

ESTUDIO SOBRE LA EXPANSIÓN URBANA DE LA CIUDAD DE MONTERÍA, UTILIZANDO IMÁGENES DE SATÉLITE. DE LOS AÑOS 1991 Y 2001.

Boris Anzoátegui Mercado

José Argumedo Alarcón

Edermith Pérez Díaz

Luís Serrano Sánchez

Universidad de Córdoba- Departamento de Geografía y Medio Ambiente.

Dirección: Ciudad Universitaria cra. 6 N° 76-103.

grupoaum@gmail.com

Resumen

Las ciudades, los pueblos o cualquier núcleo urbano sin importar su extensión y jerarquía, llevan implícitos fenómenos de carácter social, económico, cultural, entre otros. Expresando la forma de vida de la población del área habitada, la cual por sus características, se define como área urbana. Identificada por el lugar del territorio en que se constituye; llevando consigo un crecimiento urbano, referente al tipo de planeación y ordenamiento urbano que adopta la misma.

El crecimiento de las ciudades presenta una dinámica multifacética, como consecuencia de transformaciones naturales y antrópicas en su distribución espacial. Por consiguiente, la expansión de estos espacios, descritos tanto interior- como exteriormente, determinan la composición ulterior del entorno urbano.

El presente trabajo corresponde a un análisis espacial de la ciudad de Montería, utilizando imágenes digitales del satélite Landsat, con el fin de estudiar la evolución de la ciudad durante un periodo de tiempo de 10 años (1991-2001). Las variables analizadas fueron la cobertura del suelo, la densidad de construcción, las zonas verdes y la red vial, así como el efecto ambiental de la expansión de la ciudad sobre los humedales y la cobertura del suelo de zonas semirurales y rurales aledañas a ella. Como resultado complementario se presenta un análisis de correlación entre la radiometría de las imágenes procesadas y el número de construcciones por estrato social, el cual permite predecir con relativa precisión la densidad de construcción

urbana a partir de una imagen de satélite. Finalmente se presentan mapas temáticos en formato vector y ráster de cada una de las variables estudiadas, así como, una base de datos geográfica.

Palabras claves: *ciudad, teledetección, análisis, ambiente, crecimiento.*

Introducción

El estudio geográfico, tiene como unidad de análisis el espacio. Este permite analizarse desde diferentes puntos de vista como algo vital (territorio), concreto (paisaje) y abstracto (región). A su vez es visto desde lo subjetivo y social en el que el lugar es la categoría a tener presente y también como un micro espacio globalizado.

Las relaciones paralelas de los diferentes enfoques permiten a esta disciplina la incursión en los estudios urbanos, entendiendo la ciudad, su configuración interna y su interrelación con lo rural y con otros centros urbanos de menor, igual o mayor jerarquía como centro del análisis, dependiendo de la escala que para tal fin se utilice dicho análisis. Al referirnos a escala de tratamiento, se hace a partir de los diferentes niveles de estudio desde los cuales se puede analizar la ciudad. Montería está enmarcada dentro de las características descritas anteriormente.

Así la nueva figura espacial de la ciudad hace referencia a la zona de expansión urbana, ya que la ciudad no tiene límites, puesto que el aumento poblacional crea la necesidad de aumentar el área construida (Blanco 1995). La conformación de un nuevo límite es fruto del crecimiento de la ciudad, crecimiento que por falta de planificación rompe el equilibrio natural hombre-medio. Lo anterior se demuestra por la incapacidad gubernamental en planificar y ordenar el territorio adecuadamente, lo cual trae como consecuencia una apropiación degradante del medio ambiente, creando conflictos irreconciliables en el uso del suelo (García 1995).

Montería como ciudad capital refleja la problemática descrita anteriormente. Por su dinámica de crecimiento presenta un área predeterminada a ser ocupada, la cual debe tener ciertas características que permitan su utilización como un espacio vital,

un lugar habitado y habitable, siendo el objetivo prioritario teóricamente el que éste sea un medio donde el hombre encuentre un ambiente favorable para su desarrollo (Precedo 1996). Dentro del desarrollo del crecimiento urbano se puede planificar la apropiación del territorio de expansión, para la minimización del desequilibrio ambiental existente entre la ciudad y el entorno.

