

Análisis del cambio de tipo de cobertura en la micro-cuenca urbana Hato de la Virgen ubicada en el municipio de Ibagué

Land cover change analysis in Hato de la Virgen urban watershed located in the municipality of Ibague

Jaime López-Carvajal¹

Resumen. Este estudio permitió detectar y cuantificar los cambios de cobertura del suelo en la microcuenca urbana Hato de la Virgen ubicada en el municipio de Ibagué, Colombia, ocurridos desde 1984 hasta 2003 (19 años), para conocer en detalle los impactos generados por la ocupación humana (viviendas, vías, etc.) Sobre hábitats urbanos vitales, como zonas de retiro de fuentes de agua, zonas con pendientes fuertes, entre otras, con miras a incorporar actividades de corrección o mitigación en su desarrollo urbanístico a través de un plan de manejo ambiental para la microcuenca. Se procesaron fotografías aéreas digitales de muy alta resolución espacial (15-30 cm por pixel), utilizando técnicas de procesamiento de imágenes de sensores remotos incorporadas en software de uso libre. Se analizaron los siguientes tipos de cobertura: infraestructura (IF), bosques (BN) y pastos (PS), de los cuales se cuantificó un incremento en el área de infraestructura de 16.07 %, mientras que las áreas de pastos y bosques se redujeron en 11.06 y 5.01 %, respectivamente.

Palabras clave: detección del cambio, fotografías aéreas digitales, microcuenca urbana, tipos de cobertura, software libre

Abstract. This study allowed to detect and quantify land cover changes in urban watershed Hato de la Virgen Hato located in the Municipality of Ibagué, Colombia, that occurred from 1984 until 2003 (19 years), to know in detail the impacts by human occupation (houses, roads, etc.) On vital urban habitats as riparian areas, steep slopes, among others, with the intention to include correction or mitigation activities in their urban development through an Environmental Management Plan for this watershed. Digital aerial photographs with very high spatial resolution (15-30 cm per pixel) were processed using image processing techniques built into free to use software. The following types of coverage were analyzed: infrastructure (IF), forests (BN) and pastures (PS); it was quantified an increase of 16.07 % in the infrastructure area, while pastures and forests areas were reduced by 11.06 % and 5.01 % respectively.

Keywords: change detection, digital aerial photography, urban watershed, cover types, free software.

¹Profesor asistente, Universidad del Tolima, C.P: 73000-6299, Ibagué. Colombia. jlopez@ut.edu.co

1. Introducción

Las áreas urbanas están creciendo a un ritmo acelerado, se han creado extensos paisajes urbanos, donde gran cantidad de tierras de cultivo, rastrojos y bosques se han ido transformando en asentamientos humanos durante los últimos años. Los habitantes pueden evidenciar esto de forma tangible en sus entornos locales, pero sin tener una clara comprensión de sus impactos; por lo tanto, se deben estudiar estos paisajes desde una perspectiva espacial y bajo una escala de tiempo adecuada, de tal forma que se puedan cuantificar los cambios que se han producido para predecir el impacto de los cambios hacia el futuro, de manera que se puedan seleccionar, planear e implementar esquemas de intervención que permitan al entorno satisfacer las necesidades de la población y su bienestar (Soundranayagam et al, 2011).

El estudio de las transformaciones que ha sufrido el paisaje como consecuencia del crecimiento urbano a lo largo del tiempo requiere el uso de diversas fuentes de datos, como mapas históricos, fotografías aéreas e imágenes de satélite, que se integran con bases de datos de los tipos de cobertura del suelo urbano, las cuales reflejan varias décadas de cambio en forma retrospectiva. Estas bases de datos se utilizan para analizar los efectos de la urbanización en el paisaje y para modelar el crecimiento urbano y el cambio de uso de la tierra bajo diferentes escenarios alternativos de crecimiento.

