

Identificación de ilegalidades urbanísticas con sistemas de información geográfica y teledetección.

Identification of Illegal Urban Development with Remote Sensing and Geographic Information Systems

Cristina Chuquiguanga, Mónica González, Chester Sellers

cristina.chuquiguanga@ucuenca.edu.ec

Universidad de Cuenca, Cuenca, Ecuador.

Resumen:

Este artículo es el producto de un proyecto de investigación¹ cuyo objetivo es conocer el cumplimiento o no de las determinaciones de uso y ocupación del suelo contempladas en los planes de ordenamiento urbano, en sectores con importantes niveles de crecimiento, con el empleo de sistemas de información geográfico y teledetección.

Se parte de un acercamiento teórico al concepto de ilegalidad, informalidad o irregularidad urbana, para luego definir las determinaciones de uso y ocupación del suelo que sirvan de indicadores urbanos para determinar las ilegalidades.

Se presenta en este artículo el caso de la ciudad de Paute, territorio ubicado al noreste de la provincia del Azuay, del cual, con el empleo de datos LIDAR que asociados al catastro y con el empleo de sistemas de información geográfica se realizó la identificación de ilegalidades las mismas que fueron verificadas en campo.

Palabras clave: Planificación urbana - Ilegalidades Urbanísticas – Normativa Urbanística Monitoreo y Evaluación de planes – Tecnología LIDAR – Uso y ocupación del suelo.

Abstract

This paper is the product of the research project, which objective is to verify whether or not the determinations of the use and occupancy of the land contemplated in the urban planning plans, in sectors with significant levels of growth.

It starts from a theoretical approach to the concept of illegality, informality, or irregularity urban, to then define determinations of use and occupancy of the use and occupation to serve as urban indicators to determine the illegalities.

This paper presents the case of the city of Paute, a territory located to the northeast of the province of Azuay, with the use of LIDAR than associates at the land registry and with the use of geographic information systems made the identification of illegalities, that were verified on site.

Key words: Urban Planning - Urban Illegalities - Urban Regulations - Monitoring and Evaluation of Plans - LIDAR Technology - Land use and occupation.

¹ Este trabajo es producto del proyecto de Investigación: "Evaluación de Planes de Ordenamiento Urbano: determinaciones de Uso y Ocupación del Suelo. Áreas urbanas en la Zona 6", que se realizó en la Universidad de Cuenca.

Informalidad, ilegalidad o irregularidad urbana.

Hace varias décadas las ciudades Latinoamericanas experimentaron un gran crecimiento poblacional, debido principalmente a la emigración rural-urbana, y especialización del trabajo, enfrentando una serie de transformaciones como el crecimiento físico de sus áreas urbanas, alta demanda de servicios e infraestructura, ocupación de zonas no urbanas, entre otras. Lo que conlleva grandes retos para los Gobiernos Municipales por las competencias asignadas², en particular aquellas referidas a la regulación del uso y ocupación del suelo que son motivo del presente análisis.

La regulación del uso y ocupación del suelo se realiza en el marco de los planes de ordenación urbana y su respectiva normativa, existiendo dificultades por parte de los Gobiernos Municipales por ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo urbano, y por lo tanto, el incumplimiento de las normativas. De estos últimos, se pueden distinguir: i) Ocupación de zonas no urbanizables; ii) Tenencia ilegal del suelo; iii) Infracción a las ordenanzas, entre otros a los que se les ha dado el apelativo de ocupación ilegal, informal o irregular, términos que se los analiza de manera sucinta.

En algunos casos las expresiones antes señaladas se han considerado como sinónimos; según Clichevsky (2010) existe dos tipos de informalidad: a) el dominial, referidos a la tenencia del suelo, es decir, la ocupación directa del suelo por parte de la población a través del mercado informal -loteos clandestinos, ocupación de espacios públicos o lotes sin títulos de propiedad-, y b) desde el punto de vista de la urbanización, ocupación de suelo sin condiciones urbano ambientales para el uso vivienda -zonas inundables, contaminadas, de riegos por inestabilidad del suelo, hacinamiento- o que incumplen las normativas respecto a la ocupación del suelo -altas densidades.

Así también la irregularidad se vincula a aquellas prácticas que incluyen elementos propios del orden legal formal, constituyéndose una cuestión de legitimidad (Azuela de la Cueva, 1993; Duhau, 2002).

Por otro lado, Azuela señala, que la denominación de asentamientos irregulares, informales, extraoficiales o directamente ilegales, no hace referencia a las características físicas o económicas, sino con una relación de problema con el orden jurídico formal vigente en una sociedad.

² En la Constitución del Ecuador 2008. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales tienen entre sus competencias en el Art. 264. Numeral 2 "Ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón"

Duhau (1995) hace referencia al término “irregularidad urbana generalizada” indicando la “coexistencia de marcos jurídicos reguladores con la generalización de prácticas irregulares y la ausencia de la aplicación de sanciones” es decir la generalización de la inobservancia del conjunto de normas jurídicas.

En cuanto a lo ilegal, esta condición, está mucho más relacionada con la contravención de las normas jurídicas existentes, sea el código civil o el urbanístico, es decir las acciones criminosas o delitos (Calderón, 1999; citado por Canestraro, 2013).

La definición de estos términos no ha sido homologada, los expertos en la política del suelo en América Latina no coinciden en la manera correcta de medirlos y tampoco encontrar esa relación con las estadísticas oficiales en el tema (Canestraro, 2013). No obstante, en los términos “informal”, “irregular”, “ilegal” se identifica un punto común, van ligados al conflicto o incumplimiento de la normativa social vigente en una circunscripción.

Con estos antecedentes, en el presente análisis, se entenderá como ilegal a todas aquellas formas de uso y ocupación del suelo al margen de la normativa vigente en el ámbito urbanístico, y el término informalidad únicamente desde el punto de vista de la urbanización, excluyendo el enfoque dominial.

Determinaciones de uso y ocupación de suelo en el marco de los planes de ordenación urbana.

La historia muestra que la planificación urbana u ordenación urbanística nace por un lado de la aceleración del proceso de urbanización y por otro, del reconocimiento del papel de las ciudades como vertebradoras del territorio (Massiris, 2002). En Latinoamérica la ordenación urbanística se pone en boga en la década de los 60; donde la mayoría de estas ciudades con más de veinte mil habitantes ya contaba con los “planes reguladores” (Schteingarat & Imás, 1998), y las ciudades con más de cien mil habitantes disponían de unidades técnicas de planificación urbana encargadas de la elaboración de los planes; así también se crearon los “planes metropolitanos” que fueron redactados para las grandes ciudades de la región continental (Pauta, 2013)

En este sentido, la planificación de las ciudades o la planificación urbana se torna como un proceso fundamental e imprescindible, cuyo objetivo principal será atender las anomalías existentes entre sus condiciones de desarrollo económico, social y espacial (Sánchez, 2008)

Los Planes de Ordenación Urbana (POU), se determinan como un instrumento que plantean los criterios que deben ser considerados para cualquier actuación sobre el suelo, esto es, las llamadas “Determinaciones de Uso y Ocupación del Suelo”. Estas

determinantes deben ser formuladas en atención a los problemas de la ciudad, y de las previsiones a futuro de otros instrumentos de nivel superior. Estas finalmente incidirán en el conjunto de derechos y deberes que la ciudadanía ejerce, que según Parejo (2012) los más importantes son los siguientes:

- a) Los relacionados con la residencia y habitación, dirigidos a generar las condiciones básicas de la igualdad para acceder a una vivienda digna y adecuada y al disfrute de un medio ambiente adecuado.
- b) Relacionados con el acceso y uso de las infraestructuras, las dotaciones y los equipamientos, determinantes de la calidad de vida individual y colectiva, tanto públicos, como abiertos al uso público.

