves, 1996; ICA, 1994).

El objetivo de este trabajo es mostrar los resultados de la aplicación de un método alternativo de bajo costo para construir fotomapas digitales, con escala detallada, para tres fechas distintas (1970, 1989 y 1997), aplicable a áreas con relieve sensiblemente plano, con el fin principal de conocer la extensión y tendencia de la ampliación de las áreas urbanas de un municipio con alta dinámica de crecimiento.

Para el caso de una de las fechas de evaluación (1997), se empleó una tecnología de escaso uso en nuestro país y que podría significar una alternativa apropiada para solucionar el problema del registro de áreas, con un formato digital y con suficiente resolución espacial, para ser usada en el tipo de problemas planteados. A esta tecnología se le puede conocer genéricamente como *Teledetección Fotográfica Digital*, la cual se plantea en este trabajo como una vía alternativa para la actualización cartográfica urbana en el municipio de Texcoco (Austin, 1997; Ojeda, 1997; Petrie, 1997).

ÁREA EN ESTUDIO

El municipio de Texcoco se localiza 30 km aproximadamente al este de la Ciudad de México, entre las coordenadas 19°35' y 19°25' de latitud norte, y 98°57'30" y 98°50'00" de longitud oeste. Por su localización dentro del área de las subcuencas tributarias orientales del ex Lago de Texcoco, tiene un clima con predominancia hacia el templado, con verano fresco y lluvias propias de esa estación, con precipitación de 800 mm de promedio anual (INEGI, 1987; García, 1988; Porrúa, 1993;

Cruickshank, 1995).

Las características pluviométricas mencionadas se conjuntan con los tipos de suelos predominantes en el municipio (vertisol, feozem y solonchak), provocando inundaciones y dificultad de labranza, sin embargo, el primero de los suelos mencionados, es rico en materia orgánica y por tanto fértil, bajo condiciones apropiadas de uso y manejo.

La principal actividad en el municipio, hasta la década de los años cincuenta, fue la agricultura. A partir de esos años se agudiza la dinámica del crecimiento demográfico que se observaba de manera incipiente antes de esa década, tanto en el mencionado municipio de Texcoco, como en otros municipios aledaños a la gran metrópoli. Es justo en la década mencionada, cuando se apoya en gran medida el desarrollo industrial de algunas porciones de la Ciudad de México (Romero, 1999). Debido a la presencia del polo de atracción laboral y al crecimiento económico del país durante los años setenta, se comienza a agudizar con mayor intensidad el crecimiento de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), a la que pertenece el municipio aquí estudiado.

El área específica en estudio comprende una franja a ambos costados de la Carretera Federal México- Texcoco (Figura 1), cubriendo de norte a sur el municipio de Texcoco. Se delimitó con base en fotointerpretación, identificando las localidades con mayor expansión o densificación de infraestructura urbana, entre las que se encuentran: Texcoco, Boyeros, Lomas de Cristo, Lomas de San Esteban, San Miguel Coatlinchán, entre otras.

El área delimitada para el estudio ha presentado y presenta con claridad grandes cambios urbanos, que han sido registrados e integrados con base en la construcción y conjugación de los fotomapas digitales creados en este trabajo (uno para cada año de estudio, 1970, 1989 y 1997), lo cual fue posible gracias a su procesamiento dentro de un ambiente tecnológico de integración y análisis de información permitido por un sistema de

información geográfica (SIG).

Asimismo, se ha evaluado el nivel de exactitud cartográfica de los fotomapas obtenidos, por medio de modelos de deformación, generados a partir del registro de vectores en las fotografías corregidas, los cuales indican la dirección y magnitud de la deformación, después de la corrección geométrica de las fotografías individuales.

La Ciudad de México se ha expandido continuamente, excediendo en algunas áreas y desde hace algunas décadas el límite político-administrativo del Distrito Federal, abarcando los municipios vecinos del estado de México. Esto se refleja de una manera muy clara cuando se comparan los datos de las dimensiones de los crecimientos locales con respecto a los promedios nacionales.

Considerando el desarrollo del crecimiento de la población a ese nivel (nacional), se observa que para 1921 existían 14.8 millones de habitantes, 50.1 en 1970 y 84.0 en 1990, generando por tanto una alta concentración en los grandes centros urbanos, a partir de las importantes corrientes migratorias hacia el norte del país y también hacia su centro económico y político más importante: la Ciudad de México (GEM, 1993).

Con lo anterior, incluso cambia el patrón de uso de suelo en algunas áreas, de agricultura de riego y temporal a urbano (*op. cit.*, 1993). Para 1940, un 35% del total de las localidades tenía más de 25 000 habitantes, llegando a un 66% en 1980 y a un 71% en 1990. Esto muestra con claridad la dimensión de lo acelerado del crecimiento de la ZMCM. Estos cambios no han sido registrados a detalle ni en la ZMCM, ni en los municipios conurbados a ella.

La población del municipio de Texcoco, registrada en 1970, fue de 65 628 habitantes, en 1980 contó con 105 851, lo que representó un incremento de 61%. Para 1990 esta población creció en un 113.87% (140 358 habitantes), casi un 14% más del doble en 20 años, lo que implica una densidad de pobla-

ción que oscila entre 100 y 499 habs/km² en todo el municipio. En particular, es en la cabecera municipal (Texcoco) donde la densidad de población varía entre 50 000 y 99 999

habs/km² (*ibid.*), lo cual permite inferir que la mayor parte de la población se localiza en esta localidad y sus alrededores.