1.1 Cambio del tipo de cobertura

La mayoría de las áreas urbanas enfrentan problemas crecientes, como la dispersión de las zonas urbanas, la pérdida de la vegetación natural y espacios verdes, junto con una disminución general del tamaño y conectividad de áreas riparias y el hábitat de vida silvestre (Iakovoglou et al, 2012). La comunidad se identifica con estos problemas cuando observa el cambio de las áreas naturales por desarrollos residenciales y comerciales en su zona. Las tasas de crecimiento urbano siguen aumentando, generalmente, atribuido a la migración humana del campo a la ciudad. Las ciudades han pasado de ser pequeñas poblaciones aisladas a convertirse en centros de población interconectados tanto desde el punto de vista económico, físico como en sus características ambientales (Dutta 2012).

El crecimiento urbano y la concentración de las personas en las zonas urbanas están creando problemas a la sociedad en todo el mundo. Los asentamientos humanos representan la mayor alteración al entorno natural debido a la imposición de estructuras, tales como edificios y superficies pavimentadas (Saundranayagam et al, 2011). Hace cien años, aproximadamente el 15 % de la población mundial vivía en zonas urbanas; hoy en día, el porcentaje es casi el 50 %, lo cual está afectando los sistemas ecológicos y sociales (Naciones Unidas, 2005). Sin embargo, las dimensiones temporales y espaciales de los cambios de uso del suelo y la forma como se da la urbanización son poco conocidos (Jenerette & Wu 2001).

Actualmente, la comunidad está manifestando su preocupación por los efectos que tiene la urbanización sin control sobre el paisaje, por lo cual se están diseñando y adoptando medidas para la gestión de la expansión urbana (Angel et al, 2005). Se necesitan datos básicos, predicciones y perspectivas que apoyen la formulación de políticas racionales orientadas al fomento del crecimiento ambientalmente sostenible.

2. Área De Estudio

La micro-cuenca urbana Hato de la Virgen se encuentra entre las latitudes 4.43° N y 4.44° N y longitudes -75.20° W y -75.16° W, con una extensión de 281.42 ha, ocupando parcialmente las comunas 8 y 9 del municipio de Ibagué, Colombia (ver figura 1). La superficie de esta micro-cuenca presenta una población aproximada de 60 000 habitantes, que representan aproximadamente un 15 % de la población total del municipio.

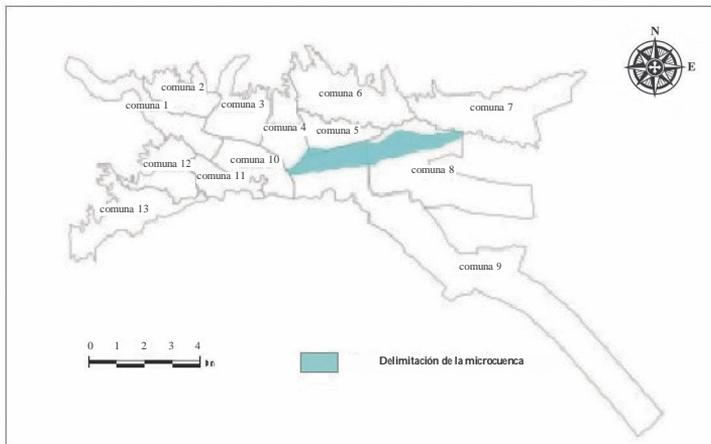


Figura 1. Mapa de las comunas del municipio de Ibagué (Colombia), el cual delimita la extensión de la micro-cuenca bajo estudio (en azul) ubicada en la parte norte de las comunas 8 y 9. Adaptado de Secretaría de Planeación de Ibagué (2012)

3. Datos

Se adquirieron dos conjuntos de fotografías aéreas digitales en formato estándar (23×23 cm) en escala de grises, uno proveniente de la Secretaría de Planeación Municipal (1984) y el otro del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2003). Las fotografías aéreas de alta resolución espacial son una fuente de datos muy utilizada para identificar, precisamente, los elementos existentes en un área determinada, y también ofrecen un registro temporal mas amplio; por lo tanto, son un recurso muy valioso para el estudio de los cambios en la cobertura del suelo durante un lapso específico (Heiskanen 2008).