Los POU deben responder a las cuestiones básicas de la ocupación urbana del territorio -el cuánto, el dónde y el cómo-; las determinantes de uso y ocupación de suelo deberán entonces alcanzar objetivos como: i) Controlar y guiar adecuadamente los procesos de expansión, consolidación, renovación y conservación, que con mayor o menor intensidad soporte el asentamiento; ii) Regular los usos de suelo y todas las actuaciones urbanísticas en el territorio, especialmente las del sector privado en relación al uso y ocupación del suelo; iii) dotar del suelo necesario para atender las demandas de las actividades humanas que se asientan en la ciudad: Producción de bienes y servicios, comercio o intercambio, vivienda, gestión y administración, entre otras.

Estas determinaciones, según Pauta (2013) que deben generar los POU, se refieren a: demarcación de unidades territoriales sin capacidad de acogida para la urbanización; delimitación de las playas de mar, riberas y lechos de ríos, lagos y lagunas; demarcación de los suelos susceptibles de urbanización; clasificación del suelo del asentamiento; delimitación de unidades urbanísticas en el suelo consolidado, en proceso de consolidación y urbanizable; dimensionamiento y localización de las reservas de suelo para los nuevos equipamientos o instalaciones de alcance urbano; programación de la ocupación física de las unidades urbanísticas; la asignación de los usos del suelo, siendo importante destacar; la identificación del suelo urbano y urbanizable, las edificabilidades físicas máximas y mínimas.

Las determinaciones en conclusión configuran la Normativa Reguladora del Uso y Ocupación del Suelo Urbano, instrumento fundamental para los gobiernos locales que permite el control de la ciudad.

Indicadores urbanos

Siempre se han utilizado variables para evaluar el éxito o fracaso de los planes y políticas, y en los últimos años ha tomado fuerza el término indicador; con él lo que se busca es determinar con mayor precisión el resultado de acciones sobre los campos que se han determinado como críticos, como el medio ambiente, las intervenciones en la ciudad, la cohesión social, entre otros.

Un indicador puede ser entendido como un valor que supera su valor neto para representar una realidad más compleja pero que debe de ser fácilmente comprensible y evaluable. Salvador Rueda define los indicadores como “una variable o estimación urbana que provee una información agregada, sintética, respecto a un fenómeno más allá de su capacidad de representación propia. Es decir, se le dota exógenamente de un valor añadido”. (Rueda, 2001)

Por otra parte, para que los indicadores sean útiles, deberán tener ciertas condiciones que aseguren su utilidad, esto es: ser exactos, que no den lugar a dudas, y específicos del tema a tratar; ser fácilmente comprensibles; deben ser accesibles; ser sensibles a los cambios que se quieren medir, y por tanto contar con datos periódicos homogéneos con la escala temporal del cambio. (Hernández Aja, 2009)

Los indicadores urbanos ayudarán a una mejor comprensión de los problemas urbanos y sus causas. UN-HABITAT los reconoce como “un conjunto de instrumentos de gestión que permiten identificar la realidad urbana, y servir de base para la formulación de políticas, programas y proyectos que la mejoren en forma continuada y sostenible”.

Los buenos indicadores urbanos entonces, no son piezas de información abstracta; son datos de la realidad que sintetizan información clave para comprender diversas situaciones y tendencias de las ciudades. Permiten medir, de manera cualitativa o cuantitativa, la intensidad de un fenómeno o la gravedad de un problema y evaluar los avances hacia determinados objetivos y metas. Los indicadores urbanos facilitan valorar las estrategias en curso en función de la posibilidad de alcanzar objetivos previstos, así como anticipar riesgos y aprovechar oportunidades, tanto para la ciudad en su conjunto como para los diferentes elementos que la componen. (Galster, Johnson, & Hayes, 2005)

Los indicadores urbanos pueden ser de diversa índole, esto es:

- De dotaciones
- De gestión y planeamiento

- De suelo
- De transporte
- Normativos

Para fines de la investigación, interesan entonces los indicadores urbanos normativos.

Indicadores urbanos normativos

Los indicadores urbanos normativos, son herramientas operativas en el campo normativo del urbanismo junto con las delimitaciones zonales, los condicionamientos de usos y los modos de ocupación. Para fines de la presente investigación los indicadores a considerar serán:

a) Tamaño de lote por vivienda

La fijación de este indicador calcula la superficie del suelo por unidad de vivienda, siendo importante considerar:

- Lote medio,
- Lote mínimo; y,
- Lote máximo

b) Características de la edificación

Integran las características de la edificación todos aquellos indicadores urbanísticos que permiten reglamentar los procesos de diseño y construcción de edificios. Dichas características son las siguientes:

- Coeficientes de ocupación y utilización del suelo. COS - CUS
- Altura de las edificaciones.
- Tipo de implantación.
- Retiros.

Estos indicadores, entendidos como las determinaciones de ocupación del suelo, junto con las medidas mínimas de subdivisión, las condiciones de asoleamiento y ventilación, las alturas máximas construibles, y otras condiciones edificatorias de detalle, permiten regular la construcción o el crecimiento de la ciudad planificada.

Las determinaciones de uso de suelo se abordan a partir de su clasificación, que constituye, el primer paso en la definición del régimen de planeamiento y actuación para el desarrollo del contenido de la planificación en general; misma que determina el régimen jurídico del suelo, y fija una clasificación que responde a la estructura urbana que propone el Plan, y puede ser entendido como suelo urbano urbanizable; y, no urbanizable.

Para la declaratoria de estos suelos, los planes de desarrollo y ordenamiento territorial municipales o metropolitanos acogerán lo previsto en la legislación nacional ambiental, patrimonial y de riesgos.

En relación a las zonas de protección ubicadas a lo largo de ríos, quebradas, ojos de agua o de cualquier curso de agua permanente o intermitente, si bien ciertas normativas municipales no detallan la franja de protección, se considera lo establecido en la “Norma de Manejo Sustentable de Bosques Andinos” del Ministerio del Ambiente del Ecuador.

Finalmente, el suelo no urbanizable por condiciones topográficas, considerará aquellas con pendientes mayores al 30%, toda vez que implica terrenos con un fuerte riesgo de erosión, vulnerabilidad a riesgos por deslizamientos, entre otros.

Técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica para la determinación de ilegalidades urbanísticas

La identificación automática de edificaciones mediante información obtenida por sensores remotos se ha convertido en un desafío “dinámico”, que no se ha mantenido únicamente en el plano científico, sino que ha traspasado la barrera hacia lo “aplicado”. Dicho reto ha adquirido gran importancia en los procesos de actualización de las bases de datos cartográficas, tanto en el sector público como privado, facilitando la gestión eficiente del territorio. Cabe señalar que en el Ecuador pocos son los estudios sobre esta temática relacionada a la detección de objetos usando técnicas de teledetección y sistemas de información geográfica que tengan como objetivo localizar las edificaciones y estudiar su legalidad urbanística; e inexistentes aquellos que para ello emplean datos obtenidos mediante sensores remotos.

Esta tarea de identificación no se encuentra libre de complejidad y tal vez, ésta ha sido una de las causas por la que esta problemática se ha abordado desde múltiples frentes, resultando en la aparición de un gran número de metodologías.

Hace más de un decenio que Mayer (1999) analizaba las principales problemáticas que presentaban los métodos de detección de edificaciones, y si bien algunos de estos problemas ya no son tal, las conclusiones que obtuvo aún siguen teniendo validez. En primer lugar, consideraba fundamental conocer de primera mano el área de estudio, pues los datos (o imágenes) pueden no contener toda la información necesaria. Adicionalmente recomendaba que la zona de estudio no fuera única, puesto que de ser así cabría la posibilidad de cometer el error de elaborar una metodología “a la carta”; y también destacaba la importancia de integrar diferentes metodologías, en oposición a la elección de una única técnica. En línea con este punto, puede resultar

también aconsejable integrar varias fuentes de datos con el propósito de minimizar las limitaciones que presentan a nivel individual.

Sin embargo, el estudio de Mayer (1999) únicamente se centraba en aquellas metodologías basadas en el procesamiento de imágenes aéreas. Aunque este campo abarca un amplio número de posibilidades, en la actualidad existen otras opciones que pueden neutralizar las principales limitaciones que introduce el empleo de imágenes aéreas en los procesos de detección de edificaciones (edificaciones con estructuras complejas que tienden a dificultar la detección; elevada heterogeneidad en las respuestas espectrales de las edificaciones ocasionadas por la gran variabilidad de materiales constructivos; existencia de sombras; efecto *salt and pepper*... (Le Bris y Boldo, 2008; Lu *et al.*, 2010)). Así, Hermosilla Gómez (2011) distinguía dos tipologías adicionales a la visión presentada por Mayer (1999): la primera contemplaba emplear únicamente información tridimensional, como por ejemplo datos lidar (Gonçalves *et al.*, 2008; Tóvári y Vögtle, 2004); mientras que la segunda proponía combinar información espectral con información tridimensional (Chen *et al.*, 2009; Rottensteiner *et al.*, 2005).

Si bien el empleo de datos lidar presenta ciertas ventajas con respecto al uso de imágenes aéreas o satélite (por ejemplo, independencia de las condiciones de iluminación; elevada precisión altimétrica; posibilidad de atravesar la vegetación y caracterizar la superficie topográfica que se encuentra bajo ella, ... (Lin *et al.*, 2008)), las cuales permiten aumentar la precisión de los resultados en el proceso de identificación de construcciones; en ocasiones puede ser necesario recurrir a información espectral como fuente de datos complementaria, añadiendo así ventajas adicionales a las ya mencionadas (Buján *et al.*, 2012).

Dentro del marco propuesto en diferentes congresos internacionales de sistemas información geográfica, teledetección y geomática, se destaca la creación de cartografía a grandes escalas, pero sin embargo el espectro de aplicaciones orientado a la Geomática se fue incrementado en otras direcciones tales como: desarrollo del catastro urbano, detección de ilegalidades, monitoreo de áreas de cultivos, estudios de carreteras, monitoreo de plantas invasoras, proyectos de desarrollo urbanístico y monitoreo del desarrollo constructivo de obras ingenieras. Ello ha sido posible por las bondades de las tecnologías de sensores remotos como lo drones, ventajas relativas a: levantamientos con relativamente bajo costo; flexibilidad en la frecuencia y en la adquisición de los datos; capacidad para captar finos detalles espaciales (Yan, Gou, & Duan, 2009); y capacidad de operar a baja altura, lo que minimiza la posibilidad de presencia de nubes en las imágenes, pues estas son un elemento abundante en nuestra región según la época del año y el lugar del levantamiento, la cobertura

nubosa puede llegar a ocupar el 80% de una imagen satelital, ofreciendo así una solución al problema de la cubierta de nubes (der Wal et al., 2013). En la actualidad se han desarrollado grupo de estudios a partir de la información captada por medio de estas tecnologías. Entre los principales se destacan la creación del catastro urbano a partir de las ortofotografías generadas como base cartográfica para mapas a grandes escalas. Se está incurriendo en estudios de deslizamientos, riesgos diseño y gestión vial, modelamiento 3D, fotogrametría etc.

Decidir qué datos son los más adecuados para la identificación de edificaciones es una tarea fundamental, pero no es menos importante seleccionar el método de clasificación para llevar a cabo dicha identificación. Tradicionalmente los métodos de clasificación más empleados han sido los basados en píxeles, sobre todo cuando se emplean imágenes aéreas o de satélite como única fuente de información. Sin embargo, cuando el objetivo se concretiza en identificar construcciones, algunos autores han concluido que la combinación de estos datos con información altimétrica y el uso de clasificaciones basadas en objetos, proporciona mejores resultados que en el caso de usar orientaciones basadas en píxeles (Cleve *et al.*, 2008; Myint *et al.*, 2011). De tal forma, que la unidad de clasificación ya no es el píxel, sino agrupaciones de píxeles, es decir, objetos. Estos objetos son generados a través de un proceso de segmentación automática, habitualmente en función de criterios de homogeneidad, y posteriormente asignados a una de las clases preestablecidas. Existen muchos métodos de asignación, sin embargo es muy frecuente emplear valores de umbralización sobre los modelos altimétricos junto con el enmascaramiento de la vegetación (Hermosilla Gómez, 2011) o clasificaciones jerárquicas empleando árboles de decisión (Buján *et al.*, 2012; Dinis *et al.*, 2010).

En la estela de las recomendaciones hechas por Mayer (1999) y tomando como base el método de clasificación propuesto por Buján et al. (2013b), el presente estudio propone cubrir la carencia existente en control del cumplimiento de planes de ordenación, implementando una metodología basada en una clasificación orientada a objetos para identificar edificaciones. Ésta se llevará a cabo mediante la ejecución de un árbol de decisión obtenido de forma automática empleando el algoritmo J48 incluido en el paquete "RWeka" (Hornik *et al.*, 2009) y se ejecutará posteriormente en el software propietario Definiens Developer® (Definiens, 2007). Una vez identificadas las construcciones y tras un proceso de validación de resultados, se evaluará la situación de legalidad de las construcciones con base en los patrones de uso y ocupación del suelo identificados en la normativa vigente.