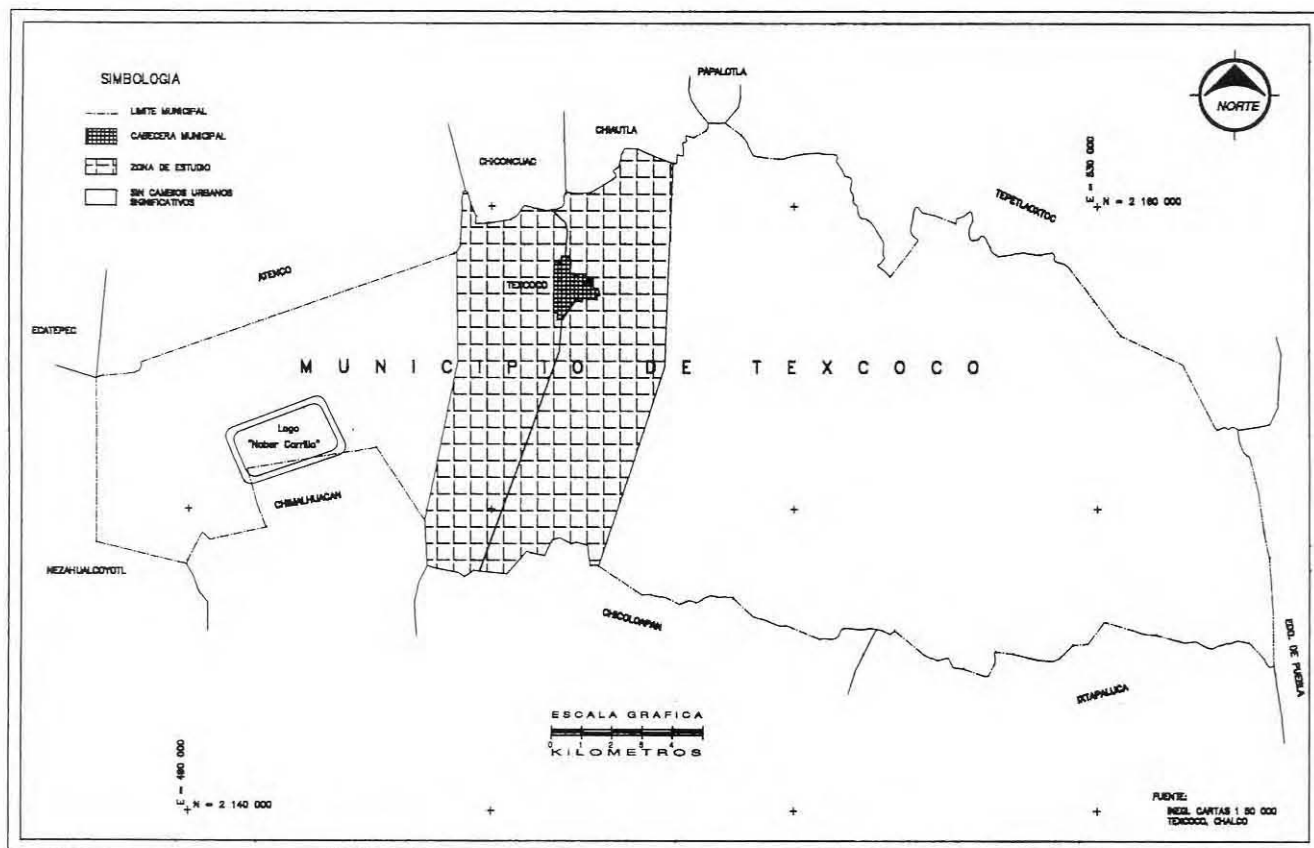


Figura 1. Localización del área en estudio.

MATERIALES Y MÉTODO

Se emplearon 19 fotografías pancromáticas con una escala aproximada de vuelo de 1:20 000, las cuales cubren el área en estudio, comprenden específicamente a las principales áreas urbanas de mayor crecimiento del municipio de Texcoco. De ese número de fotografías, diez corresponden a 1970 y nueve a 1989 (INEGI, 1970 y 1989). Asimismo, se emplearon 15 fotografías digitales registradas en febrero de 1997. Estas últimas fueron obtenidas por personal del Instituto de Geografía (IGg) de la UNAM en colaboración con la Comisión Nacional del Agua (CNA), para el proyecto: "Elaboración de un SIG para la evaluación periódica y recuperación ambiental de las áreas degradadas en la cuenca tributaria oriental y zona federal del ex Lago de Texcoco" (Garrido, 1999).

Para la elaboración de los fotomapas, se digitizaron las fotografías pancromáticas con un registrador o "barredor" óptico de elementos gráficos (escáner) de cama plana con una resolución de 400 píxeles por pulgada, es decir, 160 píxeles por cm, aproximadamente. De esta manera, el material digitizado permitió, mediante una computadora personal, manejar esa información con formato original analógico (impresión fotográfica en papel, para los casos de las fotos de 1970 y 1989) e integrar las fotografías con formato digital primario (en color natural, obtenidas por el IGg-UNAM en 1997).

Se empleó como cartografía básica de comparación (a escala 1:10 000), la elaborada con base en fotografías aéreas de 1989, por el Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México (IIIGEC, 1989). Esta cartografía sirvió como referencia de comparación para conocer la exactitud de los tres fotomapas creados, así como para la identificación de los puntos de control del terreno (PC) obtenidos para la georreferencia y corrección geométrica de las fotografías. Para la localización y delimitación del área en estudio se utilizaron las cartas Topográficas *Texcoco* y *Chalco* a escala 1:50 000 (INEGI, 1983 y 1985).

Es importante señalar que se empleó una computadora personal 486 a 66 MHz con disco duro de 2.1 GBytes para el almacenamiento y manejo de las fotografías, tanto las digitales como las *escaneadas* en papel, con el fin de tener un parámetro de referencia y entender la dimensión de la velocidad de procesamiento durante la aplicación de los archivos de subrutinas secuenciales o en lotes (*batch file*), y para la realización de los procesos automatizados durante la creación de los fotomapas.

Las fotografías digitales, correspondientes a 1997, fueron obtenidas con la cámara fotográfica digital Kodak DCS420. El cuerpo para el registro magnético de las imágenes digitales (Kodak DCS420) emplea a la cámara fotográfica NIKON N90s como instrumento para la recepción óptica de la imagen (lente, obturador, diafragma, disparador, etc.). El sensor CCD funciona y se encuentra instalado como plano de la imagen, sustituyendo a la película fotográfica normal, en el espacio diseñado originalmente para ello. Dicho sensor está compuesto de alrededor de 1.5 millones de fotodetectores, con un arreglo espacial real de 1 524 columnas por 1 012 renglones de píxeles, sus dimensiones son de 14 x 9.3 mm, respectivamente, y registra información entre los 400 y los 1 100 nm, respectivamente. Sin embargo, debido a la "distorsión" que le incide la energía infrarroja a las imágenes en color natural, a la cámara se le ha incluido, desde la construcción de su sistema óptico, un filtro que bloquea la energía luminosa por arriba de los 700 nm. El equipo mencionado es propiedad del Laboratorio de Sistemas de Información Geográfica y Percepción Remota del Instituto de Geografía de la UNAM.

Estas fotografías digitales fueron registradas con una *profundidad* de color digital de 24 bits (color natural). Ambos tipos de fotografías se almacenaron en formato TIFF y fueron importadas dentro del ambiente de trabajo SIG, en este caso se empleó *ILWIS*, en sus versiones 1.41 para MS-DOS (ITC, 1993) y 2.1 para Windows (ITC, 1997).

Un total de 119 puntos de control del terreno fueron identificados para el procedimiento de

asignación de sus coordenadas en las imágenes fotográficas. Se buscó que la distribución de esos puntos de control dentro de las fotografías, fuese lo más homogénea posible, además de que se cubriese adecuadamente el área por evaluar. Este procedimiento se hizo para el total de las fotografías correspondientes a los años mencionados para el estudio. Sus valores de coordenadas fueron obtenidos mediante una tableta digitizadora al "tocar" los puntos localizados en la cartografía mencionada (a escala 1:10 000).

La exactitud de la transformación estuvo en función de los puntos identificados y de la que tenían las coordenadas que se asignaron en las imágenes fotográficas. La exactitud general de la transformación fue indicada por el promedio de la sumatoria de los errores medios cuadráticos en los puntos de control de referencia, también llamado "Error Medio Cuadrático" o *RMSE* por sus siglas en inglés (*Root Mean Square Error* o Sigma (Σ); ITC, 1997).

Este proceso dio como resultado una nueva imagen, en la cual los píxeles fueron ajustados a la geometría del mapa de referencia sin perder sus características espectrales. Los valores radiométricos de la nueva imagen fueron creados a partir de un remuestreo de la original, usando un método de transformación escogido, que para todos los casos fue el del "vecino más cercano" (*Nearest Neighbour*) el cual sitúa en cada celdilla de la imagen corregida, el *Nivel Digital (ND)* del píxel más cercano en la imagen original. Esta es la transformación más rápida y donde el valor radiométrico de los píxeles no difiere en lo absoluto de los originales de la imagen, a la cual se le somete a este proceso de transformación (Chuvieco, 1990).