4. Metodología

Para determinar las tendencias en los cambios de cobertura ocurridos en la micro-cuenca, se necesitó la generación de un mosaico compuesto por un par de fotografías aéreas de 1984, y su comparación frente al mosaico compuesto por 6 fotografías aéreas de 2003. Durante este lapso (19 años), se evidenció la ocupación de áreas que antes se encontraban bajo las clases de cobertura pastos y zonas arboladas, que fueron paulatinamente reemplazadas con urbanizaciones, vías, grandes almacenes, entre otros. Igualmente, se apreció una reducción sustancial (5.01 %) del área boscosa que rodea el cauce de la quebrada (ronda hídrica de 30 m). Para la detección de este cambio de cobertura, se siguió el procedimiento ilustrado en la figura 2.



Figura 2. Diagrama del procesamiento de los datos. Adaptado de Manonmani et al. (2010).

4.1 Pre-procesamiento de los datos

Las fotografías aéreas digitales en escala de grises fueron sometidas a un proceso de georreferenciación, que consiste en la transformación de las coordenadas de cada pixel de la imagen (p. Ej. #fila, #columna) en coordenadas cartográficas (p. Ej. Latitud, longitud). Para esta tarea se utilizó el software gvSIG (Organización gvSIG, 1012), y se tomaron como base las planchas topográficas 21,22,28,29,30,31,37,38 de 1995 del IGAC, escala 1:2000 bajo coordenadas planas Gauss (origen Bogotá 1975) con un plano de proyección de 1240 msnm del municipio de Ibagué, con la finalidad de alinearlas bajo un mismo sistema de coordenadas (EPSG:21892), y de esta forma posibilitar la comparación de los tipos de cobertura entre las dos fechas en estudio. Para la georreferenciación se utilizó una transformación *affine*, la cual arrojó un error medio cuadrático (RMS en inglés) inferior a 1.0 pixel.

4.2 Clasificación de imágenes

Una vez preprocesadas las fotografías aéreas, se procedió a su clasificación supervisada bajo el método de ML (Maximun Likelihood), ampliamente utilizado para tareas de clasificación, el cual asume una distribución normal de los datos, apoyado en el teorema de Bayes, el cual estima las probabilidades de pertenencia de un objeto a cada una de

las clases, llamada *probabilidad posterior*, utilizando las medias y varianzas obtenidas extraídas del conjunto de datos de entrenamiento, y de esta forma asignar al objeto nuevo la clase con la más alta probabilidad posterior (Evans, 1998). Se definieron *a priori* las tres clases de cobertura de interés, como fueron infraestructura (In), bosque (Bn) y pastos (Ps), seleccionando las áreas representativas de cada clase como conjunto de entrenamiento para el proceso de clasificación automático utilizando el software multispec 3.3. (Purdue University 2012). Para la detección del cambio en el tipo de cobertura ocurrido en la micro-cuenca Hato de la Virgen durante las dos fechas involucradas (1984 y 2003) se integraron las fotografías aéreas en un Sistema de Información Geográfica (SIG) utilizando software libre (gvSIG versión 1.11.0), luego se procedió a la comparación de ambas imágenes basado en un análisis pixel a pixel para localizar precisamente las áreas donde se presentaron cambios con la finalidad de visualizar, describir y evaluar el cambio ocurrido entre ambas fechas (tipo de cambios de cobertura, las zonas más afectadas y su extensión) y las tendencias de los impactos en la micro-cuenca durante su desarrollo urbanístico (Martínez & Mollicone 2012).

5. Resultados Y Discusión

El análisis comparativo de las imágenes clasificadas permitió cuantificar precisamente los cambios ocurridos tanto su magnitud como en el tipo de cambio. En la tabla 1, se detalla el área (hectáreas) y la cantidad de pixeles existentes para cada tipo de cobertura en cada año de estudio, así como los cambios de tipo de cobertura ocurridos durante el lapso estudiado.

Tabla 1. Cambio del tipo de cobertura (1984-2003)

CLASE	1984			2003			Detección del cambio	
	Pixeles	Pixel (%)	Área (Ha)	Pixeles	Pixel (%)	Área (ha)	Pixel (%)	Área (ha)
Infraestructura	8.697.778,00	27,82	78,28	13.722.222,00	43,88	123,50	16,07	45,22
Pastos	13.547.778,00	43,33	121,93	10.088.889,00	32,26	90,80	-11,06	-31,13
Bosques	9.023.333,00	28,86	81,21	7.457.778,00	23,85	67,12	-5,01	-14,09
Total	31.268.889,00	100,00	281,42	31.268.889,00	100,00	281,42		

En las figuras 3 y 4 se ilustran los mapas con las clasificaciones de los tipos de cobertura para 1984 y 2003, respectivamente. Allí se puede apreciar cómo grandes áreas en las zonas noreste y suroeste de la micro-cuenca, antes ocupadas por pastos y bosques, fueron reemplazadas por el tipo de cobertura infraestructura.