Los usos de estas innovaciones tecnológicas son enormes. Disponer de cartografía de zonas en las que la dinámica inmobiliaria sea elevada facilitará la actualización de las bases de datos. En esta línea, un producto próximo podrían ser series cartografías catastrales urbanas obtenidas empleando el sistema LIDAR (Light Detection And Ranging), u ortofotos de vuelos comisionados sean estos por plataformas aerotransportadas tripuladas (Aviones, helicópteros) o no tripuladas (Drones).

Materiales y métodos

Con estos antecedentes, en este trabajo se utilizó la tecnología y equipos disponibles para la captura, análisis, proceso y generación de resultados para la detección de ilegalidades urbanísticas. Los insumos empleados fueron los datos LIDAR³, con los cuales se generó el modelo digital del terreno y el modelo digital de elevaciones que asociados al catastro y por medio del uso de los sistemas de información geográfica se realizó la identificación de ilegalidades; construcciones en pendientes mayores al 30%, retiro por margen de protección de ríos, cauces y quebradas, esto en cuanto al uso del suelo. En cuanto a la ocupación del suelo; altura de edificaciones, retiro frontal, coeficiente de ocupación del suelo y lote mínimo. Dependiendo de la ilegalidad que se requiera detectar se plantearon metodologías específicas para cada caso. Las herramientas utilizadas para estos procesos son básicas dentro de los sistemas de información geográficas, como por ejemplo: La calculadora raster para generar las alturas de las edificaciones, Clip (Recorte) para cortar la información contenida en los objetos de catastro que representan las edificaciones, la herramienta buffer (Área de influencia) para determinar los retiros frontales, entre otras.

El área de estudio corresponde a la ciudad de Paute debido a la disponibilidad de insumos como datos LIDAR y determinaciones de ocupación de suelo emitidas desde el Departamento de Control Urbano.

Obtención de los Modelos Digitales de Terreno (MDT) y Superficie (MDS).

Para el presente proceso destinado a la obtención del Modelo Digital de Terreno (MDT⁴) y del Modelo Digital de Superficie (MDS⁵) en formato .ASC, se requiere como

³ Los datos LIDAR, fueron proporcionados por la Secretaria Nacional del Agua SENAGUA y corresponden a la información recopilada del Proyecto PUMA. Los datos empleados, fueron obtenidos por medio de sensores remotos (Lidar y fotografía aérea) en el mes de agosto del 2012.

⁴ Archivo ráster en donde es posible identificar la altura de los distintos elementos naturales o antrópicos que conforman la totalidad de la superficie terrestre tales como ríos, valles, montañas, edificios, anuncios publicitarios, etc

⁵ Archivo ráster donde cada pixel proporciona información sobre la altura a la que se encuentra única y exclusivamente la superficie natural del planeta, sin tomar en cuenta elementos

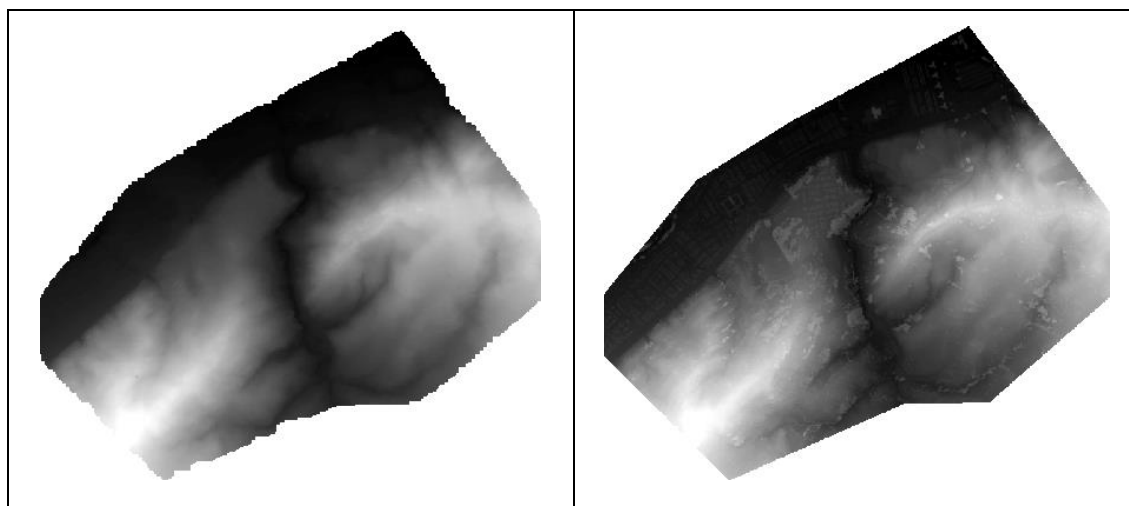
insumo inicial la nube de puntos generada desde el tratamiento fotogramétrico de las fotografías aéreas tomadas desde un UAV (*Unmanned Aerial Vehicle*). Dicha información es presentada comúnmente con el formato .LAS.

Por otro lado, para el procesamiento de la nube de puntos se ha empleado el software opensource FUSION en la versión 3.50 (Oct 2015). Dicho software contiene una serie de comandos ejecutables desde la consola de comandos cmd o *Command prompt*. Para el presente proceso usó tres de ellos: GroundFilter, GridSurfaceCreate, y DTM2ASCII. El primero fue aplicado con el fin de eliminar aquellos objetos que se levantan verticalmente por encima de la superficie natural del terreno. El segundo permite crear el Modelo Digital de Terreno pero en formato .DTM, el cual luego será transformado a .ASC con ayuda del tercer comando anteriormente mencionado.

Para el primer paso, es decir, el uso del comando GroundFilter es de suma importancia incorporar en la sintaxis dos principales parámetros de cuya configuración dependerá la representación del terreno natural: gparam.# y wparam.#. Ambos deberán ser ejecutados iterativamente con distintos valores hasta alcanzar un nivel adecuado de “limpieza” de la superficie.

En la figura 3 se observan los archivos raster con la extensión .ASC cargados en ArcMap. A la izquierda se halla el MDS representado por una superficie continua y en la derecha es evidente la existencia de construcciones, información que caracteriza al MDT.

Fig. N°1. Modelos digitales; Modelo Digital de Superficie y Modelo Digital de Terreno.



Fuente: Grupo de investigación, 2016.

Verificación y validación de información.

naturales o antrópicos que se levanten verticalmente sobre ella tales como árboles o cualquier tipo de construcción, postes de iluminación o señalización, etc.

Con los datos obtenidos y el deslinde predial, mediante el uso de los sistemas de información geográfica se identificó los siguientes tipos incumplimientos en relación a las determinaciones de uso y ocupación de suelo: construcciones en pendientes mayores al 30%, construcciones en márgenes de protección de ríos y quebradas, altura de edificaciones, retiro frontal, coeficiente de ocupación del suelo y lote mínimo. Una vez determinadas las infracciones, se realizó la verificación de los resultados en campo, a través de fichas de registro de información y mapas con las entidades geográficas identificadas como infractora de una o más determinaciones urbanas.