El tipo de corrección aplicada a cada una de las fotografías se basa en la teoría de la Proyección Central (o *Proyectiva*), debido a que el área en estudio se encuentra en una extensión de terreno que puede ser considerada como sensiblemente plana (la parte baja del Piedemonte de la Sierra de Quetzaltepec), por lo que la ausencia de gran-

des accidentes orográficos permite soslayar y no considerar el desplazamiento por relieve en las fotografías (López *et al.*, 1995). Por tanto, no se requirió de la componente altitud o coordenada "Z" para la corrección geométrica. Este método de corrección también es conocido como *bidimensional*, ya que corrige solamente en el plano de referencia X, Y, el desplazamiento de los puntos-imagen del plano fotográfico, en relación con el punto de fuga o punto *Isocentro* (Wolf, 1985:258-260). Este desplazamiento depende del ángulo de inclinación del eje óptico de la cámara en el momento de la toma fotográfica.

Los procesos anteriormente descritos fueron aplicados en tres ocasiones para el fotomapa correspondiente a 1997, debido a que estas imágenes fueron separadas en sus tres bandas (roja, verde y azul o *RGB* por las siglas en inglés de los colores primarios *red*, *green* y *blue*). No fue posible realizar de manera directa ni la georreferencia ni su corrección geométrica en el compuesto original (*RGB*), debido a la imposibilidad dentro de la versión del SIG empleado, de hacer ese proceso en un solo paso, ya que sólo se corregía una de las tres bandas del compuesto.

El uso de archivos de acciones secuenciales o por lotes, conocidos también como *Batch File* (ITC, 1993), redujeron en gran medida el trabajo de la georreferencia, corrección geométrica y pegado digital de las fotografías ("mosaiqueado"). Esos archivos contienen los comandos a ejecutar dentro del SIG, la información adicional para la óptima ejecución de los procesos en cuestión, y los nombres de las imágenes (de entrada y de salida) que tomarán al aplicar la instrucción descrita en ellos (Romero, 1999).

Al ejecutar esos archivos fue posible registrar el tiempo en el cual fueron procesadas las fotografías, tanto para su georreferencia y corrección geométrica, como para su pegado, y crear de esta forma los fotomapas resultantes de este trabajo.

Para comparar y evaluar el comportamiento de la deformación de las fotografías después

del proceso de corrección geométrica, sólo a nueve (tres por cada fecha de vuelo) de las 34 fotografías, se les superpusieron los segmentos digitizados de la cartografía de referencia (IIIGEC, 1989). Estos segmentos representan los rasgos culturales del área en estudio como: límites de manzanas en las áreas urbanas, límites de parcelas agrícolas y trazos de calles, caminos, canales, ríos, etc., resultando finalmente que en las fotografías pancromáticas de 1970 y 1989 se identificaron un total de 30 pares de puntos (reales o de mapa con respecto a los corregidos en

las fotografías) y 25 pares de puntos en las fotografías de 1997.

La evaluación de los desplazamientos se hizo con base en la medición de las distancias existentes entre el segmento digitizado y su correspondiente detalle en la fotografía corregida geoméricamente. El punto *origen* registra la posición correcta del segmento digitizado del objeto y el punto *destino* registra la posición de ese mismo objeto en la imagen fotográfica corregida (Figura 2).



Figura 2. Ejemplo del desplazamiento que existe entre la posición de un segmento digitizado de la cartografía de comparación (a escala 1:10 000) y su correspondiente rasgo.

Posteriormente se elaboraron los modelos de *isogonas* (líneas de igual deformación, véase un ejemplo en la Figura 3) correspondientes a las nueve fotografías. Para ello fue empleado el programa SURFER (Golden Software,

1995). Estos modelos representan en forma gráfica el comportamiento y distribución de la deformación registrada tanto en las fotografías individualmente, como su extensión a los fotomapas ya construidos.

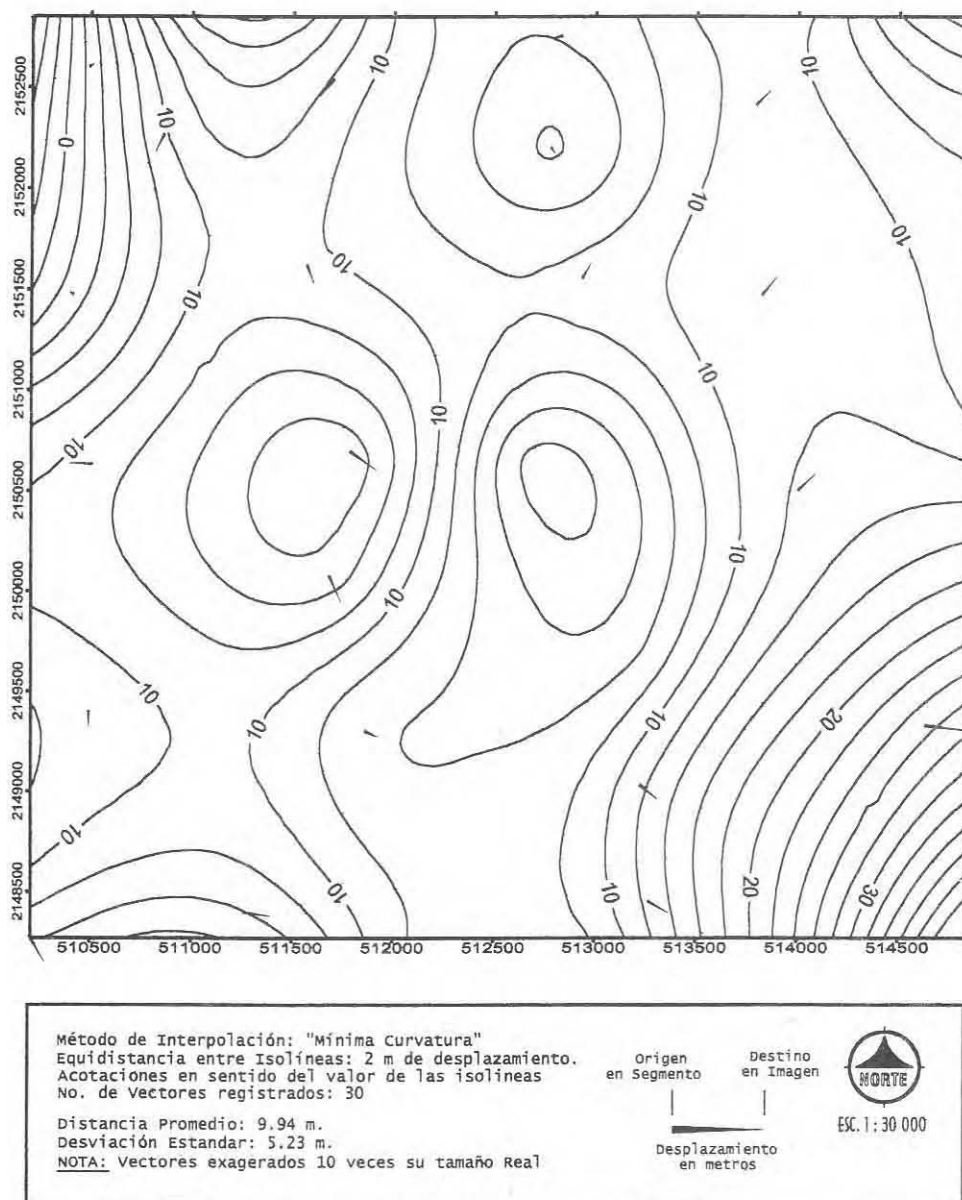


Figura 3. Imagen que ejemplifica la deformación por isogonas y vectores de desplazamiento de la posición de los rasgos en las fotografías, con respecto a su posición en la cartografía de referencia.