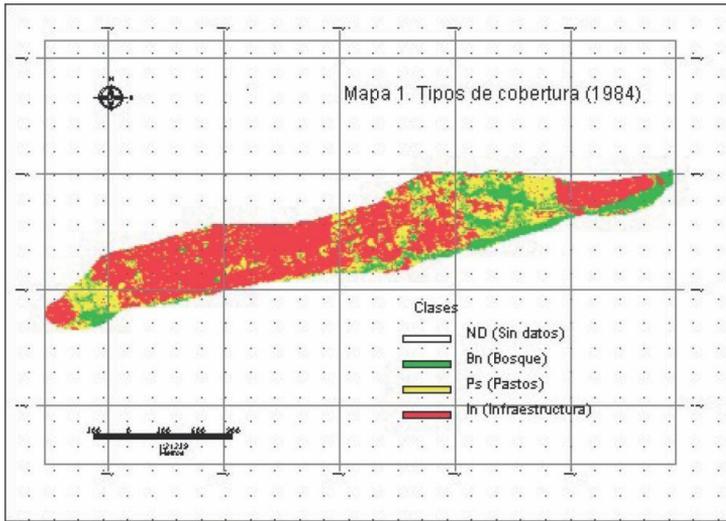


Figura 3. Mapa de tipos de cobertura (1984)

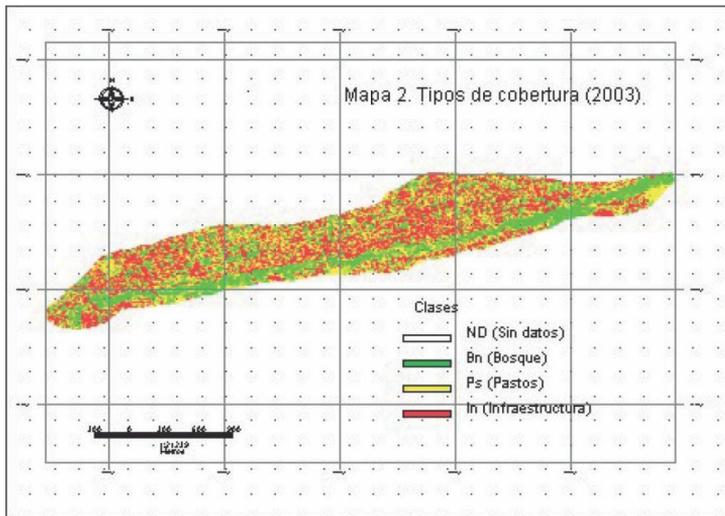


Figura 4. Mapa de tipo de cobertura (2003)

En la figura 5, se ilustran las áreas que no sufrieron cambio en el tipo de cobertura, que suman 115.91 ha (41.18 %). Las áreas donde la infraestructura se mantuvo constante (15.73 %), se distribuyen de forma uniforme en la micro-cuenca, mientras que las áreas de pastos (7.52 %) se conservan constantes en la zona central; en el caso de las áreas de bosques (6.20 %), se conservan constantes en los alrededores del cauce de la quebrada Hato de la Virgen, principalmente en el extremo sur de la micro-cuenca.