En la Fig N°2 se contrasta el número de infracciones identificadas a través de los procesos descritos, con las evidenciadas en campo, existiendo una importante diferencia en el incumplimiento (altura)

Fig. N°2. Número de incumplimientos, según tipo.

TIPO INCUMPLIMIENTO	Número de Incumplimientos	
	Identificación con software	Verificación en campo
Pendientes > 30%	173	172
Márgenes de Protección	169	168
Altura	165	62
Lote mínimo	468	464
COS	139	132

Fuente: Grupo de investigación, 2017.

Incumplimiento de las determinaciones de uso y ocupación de suelo en la ciudad de Paute.

El Cantón Paute está ubicado al noreste de la Provincia del Azuay y fue creado el 26 de febrero de 1860, a partir del año 1992 se divide territorialmente dando lugar a la creación de nuevos cantones como El Pan, Sevilla de Oro y Guachapala. Paute ocupa una superficie de 269,91 km², que representa el 3,24% del territorio de la Provincia del Azuay y está conformado por ocho parroquias: Paute, Guarainag, Tomebamba, Dug Dug, Bulan (José Victor Izquierdo), Chicán (Guillermo Ortega), San Cristóbal (Carlos Ordoñez Lazo) y El Cabo, cabe anotar que el área urbana tiene una superficie aproximada de 521 ha.

De acuerdo al Censo de Población y Vivienda 2010 (INEC, 2010), la población cantonal alcanza los 25.494 habitantes de los cuales el 28,34% corresponde al área urbana y el 71,66% al área rural.

En cuanto a la normativa de uso y ocupación del suelo, en el Registro Oficial N°308 de 1982 se publica la Ordenanza que sanciona el “Plan Director de Desarrollo Urbano de Paute”, el cual fue elaborado por la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad de Cuenca. En dicho instrumento se divide a la ciudad en las siguientes zonas; Z1 residencial comercial; Z2 residencial; Z3 Zona educativa; Z4 de ocupación futura; Z5, Z6a, Z6b, Z7, Z8 y Z9 cinturón periférico. Las determinaciones asignadas corresponden a las características urbanas y de crecimiento de aquellas décadas, como por ejemplo; altura máxima de 3 pisos únicamente en la Zona 1 y el resto del territorio hasta 2 piso; en cuanto a lote mínimo hasta 180m² en el área residencial.

Hasta la fecha no existe la actualización del Plan Director de Desarrollo Urbano o una normativa sancionada por el Concejo Municipal en cuanto a las determinaciones de uso y ocupación de suelo, no obstante, se puede obtener permisos de construcción o fraccionamiento en control urbano, mediante determinaciones de uso y ocupación de suelo emitidas desde el Departamento de Control Urbano, las cuales fueron proporcionadas para el análisis del presente estudio.

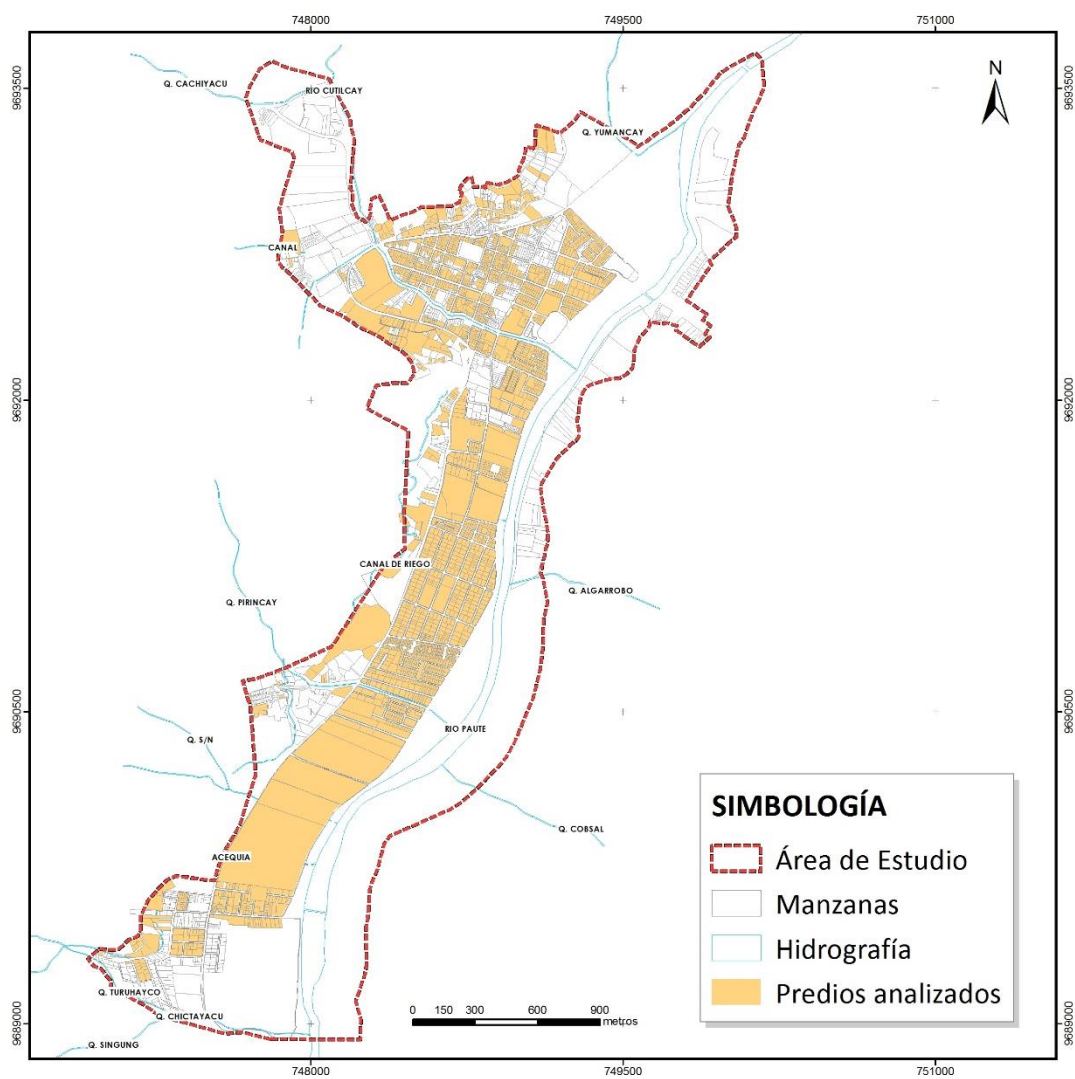
Cabe anotar que Paute en el año 2015 realizó la Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del cantón Paute, vigente hasta la fecha y que la normativa relacionada al territorio no incluye determinaciones de uso y ocupación del suelo en el territorio urbano.