Otro elemento a considerar es el espacio público como concepto moderno, resultado de la separación formal (legal) entre la propiedad privada urbana, expresada en el catastro y vinculada generalmente al derecho a edificar, y la propiedad pública (Borja 2003). En la ciudad de Montería la propiedad privada prima sobre la pública lo cual genera conflictos en la definición y apropiación del espacio público urbano y de sus alrededores.

Las tecnologías, a su vez, han favorecido el avance en los estudios de muchas disciplinas, permitiendo el análisis desde diversas perspectivas. Es así como las imágenes de satélite ofrecen nuevas posibilidades de análisis a la geografía, posibilitando tanto estudios temáticos individuales como integrales. En lo relativo a estudios urbanos se han realizado diversos trabajos, a nivel internacional, como el análisis de la evolución urbana de la ciudad de Burgos en los siglos XIX y XX (López 2004), la utilidad de imágenes de satélite en el estudio del crecimiento urbano de la ciudad de Valdivia (Herrera 2001). Otro trabajo realizado corresponde al análisis de la expansión urbana de Santiago-Chile (Ducci 2003), el cual tuvo como finalidad aportar argumentos empíricos para la discusión sobre los impactos económicos, sociales y ambientales de la expansión metropolitana y avanzar en la caracterización físico-territorial de la ciudad construida en la última década. Además, el estudio de la ciudad Quesada-Costa Rica, proyecto que analiza el crecimiento urbano ocurrido en ciudad Quesada en los últimos años, basándose en las características físicas del territorio como su infraestructura básica (vías, transporte entre otros) y el cambio del uso del suelo para los años 1986-1996 (González 2002).

A nivel nacional, la Universidad Distrital realizó estudios sobre la viabilidad de utilizar imágenes Landsat-TM para el estudio del crecimiento urbano de la ciudad de Bogotá (Currie 1988). Recientemente, se realizó una investigación de la ciudad de Bogotá con imágenes de satélite (Gómez 2005).

El presente trabajo corresponde a un análisis multitemporal, mediante la interpretación radiométrica de imágenes satelitales, de las transformaciones espaciales de la ciudad de Montería ocurridas durante el periodo de tiempo comprendido entre 1991 y 2001.

Marco teórico

Los objetos terrestres emiten o reflejan radiaciones visibles o invisibles al ojo humano. Esta radiación solar es capturada por los sensores remotos. La intensidad de la radiación solar que se refleja en la superficie, para cada longitud de onda, depende de la radiación solar incidente y del tipo de superficie (Towers 2002). Por consiguiente, la capacidad que tiene una superficie para reflejar radiación solar incidente en una sola dirección o reflectancia ρ se puede expresar mediante la siguiente fórmula

$$\rho = \frac{L \uparrow}{K \downarrow} \quad (1)$$

donde,

$L \uparrow$ es la radiación solar reflejada por la superficie en la dirección del sensor y $K \downarrow$ es la radiación solar incidente. La siguiente gráfica muestra la captación de la radiación reflejada por la superficie a través de un sensor satelitario, la cual a su vez explica la ec. (1).

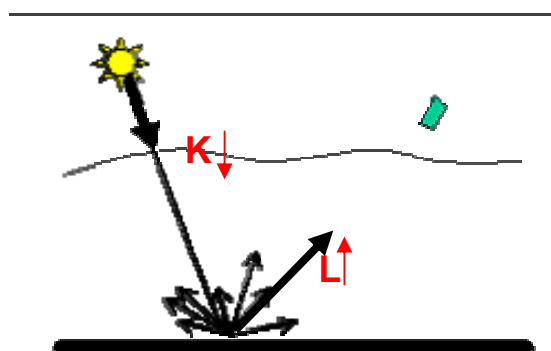


Fig. 1. Flujos de radiación solar en la teledetección de onda corta (reflexión)

Basado en la reflectancia ρ se calcula el NDVI (índice normalizado de vegetación), que es un índice derivado de las medidas de los valores de la reflectancia en la banda roja e infrarroja del espectro electromagnético que describe el vigor y la densidad de la cobertura vegetal. (Lillesand y Kieffer 1987).

El cálculo del NDVI se realizó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\text{NDVI} = \left(\frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \right) \quad (2)$$

donde,

ρ_4 es la reflectancia calculada de la banda 4 y ρ_3 es la reflectancia calculada de la banda 3.