Las fotografías corregidas se unieron en forma digital y automáticamente por medio de la función *GlueMap* de ILWIS (ITC, 1994), este proceso es descrito y conceptualizado como formación de mosaicos de imágenes digitales o "*mosaiqueado*" por López (1997a, 1997b, véase también López y Arias, 1998). Al terminar el pegado de las fotografías se obtuvieron los mosaicos de los años de estudio correspondientes (1970, 1989 y 1997; para este último caso véase el fotomapa resultante en color en la Figura 4). Estos fotomaps resultantes sirvieron para la delimitación en pantalla de las áreas urbanizadas, y que de esta forma se registraron los cambios en la extensión de dichas áreas para poder así cuantificar el porcentaje de crecimiento y las zonas de conurbación, entre algunas localidades del área en estudio.

La digitización *en pantalla* de los polígonos mencionados se llevó a cabo dentro del SIG ILWIS en su versión 2.1 para Windows (ITC, 1997). Se digitizaron las áreas urbanas de la cabecera municipal Texcoco de Lerdo, así como aquellas localidades en donde se observó el trazo de las calles y manzanas, por ejemplo, Boyeros, Lomas de Cristo, etc. (Figuras 4 y 5). Una de las localidades que presentó mayor irregularidad en el trazo de sus calles y en el orden de su crecimiento, es San Miguel Huexotla, en donde los asentamientos presentan un patrón espacial de tipo disperso (véanse las mismas figuras).

Por último, esos segmentos digitizados se *rasterizaron* con la finalidad de poder registrar (con valores de superficie) los cambios urbanos, ya sea por la expansión territorial o bien por la mayor densificación horizontal y vertical de la infraestructura urbana, en una misma área registrada durante los periodos del estudio.

RESULTADOS

El tamaño de pixel por fotografía pancromática, a la resolución en que fueron digitizadas mediante escáner y después de ser georreferidas, resultó ser de 1.5 m. El tamaño correspondiente de pixel para las fotografías

digitales en color, fue de 3 m. Por lo anterior, y considerando la calidad de la información de partida, tanto fotográfica como cartográfica, para las fotografías pancromáticas se estableció como error medio cuadrático total, una sigma máxima (Σ) de valor no mayor a cinco pixeles de tolerancia, y para las fotografías digitales, de no mayor a dos pixeles.

Como se puede observar en la Tabla 1, con los puntos de control asignados a cada fotografía (13 en promedio) se logró tener un valor sigma por fotografía igual a 5.24 pixeles de error para 1970, de 4.99 para 1989 y por último de 2.82 para 1997. Es obvio que el error total excede al establecido como de tolerancia, en dos de las fechas de estudio; sin embargo, el excedente no es significativo para 1970, ya que ese valor supera en un 0.24 de pixel a lo establecido, el cual es equivalente a 0.38 m. Mientras que para 1997 es casi de un pixel de error, más allá de la tolerancia establecida. Pero considerando que las cámaras fotográficas digitales no tienen las características métricas de las cámaras fotogramétricas con las cuales se registraron las fotografías aéreas pancromáticas de 1970 y 1989, el sigma promedio se consideró como aceptable.

A continuación se mencionan las causas que influyeron en forma considerable y que debido a éstas, el error medio cuadrático no fue el que se estableció como de tolerancia para los resultados de este trabajo:

a) Los puntos que registraban el mayor error se localizaban en las esquinas, o en zonas urbanas dentro de la fotografía, por tanto, al eliminarlos, el sigma aumentaría quedando estas áreas con insuficientes puntos de control del terreno, lo cual afectaría de manera considerable para poder llevar a cabo la georreferencia y la corrección geométrica correspondiente.

b) El error medio cuadrático no era determinado por un solo punto, sino que el error se encontraba homogéneamente distribuido con dos o más de los puntos de control, es decir, al no considerar a algunos de ellos temporalmente para el ajuste por mínimos

cuadrados, entonces se incrementaba más el sigma (en ocasiones este incremento fue considerablemente alto).

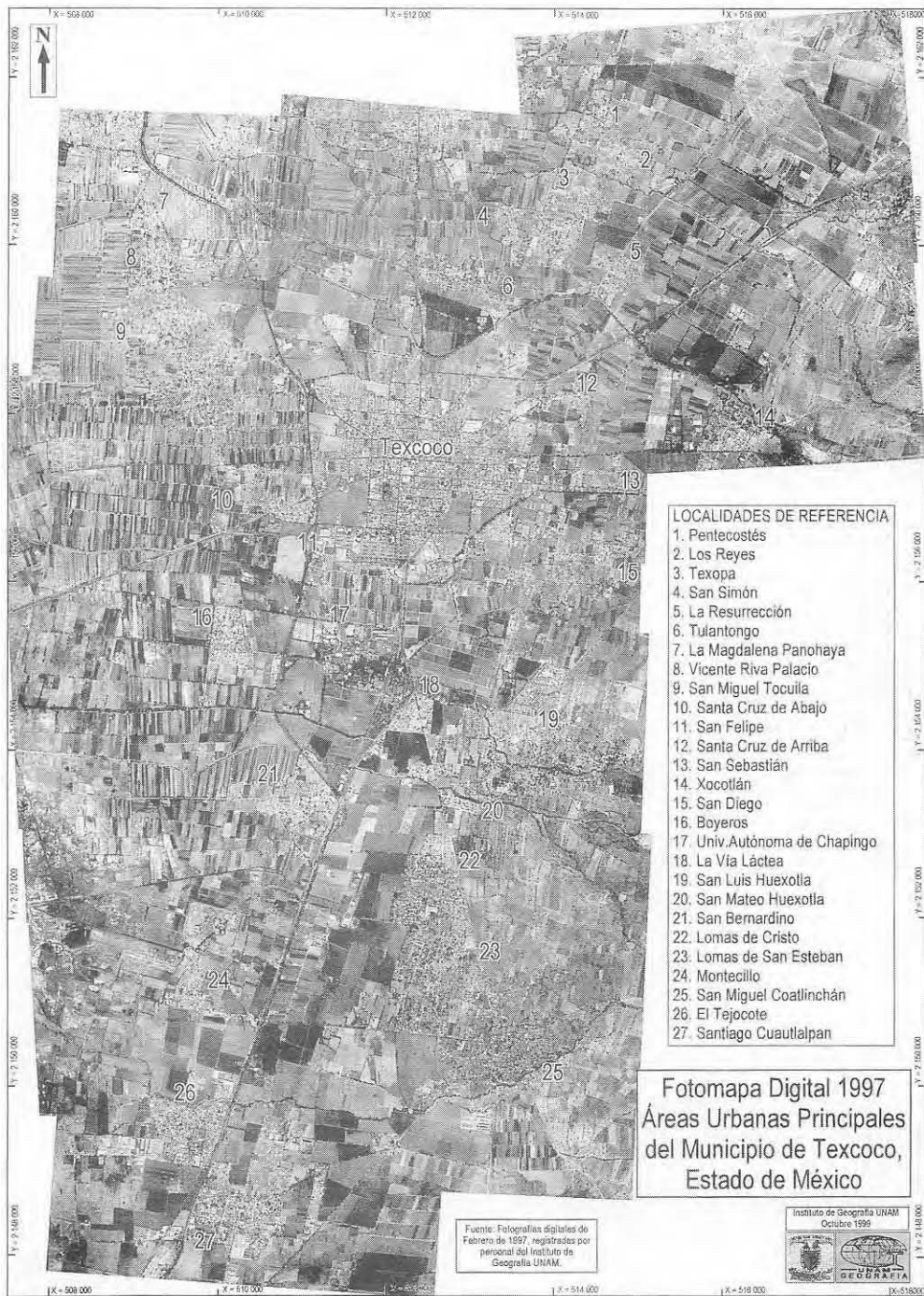


Figura 4. Fotomapa del área en estudio construido con 15 fotografías digitales en color registradas en febrero de 1997. Se señalan las localidades principales que son referidas en el texto.