Análisis de incumplimientos de indicadores urbanos normativos.

Los indicadores urbanos normativos evaluados en la ciudad de Paute (Fig. N°3) fueron: altura de la edificación, lote mínimo, COS, edificaciones en pendientes mayores al 30%, edificaciones en márgenes de protección de ríos y quebradas.

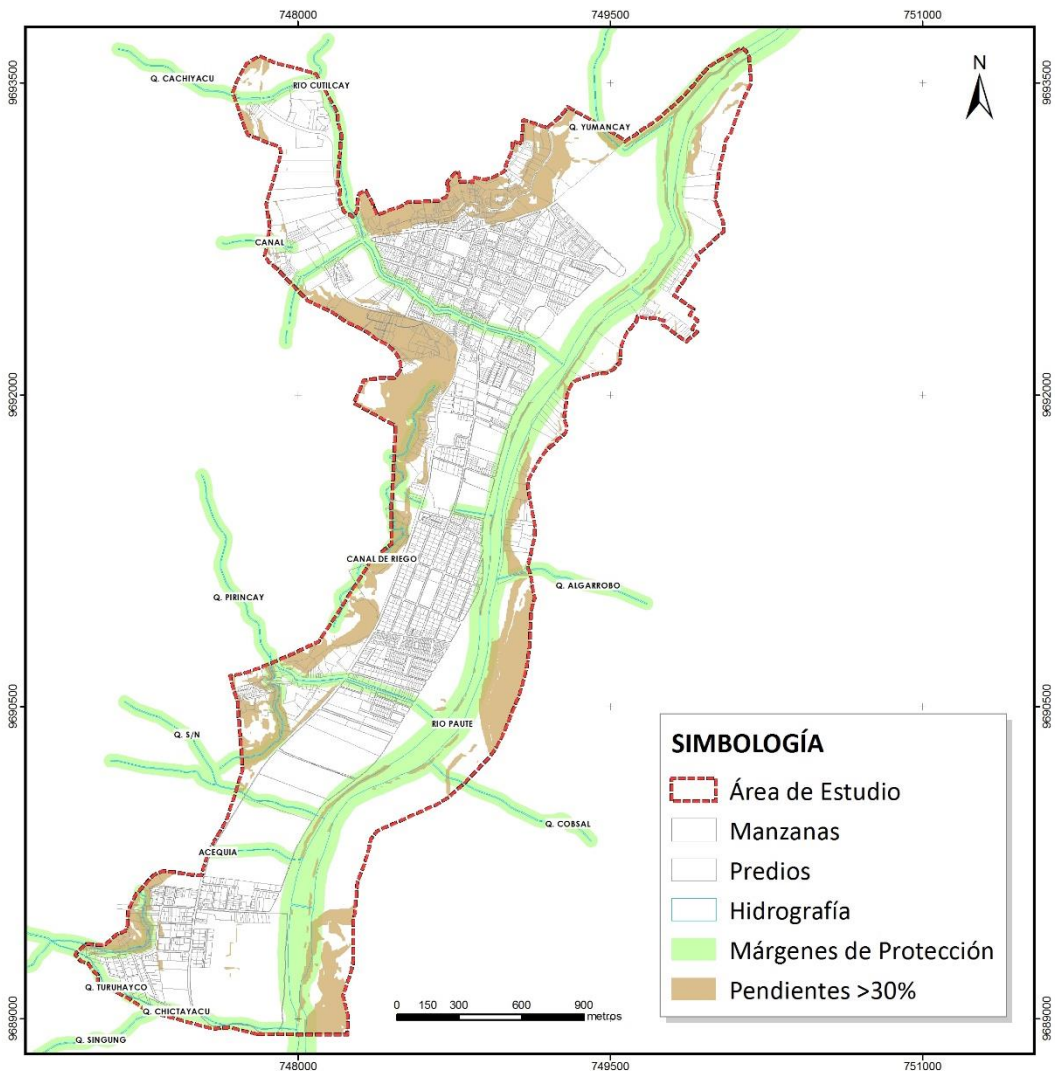
En relación a la determinación del suelo no urbanizable, por márgenes de protección de ríos y quebradas, se consideró la Norma para el Manejo Sustentable de los Bosques Andinos del Ministerio del Ambiente, correspondiendo en el área de estudio al 26,2% y aunque no existe una normativa nacional establecida para suelos no aptos para la urbanización por pendientes, a nivel local se consideran aquellas mayores al 30%, en el área de estudio se identificó el 18,07% de suelo no urbanizable por pendientes. Ver Fig. N°4.

Fig. N° 3. Ciudad de Paute: Área de estudio.



Fuente: Grupo de investigación, 2017.

Fig. N°4. Ciudad de Paute: Zonas no urbanizables



Fuente: Grupo de investigación, 2017.

Con estos antecedentes, se identificó un total de 845 predios (26,7%) que no cumplen las determinaciones de uso y ocupación de suelo de un total de 3162, existiendo predios que incumplan más de un indicador. Ver Fig. N°5 y 6.

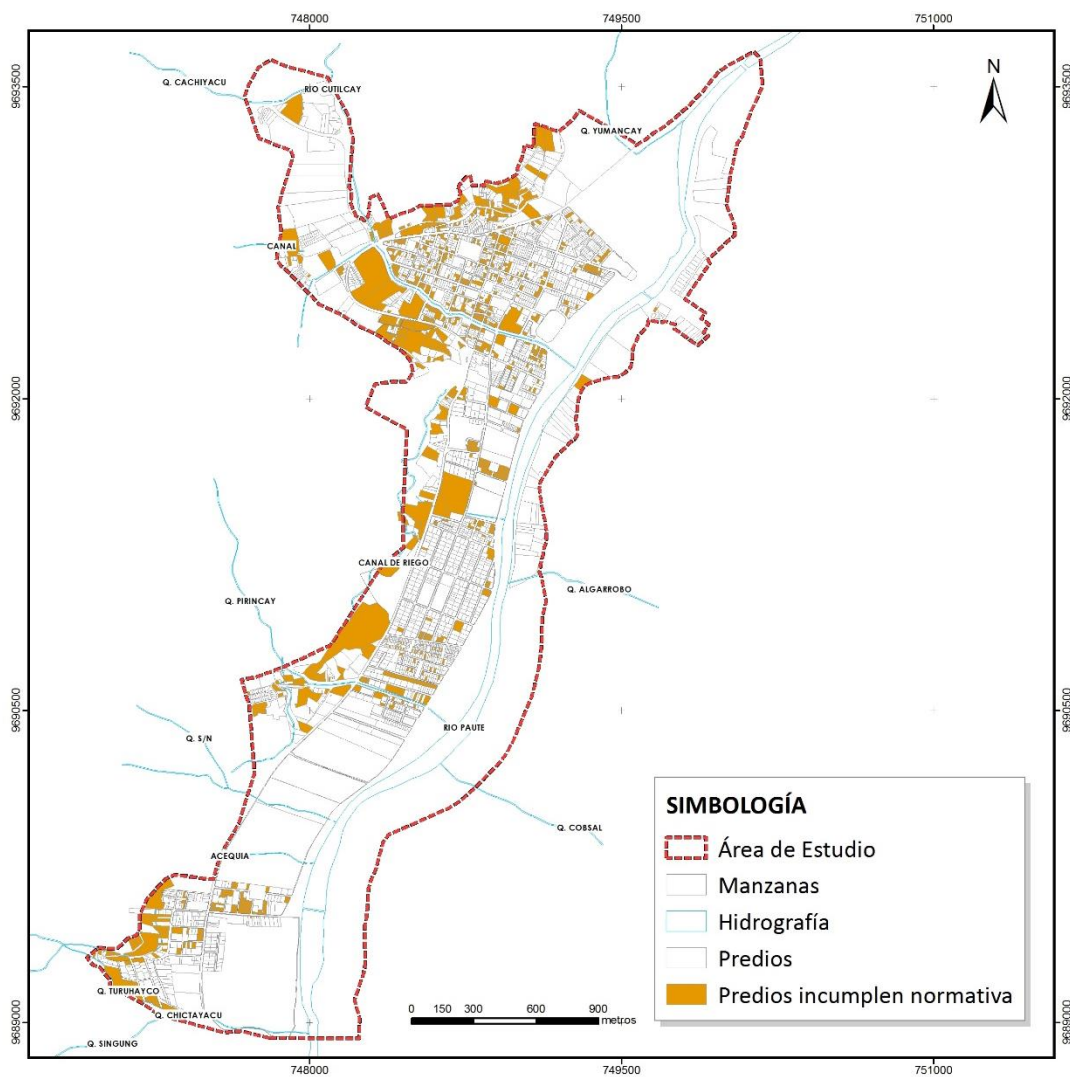
Fig. N°5 Predios, según número de incumplimientos.