Para el análisis de las superficies de suelo se calcula el ISH (índice de suelo-humedad) derivado de las medidas de los valores de la reflectancia en la banda roja e infrarroja del espectro electromagnético, que realiza las superficies de suelo expuesto y de agua o húmedas.

$$\text{ISH} = \frac{\rho_3}{\rho_4} \quad (3)$$

Como complemento a la imagen de ISH, se calculó una nueva imagen representativa de los suelos expuestos, de acuerdo a

$$\text{CS} = \frac{\rho_7}{\rho_4} \quad (4)$$

donde,

ρ_7 corresponde a la reflectancia de la banda 7 y ρ_4 corresponde a la reflectancia de la banda 4

Para mejorar la interpretación y obtener un resultado más confiable en el análisis de las superficies de agua o áreas húmedas se utilizó la ecu. (5)

$$SAH = \rho_1 - \rho_4 \quad (5).$$

La interpretación de las imágenes de satélite calculadas se realizó a través del análisis radiométrico detallado del histograma de cada imagen, definiendo rangos radiométricos representativos de las diferentes superficies existentes en una imagen en particular. Posteriormente, con base en el análisis radiométrico detallado se procedió a la digitalización temática de las imágenes, con el fin de obtener los resultados correspondientes al análisis urbano de la ciudad de Montería. Finalmente, la teledetección permite establecer relaciones cuantitativas entre variables radiativas (imágenes digitales) y variables superficiales (estructura de la vegetación, composición de los suelos y de las superficies de agua) por medio de correlaciones estadísticas. Estas correlaciones hacen referencia a la medida de la relación existente entre variables aleatorias. Para este estudio, las variables que se relacionaron fueron la radiometría de una imagen en particular y una de las características estructurales de la ciudad de Montería (número de viviendas existentes).

Ubicación de la zona de estudio

La zona de estudio seleccionada corresponde a la ciudad de Montería, Departamento de Córdoba, y sus alrededores de acuerdo a la Fig. 2. Esta se ubica geográficamente entre los 8° 43'21" y 8° 48'30" de latitud Norte y los 75°53' 00" y 75°54' 42" de longitud Oeste y está atravesada de sur a norte por el río Sinú. Su territorio está localizado en el extenso y fértil valle del mencionado río, limitado hacia occidente por una región montañosa (estribaciones de la Serranía de Abibe) Climáticamente la zona está clasificada como cálida, El promedio anual de temperatura es de 27.1°C, (POT.2000)

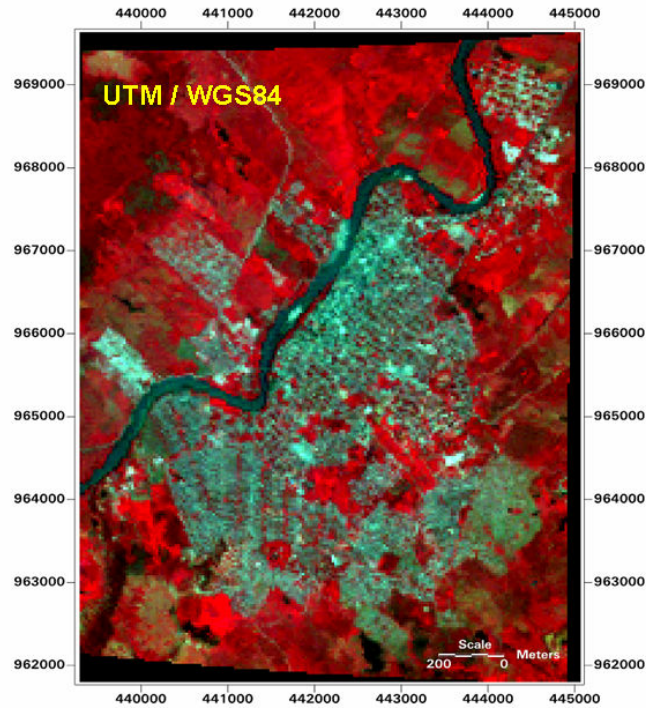


Fig. 2. Localización del área de estudio

Metodología

La metodología utilizada para la realización de este estudio fue la siguiente:

1. Selección y análisis de información externa disponible representada por reportes, informes y cartografía (POT 2000).
2. Adquisición y selección de dos imágenes LANDSAT del 21 de Marzo de 1991 y del 12 de Diciembre de 2001.
3. Procesamiento digital
 - 3.1. Cálculo de la reflectancia espectral con correcciones atmosféricas para cada una de la imágenes seleccionadas, de acuerdo a (Gónima 1999):

$$\rho_i = (L_i^{\uparrow} - H_i t_i^g) / [K_i^D \downarrow + (L_i^{\uparrow} - H_i t_i^g) \times A] \quad (6)$$

donde,

ρ_i es la reflectancia para la banda espectral i , L_i^\uparrow es la radiación solar espectral proveniente de la superficie y de la atmósfera y que es captada por el sensor satelitario. H_i representa la radiación solar espectral dispersada por la atmósfera captada por el sensor, t_i^g es la transmitividad espectral relacionada con la absorción de la radiación solar por parte de los gases atmosféricos, $K_i^D\downarrow$ es la radiación solar espectral directa incidente sobre la superficie, mientras que A es una constante representativa de las múltiples absorciones y dispersiones que sufre la radiación solar reflejada por la superficie.

- 3.2. Cálculo de los índices NDVI e ISH de acuerdo a las ecs. (2) y (3).
 - 3.3. Cálculo de imágenes de suelo expuesto y de las superficies de agua o húmedas, ecs. (4) y (5) respectivamente.
4. Georreferenciación: adquisición de puntos de referencia dentro del área de estudio, para ubicar espacialmente la ciudad y sus alrededores, para asignarle a las imágenes calculadas coordenadas correspondientes a la proyección UTM-WGS84.
 5. Interpretación radiométrica detallada de acuerdo a lo expuesto en el Marco Teórico.
 6. Digitalización radiométrica de:
 - 6.1. Perímetro y área
 - 6.2. Zonas verdes
 - 6.3. Expansión urbana
 - 6.4. Vías
 - 6.5. Estratificación de la ciudad
 7. Establecimiento de una relación estadística entre la radiometría de la imagen (mencionar aquí a que imagen se refiere) del año 2001 y el número de viviendas (POT 2000).

Análisis de resultados

Una vez calculadas las imágenes correspondientes al numeral 3 de la Metodología, se procedió a realizar el análisis radiométrico detallado de cada imagen con el fin de obtener la información temática mencionada en la Metodología (numerales 6 y 7)

Estimación de perímetros y áreas

La interpretación de las imágenes calculadas del ISH y de la ρ_5 (Fig. 3) dió como resultado que el perímetro del área construida de la ciudad era mayor en 1991 que 11 años después (2001). Por otra parte, el área construida aumentó en 1.5 km² durante el mismo periodo de tiempo. De acuerdo a los resultados obtenidos, el perímetro del área construida en 1991 es mayor que en el 2001 debido a que el crecimiento principal de la ciudad fue hacia adentro de ella (endógeno), como consecuencia del cambio de uso del suelo de lotes urbanos originalmente sin ningún uso. Este resultado se puede corroborar con el obtenido para el área construida, poco aumento entre 1991 y 2001, como se observa en la Tabla 1 de la Fig. 3.