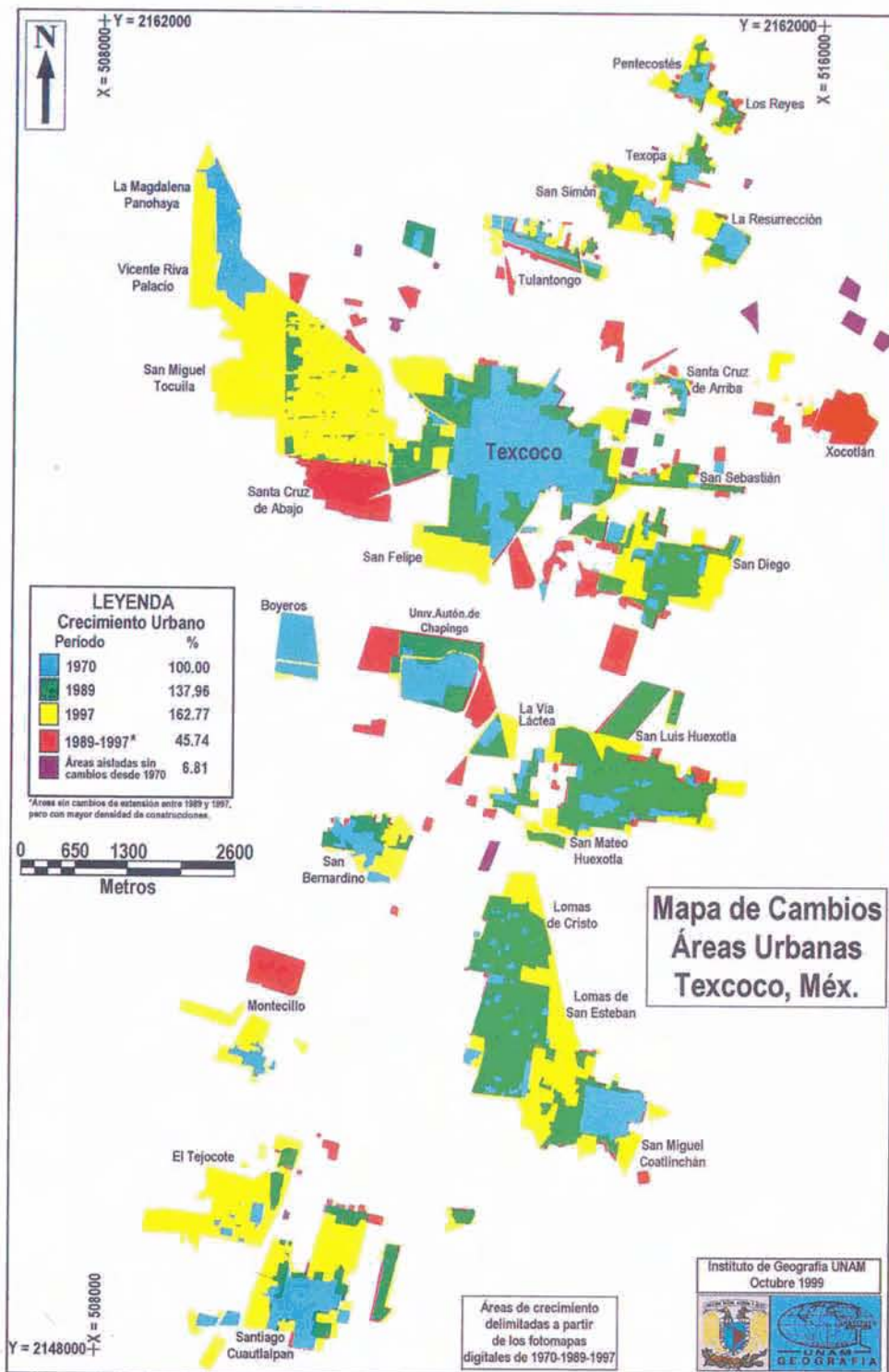


Figura 5. Mapa de cambios de las áreas urbanas para los periodos 1970-1989-1997. Nótese las tendencias de crecimiento en las porciones norte y sur del área en estudio.

Tabla 1. Errores medios cuadráticos (en *pixeles* obtenidos en los procesos de: georreferencia, selección de puntos y corrección geométrica para las fotografías de las tres fechas de evaluación

Fecha de las fotos	Georreferencia inicial	Selección y densificación de puntos	Transformación proyectiva
1970	16.62	10.34	5.24
1989	15.39	12.46	4.99
1997	7.41	4.03	2.82
Promedio	13.14	8.94	4.35

c) La distribución de los puntos se veía afectada por la eliminación de uno o más de ellos. Lo que limitaba en primer lugar emplear el método de corrección *proyectiva*, y por otro lado, afectaba también la corrección debido a la escasez de puntos de control.

Con la creación de archivos de acciones secuenciales (*batch file*) se registró el tiempo de ejecución de cada uno de los procesos realizados para la elaboración de los fotomapas finales, estos procesos son: 1. Georreferencia, 2. Corrección geométrica y 3. Pegado de las fotografías digitales ("*mosaiqueado*"). Dichos resultados se observan en la Tabla 2. Estos procesos fueron realizados en tres ocasiones para las fotografías de 1997, ya que éstas fueron separadas para cada una de las tres bandas de colores primarios (RGB), por lo que en la mencionada tabla se observa tan sólo el tiempo real para la banda azul y el adicional para las otras dos bandas, lo que da un total de 19.1 horas, y para los años de 1970 y 1989 el tiempo total registrado es de 13.3 horas y de 12 horas, respectivamente.

Con lo anterior se obtuvieron nueve listados con valores de coordenadas (origen destino, 30 y 25 pares de puntos A y B, respectivamente; Figura 2) para calcular el desplazamiento de la imagen con respecto a los segmentos digitizados, asimismo, los valores de los puntos origen (x, y) y los valores de la distancia entre ambos puntos fueron interpolados dentro del programa *SURFER Versión 6.0* (Golden Software, 1995) para generar modelos gráficos de deformación, por

medio de isogonas correspondientes a los listados obtenidos).

Delimitación y cuantificación de las áreas urbanas

Se delimitó a partir de los tres fotomapas digitales creados. Con los segmentos fue posible crear los polígonos y evaluar la dimensión del crecimiento de las áreas urbanas, así como del cambio de uso del suelo de agrícola a urbano o bien de rural a urbano, como se observó en algunos casos.

A partir de la digitización en pantalla se obtuvo el mapa de la Figura 5, en donde se registraron los cambios en infraestructura urbana para las tres fechas del estudio, este mapa muestra la dimensión de la expansión urbana a partir del registro inicial, correspondiente a 1970. Dicho crecimiento se registró empleando cinco clases de información, correspondientes a las tres fechas mencionadas: 1970, 1989 y 1997, las dos clases restantes corresponden a los casos especiales que se explican enseguida. En el período comprendido entre 1989 y 1997 se delimitaron algunas áreas que no existían en el momento del registro fotográfico de 1970, por lo que el crecimiento total se evaluó mediante una nueva clase que inicia a partir de 1989. Esta cuarta clase corresponde a las porciones urbanas representadas en color rojo en la figura mencionada. Son las áreas que no cambiaron en extensión de superficie (entre 1989 y 1997), aun cuando sí en términos de densidad de construcciones.