N° INCUMPLIMIENTOS	N° PREDIOS	%
0	2317	73,27
1	705	22,30
2	128	4,05

3	12	0,38
TOTAL	3162	100,00

Fuente: Grupo de investigación, 2017.

Fig. N° 6 Ciudad de Paute: Predios que incumplen las determinaciones de uso y ocupación del suelo.



En relación al número de incumplimientos (998), la infracción del lote mínimo es el que más casos presenta (46,49%), dando cuenta de un intenso fraccionamiento del mismo. Es importante destacar que el 34,06% de incumplimientos está relacionado con la ocupación del suelo no urbanizable por pendientes mayores al 30%, y márgenes de protección de ríos y quebradas, emplazándose edificaciones en zonas vulnerables o de riesgo por posibles deslizamientos e inundaciones. Cabe anotar que la ocupación con edificaciones conlleva la dotación de servicios básicos, infraestructura vial,

equipamiento, entre otros, incrementando los posibles riesgos en suelos con fuertes pendientes.

Fig. N°7. Número de incumplimientos, según tipo.

TIPO INCUMPLIMIENTO	N° INCUMPLIMIENTOS	%
Pendientes > 30%	172	17,23
Márgenes de Protección	168	16,83
Altura	62	6,21
Lote mínimo	464	46,49
COS	132	13,23
TOTAL	998	100

Fuente: Grupo de investigación, 2017.

En relación a la altura, se identificó 62 edificaciones que pasan la altura permitida, 55 edificaciones hasta dos metros adicionales y 7 edificaciones hasta 5 metros.

Fig. N°8. Edificaciones según incumplimiento por altura.

ALTURA		
RANGOS* (m)	EDIFICACIONES	
	N°	%
0	3100	98,07
0-2	55	1,70
2-5	7	0,22
TOTAL	3162	100,00

* metros en los que excede la altura.

Fuente y Elaboración: Grupo de investigación.

A manera de conclusiones y recomendaciones

La aplicación de geoprocесamientos contribuye a identificar diferentes incumplimientos a las determinaciones de uso y ocupación sin embargo hay factores que impiden resultados más favorables. En beneficio de una mayor precisión se recomienda para trabajos futuros:

- Para el análisis de los incumplimientos es necesario contar con datos adicionales sobre las edificaciones y predios como por ejemplo el año de construcción, es decir al menos un atributo de antigüedad mediante el cual se restrinja el reconocimiento de infracciones, para determinar aquellas edificaciones que fueron construidas previamente al establecimiento de la norma de ordenación.
- En la identificación de márgenes de protección de ríos y quebradas, definir un buffer dinámico que permita delimitar distancias según ciertos atributos (i.e. margen por tipo de camino, red hídrica).
- Particularmente para la identificación de incumplimientos en relación a la altura de la edificación, en la cual se presenta mayor diferencia entre los datos obtenidos en oficina y campo, se recomienda:

En la identificación de incumplimientos de alturas, ampliar el rango de tolerancia dado en el álgebra de mapas por motivo de la precisión de los modelos digitales. Para el presente proyecto, dicho margen de tolerancia se estableció en 0.5 metros:

$$\text{Infracción por altura} = (\text{Altura total de edificación} - \text{Altura permitida en el sector de planeamiento}) - \text{rango de tolerancia (0.5)}$$

Incrementar el área de las entidades poligonales mínimas que no serán consideradas como infracciones. En la metodología del presente trabajo no se consideraron como infracciones aquellos polígonos cuya área sea menor a 1m².

Identificación previa de los equipamientos cuyo requerimiento estructural exige alturas mayores que el sistema puede reconocer como infracción (coliseos, estaciones de telecomunicación, campanarios de iglesias).

Definir un área de amortiguamiento para las zonas forestales y/o de vegetación alta, para excluir las edificaciones que se encuentren dentro de dicha área.

- El análisis de ilegalidades urbanas, a través de sistemas de información geográfico y teledetección, agiliza una de las tareas que se realiza en los Departamentos de Control Urbano, siempre que se disponga de cartografía y catastro actualizado.

En relación al incumplimiento de las normas de uso y ocupación del suelo

- La presencia de incumplimientos de las determinaciones, da cuenta de los problemas que afronta el GAD Municipal para el ejercicio de la competencia constitucional “ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón”.
- Entre otros factores, el incumplimiento de la norma puede ser entendida por la carencia de un instrumento de planificación actualizado acorde a la dinámica de la ciudad, al crecimiento de la misma, y la asignación de determinaciones de uso y ocupación del suelo al margen de un proceso de planificación.

Referencias bibliográficas

Azuela de la Cueva, A. (1993). Los asentamientos populares y el orden jurídico en la urbanización periférica de América Latina. *En Revista Mexicana de Sociología. Volumen 55, número 3*, pp. 133-68.

Buján, S., Corbelle-Rico, E. y Miranda, D. (2013a): "Clasificación de los usos del suelo en una zona rural con datos lidar multitemporales", en Crecente Maseda, R. y Fra Paleo, U. (Eds.): *Territorios a examen II. Interpretando los procesos de cambio*. Santiago de Compostela, Servicio de Publicacións e Intercambio Científico, Universidad de Santiago de Compostela, pp.61-84.