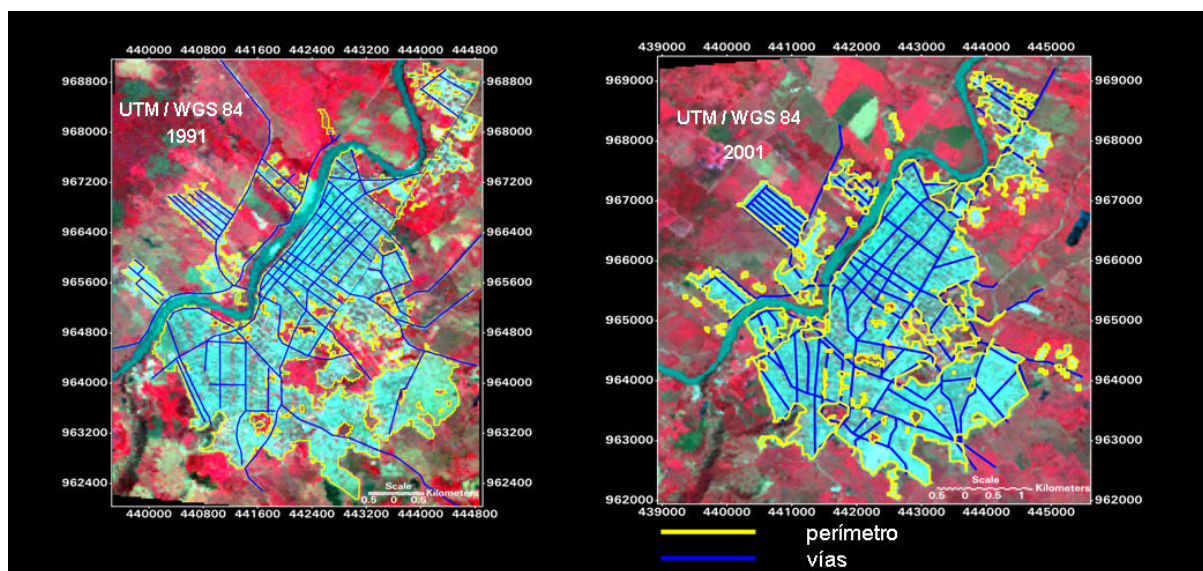


Tabla 1. Estimación de perímetros y áreas

	1991	2001	Δ
PERÍMETRO (km)	77.5	97.4	19.9
ÁREA CONSTRUIDA (km ²)	11.84	13.34	1.5

Otro componente urbano que permite analizar el área construida es el relativo a la estructura de la malla vial (Fig. 3). En la imagen del 2001 se puede observar una mayor densidad de construcción urbana, la cual dificultó la identificación de numerosas vías con respecto a los resultados obtenidos para la imagen de 1991, en la cual la menor densidad de construcción urbana permitió, con mayor facilidad, la digitalización de las vías existentes en ese entonces. Sin embargo, en la imagen del 2001 los barrios situados al noroccidente y suroriente presentan un mayor entramado vial que para la imagen de 1991. Tomando en cuenta las vías de acceso a la ciudad, se observa la invariabilidad de éstas. Es decir, en 11 años se mantienen las mismas vías de acceso a Montería. A su vez la influencia de estas vías en la configuración espacial de la ciudad es poco significativa puesto que sólo el tramo que sale de Montería a Planeta Rica (suroriente) ha contribuido al emplazamiento de nuevas urbanizaciones.

Áreas verdes

Montería durante el periodo de tiempo analizado, de acuerdo a los resultados obtenidos con la imagen del IVN, muestra un retroceso en la disponibilidad de áreas verdes con fines recreativos y de esparcimiento. Mientras que en 1991 las áreas verdes interpretadas representaban 2.98 km², en el 2001 estas mismas áreas correspondieron a 2.14 km² (disminución de 0,84 km²).

La reducción real de las áreas verdes trae como consecuencia una disminución en la calidad de vida de la población, ya que estos lugares son propicios para las relaciones interpersonales sin tener en cuenta el estatus socio-económico. En la ciudad las zonas verdes cumplen estas funciones en forma discriminatoria, puesto que en la zona norte de la ciudad estos espacios tienen una mayor accesibilidad y especialización por estar en ella localizados los barrios de estratos altos (4, 5, 6: colores azul oscuro, naranja y azul claro respectivamente en la Fig. 5), mientras que en la zona sur de la ciudad, por la forma en que fueron conformados y se conforman estos barrios (estratos 1, 2, 3: colores rojo, amarillo y verde respectivamente en la Fig. 5), la disponibilidad de estos sitios es mas reducida por el modo de apropiación y la falta de planificación municipal.

Expansión urbana

El aspecto más importante relacionado con la expansión urbana hacia el exterior lo representan las áreas correspondientes a los humedales de la zona noroccidental de la ciudad (Fig. 4). La interpretación radiométrica de la zona del humedal en la imagen de 1991 (imagen de SAH, ec. (5)) permitió digitalizar el humedal (línea amarilla en la Fig. 4), que luego se superpuso sobre la imagen del 2001 (Fig. 4), con el fin de mostrar las transformaciones que ha sufrido dicho ecosistema durante el periodo de tiempo considerado. Analizando los resultados obtenidos con las imágenes de 1991 y 2001, se observa claramente la alteración definitiva del uso del suelo del humedal en cuestión. Este cambio está representado en la Fig. 4 por la existencia de diques artificiales de desagüe (línea de color blanco), los cuales contribuyeron a la desecación definitiva de dicho humedal, como se observa en la actualidad. Estas obras tuvieron como finalidad la apropiación de dichos terrenos para convertirlos en potreros y zonas urbanizables.