En cambio, las áreas en color verde de la Figura 5 (segunda clase), señalan extensiones urbanas con construcciones dispersas que para 1989 ya existían, pero han ido creciendo hasta llegar a la extensión actual de 1997 (tercer clase, en color amarillo de la misma figura), independientemente de que en algunas de sus porciones se tengan, para esas fechas (1989 y 1997), bajas densidades de construcciones.

Finalmente, la quinta clase (en color morado) corresponde a las áreas que se delimitaron en el fotomapa de 1970, pero en ellas no se

observaron cambios, ni en extensión, ni en densidad de construcciones, durante los períodos de registro evaluados. Es decir, se diferenciaron en el mapa de cambios las áreas que no sufrieron ningún crecimiento desde 1970, pero que además se presentaron en forma *aislada*, son polígonos que no tienen adyacencia con ningún otro.

Dentro de ese mapa (Figura 5) se puede observar que las áreas de mayor crecimiento entre el período 1970-1989 se presentaron en la periferia de la ciudad de Texcoco y hacia el sur y sureste de ella. Las principales áreas urbanas completamente "*nuevas*", es decir, que ya estuvieron presentes en 1997, se encuentran primordialmente hacia el noroeste de la misma ciudad de Texcoco y con menor cobertura

hacia el sur y sureste de la misma (en color amarillo).

Localidades con mayor crecimiento

Para los períodos evaluados, de manera general se puede afirmar que las localidades donde se registró mayor dinámica de crecimiento fueron: la ciudad de Texcoco, San Miguel Tocuila, Santa Cruz, San Felipe, Fraccionamiento Lomas de Cristo, Fraccionamiento Lomas de San Esteban y El Tejocote. La Tabla 3 muestra los resultados del crecimiento urbano, por clase y en porcentaje para los diferentes períodos considerados. En la Figura 5 es posible identificar dentro de la zona en estudio, las áreas mencionadas que mostraron mayor crecimiento.

Tabla 2. Tiempos de elaboración de los fotomapas digitales para los tres períodos de evaluación durante los procesos de georreferencia, corrección geométrica y pegado de las fotografías

Tiempos registrados para la Realización de los fotomapas (tiempo promedio en minutos por fotografía)				
Proceso	1970	1989	1997	
Georreferencia	30	30	30	
Corrección	30	30	5	
Pegado	20	20	10	
Tiempo total			Adicional	
Proceso	1970	1989	1997	Horas
Georreferencia	5.0	4.5	7.5	0.16
Corrección	5.0	4.5	1.3	2.60
Pegado	3.3	3.0	2.5	5.00
TOTAL (horas)	13.3	12.0	11.3	7.8
El tiempo de elaboración registrado en el fotomapa correspondiente al período de 1997, representa el tiempo total empleado en la corrección y pegado sólo para un mosaico/banda (por ejemplo, banda azul).				

Tabla 3. Incremento de las áreas con infraestructura urbana en el municipio de Texcoco, Estado de México (1970-1989-1997)

Año	Superficie (m ²)	Incremento (%)
1970	4 809 400	100.00
1989	6 634 825	137.96
1997	7 828 350	162.77
1989-1997*	2 199 950	45.74
1970-1997**	327 600	6.81
TOTAL	21 800 125	346.47***

Fuente: Información obtenida a partir de la sobreposición de los tres fotomapas elaborados.

*Áreas sin cambio de extensión entre 1989 y 1997, pero con mayor densidad de construcciones.

** Áreas aisladas y sin cambios desde 1970.

*** Suma de porcentajes de crecimiento con respecto a la superficie urbana de 1970.

***Suma de porcentajes de crecimiento con respecto a la superficie urbana de 1970.

La localidad de Boyeros (Figura 5) presentó una densificación que no excedió ampliamente los límites que se registraron en 1970, es decir, para este año se observó un asentamiento disperso, y para 1997 esa misma localidad se percibió urbanizada en su totalidad.

En la localidad de San Miguel Tocuila se registraron dos períodos de crecimiento, el primero corresponde al año de 1970, al norte de esa localidad (véase La Magdalena Panohaya en las Figuras 4 y 5). Para esa fecha se identificó un área única y compacta (sin construcciones dispersas). En cambio, para 1989, al sur y sureste de La Magdalena se registra un crecimiento urbano muy disperso (áreas en color verde de la Figura 5). Para ese año, aun cuando aisladas y de pequeña magnitud, fue posible delimitar algunos conjuntos de construcciones de crecimiento habitacional. Estas áreas urbanas continuaron creciendo de tal forma, que para 1997 su extensión fue notablemente mayor, sin embargo, la densidad de construcciones siguió siendo baja. Esta área delimitada en color amarillo, abarcó para 1997 toda la localidad de San Miguel Tocuila.

Las localidades de Santa Cruz de Abajo y Xicotlán presentaron un patrón diferente. Se digitizaron los conjuntos habitacionales detectados en 1970 y posteriormente el área de crecimiento registrada en 1989. Para 1997 no se registró un crecimiento mayor al constatado en 1989, pero sí la densificación de construcciones en esa área. Considerando esto, se determinó excluir el polígono del año de 1997 (muy similar al de 1989). Lo anterior se ve clasificado, en el mapa de cambios urbanos, como el período único 1989-1997 (en color rojo). Este mismo patrón de crecimiento se repite en otras localidades, como en Montecillo y al sur de San Diego (Figura 5).

En la localidad de San Miguel Coatlinchán se observó un patrón de crecimiento radial uniforme (con un núcleo pequeño y definido iniciado desde años anteriores a 1970). Esa misma propiedad de patrón de crecimiento se le ha asignado a los casos en donde, desde un principio, no se observaron áreas con construcciones dispersas, sino que desde muchas décadas atrás han existido núcleos antiguos de población, incluso algunos de ellos desde la época prehispánica (Córdova y Parsons, 1997). Al centro del área de San Miguel se identifica claramente el área urbana

existente en 1970, hacia el poniente se observa el crecimiento alcanzado para 1989, al igual que en una pequeña franja al norte de ella. Finalmente, hacia sus porciones noroeste y sureste se presentó un crecimiento considerable en 1997.

Los fraccionamientos Lomas de Cristo y Lomas de San Esteban se han tomado como una sola entidad de análisis, ya que presentaron un mismo patrón de crecimiento desde 1970. En ellos se observó una forma dispersa de ocupación espacial, con pequeños conjuntos de construcciones, esta dispersión no permitió delimitar un perímetro para generar una sola área en ese año. En 1989, el crecimiento se registró en mayores extensiones de áreas construidas, con lo cual se delimitó el área de crecimiento urbano para ese año. Este último registro incluye dos aspectos importantes: el primero es la extensión de las construcciones y el segundo su densidad. Para 1997 fue posible delimitar un área bien consolidada, es decir, el límite urbano para este año sí indica la extensión urbana y su total cubrimiento por las construcciones.

En la parte sur del área en estudio se localiza Santiago Cuautlalpan, donde en 1989 se presentó un crecimiento pequeño hacia el norte y en la porción sureste. Su mayor crecimiento se observó para 1997, sobre todo en una franja ancha en sentido norte-sur.

El poblado de San Luis Huexotla presentó el mismo patrón de crecimiento y por tanto se ha seguido el mismo criterio que para el caso de los fraccionamientos de Lomas de Cristo y San Esteban. Para 1970 se observaron algunos conjuntos de casas y para los años siguientes se delimitó el polígono hasta donde se observó el área construida, aunque no se tuviese una alta densidad dentro del área delimitada.