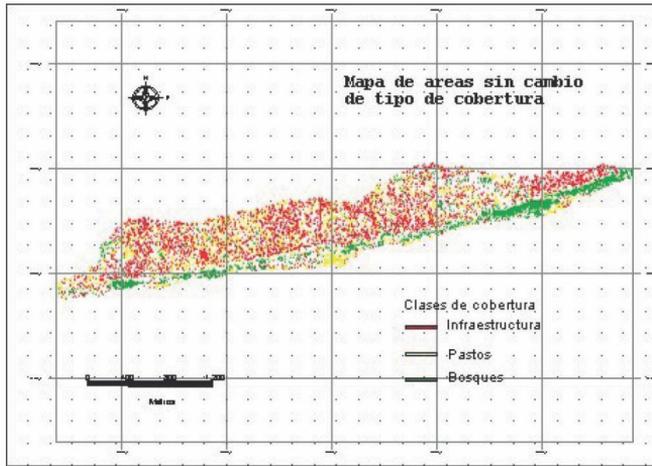


Figura 5. Mapa de las áreas que no presentaron cambio en el tipo de cobertura durante el periodo 1984-2003

Se presentó un aumento considerable de la infraestructura (16.07 %), principalmente en el noreste de la micro-cuenca con la construcción de nuevos barrios y urbanizaciones; los pastos se redujeron en 11.06 %, sobre todo en la zona este, con el establecimiento de zonas habitadas (urbanizaciones, canchas deportivas, etc.). Los bosques también se redujeron en 5.01 % principalmente en el área cerca del cauce de la quebrada, y en la parte oriental de la micro-cuenca donde se establecieron nuevas urbanizaciones y áreas de servicio con vías y parqueaderos. En la figura 6, se resaltan las áreas cuyo tipo de cobertura cambió durante el lapso de estudio (19 años).

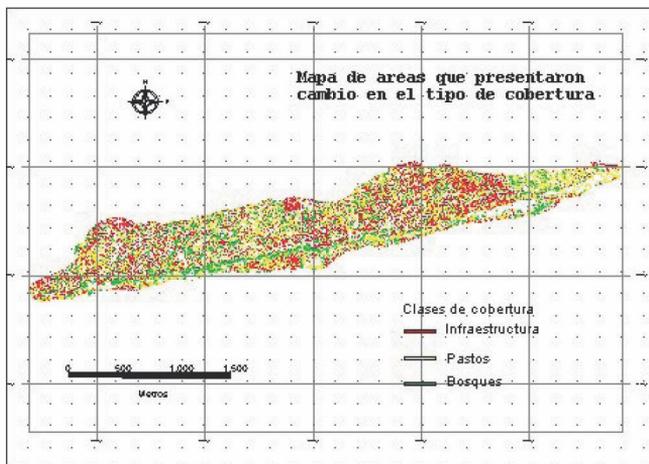


Figura 6. Mapa de las áreas que presentaron cambio en el tipo de cobertura durante el periodo 1984-2003

Estos resultados demuestran cómo el desarrollo urbano involucra un detrimento de las áreas naturales, pero esto ocurre porque prevalece un desconocimiento del funcionamiento y de los servicios que prestan las zonas verdes y las fuentes de agua a la comunidad (Gómez et al, 2004), como son el mejoramiento del microclima local, la regulación del flujo de agua, la conectividad biológica entre áreas urbanas y no urbanas, y brindan espacios para recreación y bienestar de la población asentada en sus alrededores; por tal motivo, es necesario proteger y recuperar las zonas verdes aledañas a las fuentes de agua utilizando una aproximación integral bajo el concepto de micro-cuenca (Iakovoglou et al, 2012), que involucre prácticas de manejo adaptativas, investigación y monitoreo, con la participación de equipos multidisciplinarios que cuenten con el apoyo de los encargados de tomar las decisiones.

6. Conclusiones

Este trabajo permitió determinar los cambios más significativos que se presentaron en los tres tipos de cobertura seleccionados para la micro-cuenca Hato de la Virgen a través del procesamiento y análisis de imágenes de sensores remotos, las cuales son una herramienta fundamental para la optimización de la planificación y la gestión urbana. Se considera que el factor más importante en el cambio de tipo de cobertura en un lapso de 19 años en esta micro-cuenca fue el aumento considerable de la población en la micro-cuenca, ocasionada, principalmente, por la migración del campo a la ciudad, lo que significó un aumento de tipo de cobertura infraestructura (16.07 %), en detrimento de los tipos de cobertura pastos y bosques, los cuales redujeron sus coberturas en 11.06 y 5.01 %, respectivamente.