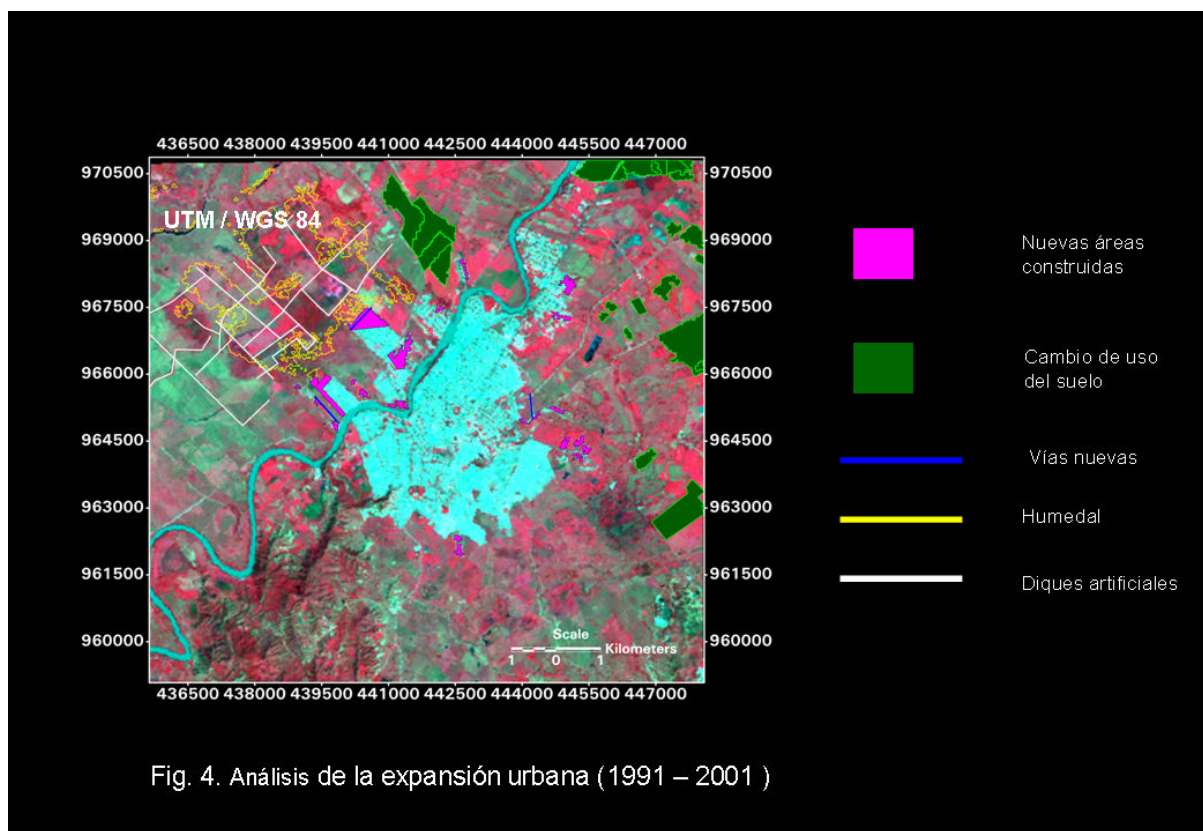


Fig. 4. Análisis de la expansión urbana (1991 – 2001)

Otros cambios de uso del suelo se muestran en la Fig. 4. Las nuevas áreas urbanizadas en la ciudad (color violeta claro), que reflejan la consolidación de los barrios legales e ilegales pertenecientes a la margen izquierda del Río Sinú (barrios

El Poblado y Los Colores), se encuentran ubicados dentro de lo que en 1991 era el humedal mencionado. Por otra parte, los asentamientos humanos existentes en dicho lugar, hacen a esa población extremadamente vulnerable a enfermedades de diversos tipos agravadas por los cambios climáticos presentes en la zona, lo cual se constituye en un problema socio-económico para el municipio.

La falta de planificación en la ciudad de Montería es una de las causas de la apropiación del terreno, en forma informal, de espacios que ambientalmente no son los más adecuados para el establecimiento de viviendas. Este proceso se desarrolla principalmente en forma de invasiones, las cuales no cumplen con las más mínimas normas de calidad urbana y en la mayoría de los casos sin la titularidad sobre las unidades prediales (POT 2000). Otro factor de perturbación de esta zona es el pastoreo de ganado vacuno, eliminando la posibilidad de que la cobertura vegetal y la fauna nativa tengan la oportunidad de recuperar el espacio que les pertenece. Finalmente en términos generales, aunque la ciudad se ha expandido hacia los cuatro puntos cardinales, la mayor relevancia ha sido hacia el occidente y norte de la zona de estudio seleccionada.