Por último, las localidades de Pentecostés, Los Reyes San Salvador, Texopa, San Simón, La Resurrección y Tulantongo presentaron patrones de crecimiento uniforme, sensiblemente radiales, con excepción de Los Reyes San Salvador (para 1970), ya que tal localidad presentó dos áreas urbanas compactas en ese

año. Esta localidad creció para 1989 en mayor proporción hacia el sur, y la localidad de Texopa hacia el norte, lo que indica, en un futuro cercano, una casi segura conurbación entre ellas. Asimismo, la población de los Reyes San Salvador se ha extendido hasta la localidad de Pentecostés, conurbándose con ella, misma en la que se ha observado un crecimiento hacia sus porciones norte y poniente. El mayor crecimiento en esta localidad está registrado para 1997.

Por otra parte, la localidad de Texopa también tuvo un crecimiento importante para 1989. Destaca una franja en sentido norte-sur hacia la localidad de San Simón, lo que indica una próxima conurbación entre estas localidades. El crecimiento más significativo en esa última localidad se observó en 1989. Es importante mencionar que, también en esa localidad, se observaron dos núcleos de infraestructura urbana en 1970, mismos que se incrementaron para 1989 y 1997, cuando el crecimiento de ambos núcleos llegó a su integración.

En la localidad de Tulantongo se observaron diversos manchones representativos de cuatro de los cinco tipos de clases de cambios de extensión en los periodos evaluados, como resultado del crecimiento disperso en esa localidad. Es decir que, a nivel de construcción de nuevas casas-habitación, éstas representaron un aumento de extensión en forma transversal, al trayecto general este-oeste del poblado original.

De acuerdo con los datos que se han integrado en la Tabla 3, para 1970 la cobertura de la infraestructura urbana fue de 4 809 400 m². Partiendo de esta base se observa que para el periodo de 1970-1989 se tuvo un incremento neto de 138% y para el periodo de 1989-1997 fue de 208%, dando un total de 346% con respecto a la superficie ocupada en 1970. Las cifras anteriores dan una dimensión clara y contundente de la continuidad de la dinámica tan acelerada del crecimiento de la población en ese municipio.

Este incremento tan marcado para 1997 se interpreta como un indicador de la demanda

de servicios y equipamiento urbano que han requerido las localidades analizadas. Según el Plan de Desarrollo Urbano del municipio de Texcoco 1970-1980 (GEM, 1970), en esa época se estimaba que se conurbarían las localidades del norte del municipio, entre las que se mencionaban tanto a la cabecera municipal como a sus áreas vecinas: San Sebastián, Santa Cruz y San Felipe, entre las más importantes. Esta proyección se confirmó (Figura 5).

El crecimiento evaluado en este trabajo registró sólo aquellas localidades en donde se observaron, a partir de las fotografías pan-cromáticas y digitales, los cambios más significativos durante el período total de análisis (1970-1997). Es por ello que no se puede decir que se hizo una evaluación del crecimiento de áreas urbanas de la totalidad de la infraestructura urbana del municipio, puesto que las localidades al este de la zona en estudio se han asumido como de condición rural y sin cambios significativos durante el período del análisis.

CONCLUSIONES

La metodología aquí desarrollada es viable como una alternativa para el registro del crecimiento de las áreas con diferentes niveles de infraestructura urbana, sobre todo si las localidades, o como en este caso, el municipio de Texcoco, en el Estado de México, se encuentran en vecindad con zonas de gran influencia, como lo es la Ciudad de México. Siendo este municipio uno de los considerados como parte de la ZMCM, dicha influencia provoca una gran dinámica acelerada del crecimiento de población y su resultado inmediato se observa en la ocupación intensiva de los espacios rurales y semirurales.

Las condiciones operacionales para la digitización y georreferencia de las fotografías afectan en forma mínima los fines de exactitud cartográfica requerida, ya que la impresión de los fotomapas a escala 1:20 000 acepta un error gráfico equivalente a 0.25 mm, es decir, la cuarta parte de un milímetro, el cual representa 5 m en el terreno. Con lo anterior

se ha demostrado que los mosaicos digitales aquí obtenidos pueden ser útiles como documentos cartográficos, válidos para el registro y evaluación de los cambios urbanos de acuerdo con los resultados que se obtuvieron de errores medios cuadráticos por fotografía y de acuerdo con la evaluación que se hizo para obtener las gráficas de dimensión de la deformación por fotomapa.

De la misma forma, todos y cada uno de los registros obtenidos en este trabajo, tanto el desplazamiento como la deformación de una fotografía, indican que la diversidad de representación del comportamiento, la magnitud y la dirección del desplazamiento no serán nunca iguales o similares, aún si se tomaran las mismas fotografías pero con diferentes pares de puntos. De esta manera, se puede inferir de los resultados que, los valores obtenidos de las coordenadas sólo representan en una forma generalizada el comportamiento del desplazamiento en las fotografías procesadas para este estudio.

Las fuentes de error de posición geográfica y exactitud cartográfica de los puntos de control del terreno pueden ser disminuidas siempre y cuando se utilicen otros métodos para la obtención de sus coordenadas, tales como los sistemas de geoposicionamiento global (GPS), empleando receptores de doble frecuencia que pueden producir exactitudes de pocos cm de error en las tres coordenadas (X, Y, Z), asimismo la posibilidad de realizar la digitización de los positivos fotográficos por medio de un escáner de calidad fotogramétrica, el cual permita obtener resoluciones y geometría de los rasgos con calidad suficiente para realizar operaciones fotogramétricas digitales mediante programas de computación especializados para esos fines.

Con el empleo de esta metodología no sólo se llegó al registro de los cambios en la infraestructura urbana del área en estudio, ya que al ser la información relativa a estos cambios almacenada dentro del SIG, también se crea una base de datos, misma que puede ser actualizada en función de los registros fotográficos que puedan realizarse periódica-

mente, basándose para su calibración en levantamientos de campo. Con esos nuevos registros es posible integrar la información dentro del SIG y mantener actualizada la cartografía, asimismo, esa base de datos sirve como fuente de información y consulta para fines diversos.

La base de datos creada no sólo puede funcionar como un registro del crecimiento de los núcleos o centros urbanos, sino que también es útil para explorar los cambios de uso de suelo, cambios que debido a las características demográficas del municipio de Texcoco, como se ha demostrado en este trabajo de manera implícita, se presentan en forma muy dinámica.

REFERENCIAS

Almelio, C.F. (1974), "Charge-coupled devices", *Scientific American*, 230(2), 22-31, citado en Burrough, P. A. (1989), *Principles of geographical information systems for land resources assessment*, Clarendon Press, Oxford.

Austin, P. (1997), "Today's digital cameras and digital aerial photography systems", *Proceedings of the 16th Biennial Workshop on Color Photography and Videography in Resource Assessment*, Weslaco, Texas, ASPRS, April 29-May 1, pp. 44-50.

Borges Linhares, R. C. y M. L. Neves de Oliveira, K. (1996), "Aplicação da Técnica de Segmentação em imagens HRV/SPOT para a discriminação do vazios urbanos", en Álvarez, R. (ed.), *Percepción remota, Investigaciones Geográficas*, Boletín, núm. esp. 5, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 93-102.

Burrough, P. A. (1989), *Principles of geographical information systems for land resources assessment*, Clarendon Press, Oxford.

Córdova, C.E. y J.R. Parsons (1997), "Geoarchaeology of an aztec dispersed village on the Texcoco Piedmont of Central Mexico", *Gearchaeology*, vol.12, núm., pp. 177-210.

Cruickshank, G. G. (1995), *Proyecto Lago de Texcoco. Rescate hidrológico. Memorias*. México.