Como resultado del análisis de estos cambios de cobertura, se considera importante hacer una utilización óptima y sostenible de recurso suelo, para evitar la aparición de cambios indeseables, como la reducción de área verde por habitante, lo que paulatinamente va generando un mayor deterioro del entorno ambiental de la micro-cuenca. Se considera importante recuperar zonas que están en el interior de la ronda de protección del cauce para evitar el deterioro del talud, promover la conservación de la fauna y flora local, así como embellecer el entorno de las zonas aledañas.

Se requiere restablecer la conectividad física, visual y ecológica entre las zonas verdes existentes y las fuentes de agua, dando prioridad a las áreas de vegetación riparia que contienen remanentes de la vegetación natural original. Además, es necesario aumentar los espacios naturales, gestionando áreas para la creación de parques en zonas con densidad poblacional alta, como es el caso de esta micro-cuenca.

Referencias

Angel, S., Sheppard, S. C. & Civco, D. L. (2005). The dynamics of global urban expansion. Tech report. Transport and Urban Development Department. Washington DC., 13 p.
Recuperado de <http://goo.gl/kqcedd>

- Dutta, V. (2012). Land use dynamics and peri-urban growth characteristics. *Environment and Urbanization*, 3(2), 277-301. Recuperado de <http://goo.gl/c7rdnl>
- Evans, F. (1998). *An investigation into the use of maximum likelihood classifiers, decision trees, neural networks and conditional probabilistic networks for mapping and predicting salinity* (Tesis de maestría, Curtin University of Technology, Australia). Recuperado de <http://goo.gl/u7ttxd>
- Gomez, F., Jabaloyes, J., & Vano, E. (2004). Green zones in the future of urban planning. *Journal of Urban Planning and Development*, 130, 94-100.
- Heiskanen, J., Nilsson, B., Mäki, A. H., Allard, A., Moen, J., Holm, S., Olsson, H. (2008). Aerial photo interpretation for change detection of treeline ecotones in the Swedish mountains. *Technical report 242*. Swedish University of Agricultural Sciences Department of Forest Resource Management. Recuperado de <http://goo.gl/qqyhp9>
- Iakovoglou, V., Zaimis, G. N., & Gounaridis, D. (2012). Managing healthy riparian areas in urban settings of Greece to improve living conditions. *Protection*, 2169-2178. Recuperado de <http://goo.gl/kwghhv>
- Jenerette, D. G. Y Wu, J. (2001). Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona-Phoenix region, USA. *Landscape Ecology*, 16, 611-626. Recuperado de <http://goo.gl/12inuv>
- Manonmani, R., Mary, G., & Suganya. D. (2010). Remote sensing and GIS application in change detection study in urban zone using multi temporal satellite. *International Journal of Geomatics and Geosciences*, 1(1), 60-65. Recuperado de <http://goo.gl/tzxebh>
- Martínez, S. & Mollicone, D. (2012). From land cover to land use: a methodology to assess land use from remote sensing data. *Remote Sensing*, 4(4), 1024-1045. Recuperado de <http://goo.gl/npmjqo>
- Naciones Unidas (2005). Population challenges and development goals. Department of Economic and Social Affairs. Report ST/ESA/SER.A/248. Nueva York. Recuperado de <http://goo.gl/ihn2xh>
- Organización gvSIG (2012). Software gvSIG v.1.12. Recuperado de <http://www.gvsig.org>
- Purdue University (2012) Software Multispec v.3.3. Recuperado de <https://engineering.purdue.edu/~biehl/multispec/>
- Soundranayagam, J. P., Sivasubramanian, P., Chandrasekar, N., & Durairaj, K. S. P. (2011). An analysis of land use pattern in the industrial development city using high resolution satellite imagery. *Journal of Geographical Science*, 21(1), 79-88.

Universidad del Tolima (2012). *Plan de Manejo Socioambiental de la Microcuenca Urbana Hato de la Virgen* (Informe técnico). Ibagué: Universidad del Tolima/Facultad de Ingeniería Forestal.

Referencia	Fecha de recepción	Fecha de aprobación
Jaime Lopez-Carvajal. Análisis del cambio de tipo de cobertura en la micro-cuenca urbana hato de la virgen ubicada en el municipio de Ibagué. <i>Revista Tumbaga</i> (2013), 8, 112-121	Día/mes/año 16/05/2012	Día/mes/año 02/12/2012