Modelamiento urbano

Por último, la característica digital de las imágenes de satélite permite establecer relaciones cuantitativas con variables urbanas. La Fig. 5 muestra la imagen de CS (ec. (4)) del año 2001, A partir de la cual se obtuvo la radiometría promedio (por estrato), la cual se utilizó para correlacionarla con los datos del número de viviendas por estrato suministrado por el POT (2000). El resultado obtenido para dicha correlación (Fig. 5), muestra que existe una relación estadística significativa ($r = 0.83$) entre la radiometría de la imagen asociada a la radiación reflejada por la superficie y la densidad de construcción representada por el número de viviendas. Para la ciudad de Montería, en las condiciones estructurales del año 2001, se puede establecer (con una precisión adecuada) que el aumento en la cantidad de radiación reflejada por la superficie urbana está directamente relacionada con una mayor densidad de construcción en la forma horizontal como generalmente se construye en la actualidad en la ciudad. El grado de incertidumbre de la correlación (17%) se

debe posiblemente a la existencia de edificios y construcciones con usos comerciales u otros no reportados por el POT (2000), cuya radiometría aparece en la imagen analizada. Esto se manifiesta especialmente en la definición del estrato 3 para la zona céntrica de la ciudad. Un posible mejoramiento de la calidad de la correlación podría obtenerse disponiendo de datos del número de construcciones en general (viviendas, locales comerciales, etc.).