Chen W., P. Mausel, T. Gress y M. Chengye (1995), "Discrimination of urban/suburban features

RECONOCIMIENTOS

El registro de las imágenes fotográficas digitales fue realizado por el Biól. Armando Peralta Higuera, a quien le agradecemos el habernos facilitado esa información, así como los datos de algunas de las características técnicas del equipo y procedimiento empleados durante el registro de dichas imágenes. Este trabajo no hubiese sido posible sin el apoyo económico y logístico de la Comisión Nacional del Agua Unidad Texcoco y del Programa de Becas del Instituto de Geografía UNAM. También agradecemos sinceramente los comentarios y sugerencias de los revisores anónimos.

using computer analyzed digital camera data", *Proceedings of the 15th Biennial Workshop on Videography and Color Photography in Resource Assessment*, Terre Haute, Indiana, 1-3 May 1995, pp. 288-299.

Chuvieco, E. (1990), *Fundamentos de teledetección espacial*, Ediciones Rialp, S. A., España.

García, E. (1988), *Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen*, Instituto de Geografía, UNAM, 4ª. ed., México.

Garrido, P. A. (1999), *Inventario de erosión acelerada de las cuencas de los ríos Chapingo y San Bernardino en la vertiente oriental de la cuenca del valle de México*, Tesis Colegio de Geografía, FFyL, UNAM, México.

GEM (1970), *Plan de Desarrollo Urbano del municipio de Texcoco (1970-1980)*, Gobierno del Estado de México, México.

GEM (GEM, 1993), *Atlas general del Estado de México*, Gobierno del Estado de México, Toluca, México.

Golden Software Inc. (1995), *Surfer version 6.0 Surface Mapping System*, Golden, CO, USA.

ICA (International Cartographic Association, 1994), *Thematic mapping from satellite imagery: a guidebook. I. Cartographie thématique dérivée des images satellitaires: un guide*. Editado por J. Denègre, Paris, France.

- IIIGEC (1989), *Fotomapas a escala 1:10 000*, Hojas 24 a 27, Instituto de Información e Investigación Geográfica, Estadística y Catastral del Estado de México, México.
- INEGI (1970), *Fotografías aéreas pancromáticas a escala 1:25 000*, Líneas 24 a 27, México.
- INEGI (1983), *Carta Topográfica Texcoco*, Clave E14B21, escala 1:50 000, México.
- INEGI (1985), *Carta Topográfica Chalco*, Clave E14B31, escala 1:50 000, México.
- INEGI (1987), *Síntesis geográfica, nomenclator y anexo cartográfico del Estado de México*, México, 1a. ed. junio de 1981, reimp. marzo de 1987.
- INEGI (1989), *Fotografías aéreas a escala 1:20 000*, Líneas 4 y 5, México.
- ITC (1993), *The integrated land and water information system ILWIS version 1.4, User's manual*, First edition, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, The Netherlands.
- ITC (1994), *The integrated land and water information system ILWIS version 1.41, Supplement to 1.4 user's manual*, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, The Netherlands.
- ITC (1997), *The integrated land and water information system ILWIS version 2.1 for Windows, User's guide*, First edition, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences, Enschede, The Netherlands.
- King, D. J., (1995), "Airborne multispectral digital camera and video sensors: a critical review of system designs and applications", *Canadian Journal of Remote Sensing*, vol. 21, núm 3, August, pp. 245-273.
- King, D. J., (1997), "Low cost multispectral digital camera imaging for forest modeling and topographic mapping", *Third International Airborne Remote Sensing Conference and Exhibition*, 7-10, julio, Copenhagen, Denmark.
- King, D. J., A. C. Costas Armenakis (1995a), "Comparison of elevation modeling using scanned air photos and airborn digital camera imagery: a case study in natural terrain", *Proceedings of the 15th Biennial Workshop on Videography and Color Photography in Resource Assessment*, Terre Haute, Indiana, 1-3 May 1995, pp. 280-287.
- King, D. J. y A. C. Costas Armenakis (1995b), "The use of airborne digital frame imagery for DEM generation", *Geomática*, vol. 49, núm. 4, Canadian Institute of Geomatics, pp. 489-497.
- López Blanco, J. (1994), "Imágenes digitales de video en evaluaciones del terreno", *Nota Técnica, Boletín Selper México*, núm. 24, septiembre, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 5-22.
- López Blanco J. (1997a), "Determining the distortion caused by photographic projection/focal length to assess geomorphologic features using a color airborne video camera", *Proceedings of the 16th Biennial Workshop on Color Photography and Videography in Resource Assessment*, Weslaco, Texas, ASPRS, April 29-May 1, pp. 106-116.
- López Blanco. J. (1997b), "Photogrammetric correction of video imagery to obtain land use videomaps in La Montaña de Guerrero Region, Mexico", *Proceedings of the 16th Biennial Workshop on Color Photography and Videography in Resource Assessment*, Weslaco, Texas, ASPRS, April 29-May 1, pp. 117-128.
- López Blanco, J., I. Valdéz Muciño y J. Ugalde Rivera (1995), "Corrección fotogramétrica de segmentos digitizados de fotografías aéreas aplicando un SIG, para la determinación del uso del suelo en la sierra de Quetzaltepec, México", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 33, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 9-30.
- López Blanco, J. y T. Arias Chalico (1998), "Elaboración de videomapas mediante la corrección fotogramétrica de imágenes de video en color: la región de La Montaña de Guerrero, México", *Investigaciones Geográficas, Boletín*, núm. 37, Instituto de Geografía, UNAM, México, pp. 21-35.
- Meisner, D. E. (1987), "Fundamentals of airborne video remote sensing", *Proceedings of the Tenth Biennial Workshop on Color Aerial Photography in the Plant Sciences and Related Fields*, May 21-24, 1985, Ann Arbor, Michigan, ASPRS, pp. 55-71.
- Ojeda, T. R. (1997), *Land evaluation and geographical information system for land use planning: a case study of the municipality of Texcoco, Mexico*, Department of Geography, Durham University, USA.

- Palacio Prieto, J. L. (1997), "El uso de imágenes de video como herramienta potencial para la actualización de cartografía urbana", *Boletín SELPER-MEXICO*, núm. 43, noviembre 1997, México, pp. 22-26.
- Peralta, A. (1998), *Comunicación personal con el Biól. Armando Peralta H.*, junio de 1998, Instituto de Geografía, UNAM, México.
- Peralta, R., A. Peralta, J. Prado, M. Navarrete, C. Díaz y W. Martínez (1992), "Dinámica campo-ciudad: análisis por videogrametría", *Congreso Internacional de Antropología e Historia. Simposio Cuenca del Golfo y Megalópolis*, CECODES, Veracruz, septiembre de 1992.
- Petrie, G. (1997), "Developments in digital photogrammetric systems for topographic mapping applications", *ITC Journal*, 1997-2:121-135.
- Porrúa (1993), *Nuevo Atlas General de la República Mexicana*, Porrúa, México.
- Romero Hernández, D. (1999), *Utilización de fotografías digitales como tecnología alternativa para la actualización de la cartografía urbana del municipio de Texcoco, Estado de México, en el período 1970-1997*, Tesis de Licenciatura en Geografía, FFyL, UNAM, México.
- Septién, G. J. (1985), "Información de cartografía urbana", *Memorias del VIII Congreso Nacional de Fotogrametría, Fotointerpretación y Geodesia*, tomo II, 23-26 abril, Morelia, Michoacán, México, pp. 825-834.
- Wolf, P. R. (1985), *Elements of photogrammetry*, McGraw Hill, Madison, Wisconsin, USA.