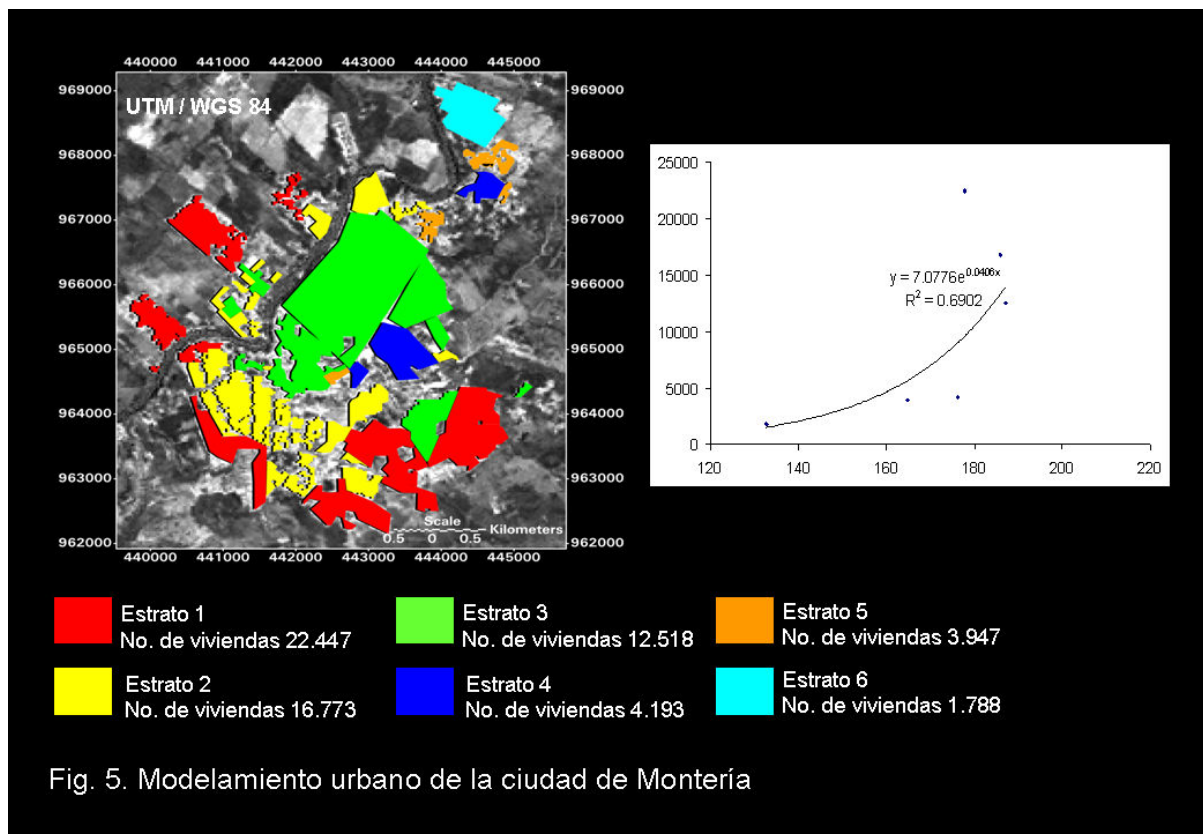


Fig. 5. Modelamiento urbano de la ciudad de Montería

Conclusiones

La aplicación de este tipo de metodologías en análisis multitemporales con imágenes digitales de satélite permite estudios relativamente precisos de la expansión urbana, como la delimitación de perímetros y áreas urbanas, definición de áreas verdes, cambios en la cobertura del suelo urbano y sus alrededores, y variaciones ambientales producidas por la expansión urbana.

La utilización de imágenes de satélite con una resolución espacial media permite realizar estudios urbanos con relativa precisión cartográfica. La principal aplicación de esta clase de imágenes para estudios urbanos está representada por cartografía

temática que posteriormente puede ser utilizada en un Sistema de Información Geográfica.

Finalmente, las imágenes de satélite contribuyen en la modelización del comportamiento estructural de las ciudades a través de algoritmos, cuando éstas presentan tendencias marcadas en su desarrollo, como es el caso presentado en este estudio. Es de esperarse una mejor correlación entre la radiometría de las imágenes calculadas y las variables estructurales urbanas si se dispone de información suficientemente completa de ellas.

Bibliografía.

Blanco F, Jacobo. 2004. La emergencia de las nuevas ciudades en la era global. Ed. Trea, S.L. España 2004

Borja , Jordi. 2003. La ciudad conquistada. Alianza editorial S.A. Madrid. 2003

Currie, L.1988. Urbanización y desarrollo: un diseño para el crecimiento metropolitano. Bogotá, Camacol 1988.

Ducci, M. y Gonzáles, M. 2003. Anatomía de la expansión de Santiago. 1990-2001. Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 2003.

García, Aurora. 1995. La geografía urbana 1. la ciudad: objeto de estudio pluridisciplinar. oikos tau. Barcelona- España. 1995

Gómez, N. 2005. Análisis de crecimiento urbano en Bogotá con imágenes satelitales. Universidad de los Andes. Bogotá Colombia. 2005.

Gónima, L. 1999: Importance de la correction atmosphérique des images de satellite utilisées pour des études de l'environnement tropical; Revue Francaise de Photogramm. et Teledet. (antiguo Bull. Societé Franc. Photogramm. Télédét.), No. 156, pp. 20-25.1999.

González, B. 2002. Estudio de crecimiento urbano en la zona metropolitana de ciudad Quesada. Costa Rica. 2002

Herrera, V. 2001. Estudio de crecimiento urbano de la ciudad de Valdivia.(Chile) a través del uso integrado de imágenes de satélite, SIG y equipos GPS. Revista de Teledetección. Santiago. Chile. 2001.

Lillesand, T. M y Kieffer, R. W 1987. Determinación de áreas de susceptibilidad hídrica a partir de imágenes Landsat Tm. Y SAR sintético. En [tp://www.obraspublicas.ov.ar/hidricos/documentospublicaciones_sn/hid009.pdf](http://www.obraspublicas.ov.ar/hidricos/documentospublicaciones_sn/hid009.pdf).1987

López, A.2004. Crecimiento, forma y funciones de una ciudad media española. La estructura urbana de Burgos en los siglos XIX y XX. Universidad de Valladolid, 2004.

Plan de Ordenamiento Territorial Municipio de Montería 2000

Precedo, A. 1996.Espacio y sociedades. Ciudad y desarrollo urbano. Editorial Síntesis, S. A. España.1996.

TOWERS, Pedro. 2002. Conceptos Iniciales sobre Teledetección y su Aplicación al Agro.en:<http://www.elsitioagricola.com/Soft/agrisat/libroTeledeteccion.asp>.

Reconocimientos.

Los autores reconocen el aporte y colaboración prestada por el profesor Leonardo Gónima, en la realización del estudio. Así mismo agradecen la colaboración del Departamento de Geografía y Medio Ambiente de la Universidad de Córdoba.