Buján, S., González-Ferreiro, E., Barreiro-Fernández, L., Santé, I., Corbelle, E. y Miranda, D. (2013b): "Classification of rural landscapes from low-density lidar data: is it theoretically possible?", *International Journal of Remote Sensing*, 34, 16, pp. 5666-5689.

Buján, S., González-Ferreiro, E., Reyes-Bueno, F., Barreiro-Fernández, L., Crecente, R. y Miranda, D. (2012): "Land use classification from lidar data and ortho-images in a rural area", *The Photogrammetric Record*, 27, 140, pp. 401-422.

Canestraro, M. L. (2013). Ilegales, Irregulares, Informales...?: Aportes para un debate sobre el acceso al suelo. *En Nómadas Revista Crítica de Ciencias Sociales y Jurídicas. Número especial*.

Chen, Y., Su, W., Li, J. y Sun, Z. (2009): "Hierarchical object oriented classification using very high resolution imagery and lidar data over urban areas", *Advances in Space Research*, 43, 7, pp. 1101-1110.

Cleve, C., Kelly, M., Kearns, F. y Moritz, M. (2008): "Classification of the wildland-urban interface: a comparison of pixel-and object-based classifications using high-resolution aerial photography", *Computers, Environment and Urban Systems*, 32, 4, pp. 317-326.

Clichevsky, N. (2010). *Informalidad y segregación urbana en América Latina. Una aproximación*. Santiago de Chile: CEPAL.

Definiens. (2007): *Definiens Developer 7. Reference book*. (Versión 7.0.2.936). München, Definiens AG.

Der Wal, T., Abma, B., Viguria, A., Prévinaire, E., Zarco-Tejada, P. J., Serruys, P., ... van der Voet, P. (2013). Fieldcopter: unmanned aerial systems for crop monitoring services. In *Precision agriculture'13* (pp. 169–175). Springer.

Dinis, J., Navarro, A., Soares, F., Santos, T., Freire, S., Fonseca, A., Afonso, N. y Tenedório, J. (2010): "Hierarchical object-based classification of dense urban areas by integrating high spatial resolution satellite images and lidar elevation data", en Addink, E. y Coillie, F. (Eds.): *Proceedings in International Conference GEOBIA 2010: Geographic Object-Based Image Analysis*. Ghent, CD-ROM, pp. unpaginated.

Duhau, E. (1995). Estado de derecho e irregularidad urbana. *En Revista Mexicana de Sociología*. Volumen 57, número 1, pp. 3-25.

Duhau, E. (2002). *Dimensiones socio-políticas de la irregularidad y la regularización de los asentamientos populares*. Lincoln Institute of Land Policy.

Galster, G., Johnson, J., & Hayes, C. (2005). Identifying robust, parsimonious neighborhood indicators. (U. o. Berkeley, Ed.) *Journal of Planning Education and Research*, 265-280.

Gonçalves, G., Seco, L., Reyes, F. y Miranda, D. (2008): "Land cover classification of rural areas using lidar data: a comparative study in the context of fire risk", en Hill, R., Rosette, J. y Suárez, J. (Eds.): *Proceedings of SilviLaser 2008: 8th international conference on LiDAR applications in forest assessment and inventory*. Edinburgh, versión digital, pp. 427-436.

Hermosilla Gómez, T. (2011): *Detección automática de edificios y clasificación de usos del suelo en entornos urbanos con imágenes de alta resolución y datos LiDAR*. Tesis doctoral. Valencia, España, Universitat Politècnica de València.

Hernández Aja, A. (mayo de 2009). Calidad de vida y medio ambiente urbano. Indicadores locales de sostenibilidad y calidad de vida urbana. (U. d. Chile, Ed.) *Revista INVI*, 24(65), 79-111.

Hornik, K., Zeileis, A., Hothorn, T. y Buchta, C. (2009): *RWeka: an R interface to Weka. R package version 0.3-15*.

Le Bris, A. y Boldo, D. (2008): "Extraction of land cover themes from aerial ortho-images in mountainous areas using external information", *The Photogrammetric Record*, 23, 124, pp. 387-404.

Lemmens, M. (2014). UAS for mapping: A product survey on systems and features.

Lin, H., Jing, H. y Zhang, L. (2008): "Fast reconstruction of three dimensional city model based on airborne LiDAR", *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, B1, pp. 453-457.

Lu, D., Hetrick, S., Moran, E. y Li, G. (2010): "Detection of urban expansion in an urban-rural landscape with multitemporal QuickBird images", *Journal of Applied Remote Sensing*, 4,1, pp.1-18.

Massiris, A. (1999). Ordenamiento territorial: Experiencias internacionales y desarrollos conceptuales y legales realizados en Colombia. *Perspectiva Geográfica, Nº 4, segundo semestre*, s/i.

Massiris, A. (2002). Ordenación del territorio en América Latina. *En Scripta Nova. Revista Electrónica de y Ciencias Sociales. Volumen VI, número 125*.

Mayer, H. (1999): "Automatic object extraction from aerial imagery - A survey focusing on buildings", *Computer Vision and Image Understanding*, 74, 2, pp. 138 - 149.

Myint, S., Gober, P., Brazel, A., Grossman-Clarke, S. y Weng, Q. (2011): "Per-pixel vs. object-based classification of urban land cover extraction using high spatial resolution imagery", *Remote Sensing of Environment*, 115, 5, pp. 1145 - 1161.

Parejo, L. (2012). La Ordenación Territorial y Urbanística y el Gobierno de la Ciudad en el Estado Territorialmente Descentralizado (Territorial and Urban Planning and the City Government in a Decentralized State). *En Revista Digital de Derecho Administrativo, número 7*, pp 63-68.

Pauta, F. (2013). *Ordenación Territorial y Urbanística: Un camino para su aplicación en el Ecuador*. Cuenca: Universidad de Cuenca.

Rottensteiner, F., Trinder, J., Clode, S. y Kubik, K. (2005): "Using the Dempster-Shafer method for the fusion of lidar data and multi-spectral images for building detection", *Information Fusion*, 6, 4, pp. 283-300.

Rueda, S. (2001). Modelos e indicadores para ciudades más sostenibles en Workshop: Indicadores de huella y calidad ambiental urbana. Barcelona: Fundación Forum Ambiental.

Sánchez, I. (2008). *Esquinas inteligentes. La ciudad y el urbanismo moderno*. Madrid: Alianza Editorial.

Schteingarar, M., & Imás, V. (1998). El futuro de los asentamientos humanos: la conferencia de Estambul y sus recomendaciones. *En Estudios demográficos y urbanos, Volumen 13, número 2*, pp. 463-475.

Stanton, K. (2000). *Cómo Elaborar un Plan Urbano por Administración Directa y con Participación Ciudadana*. Lima: Servicio Universitario Mundial del Canadá.

Chuquiguanga, González, Sellers | Identificación de ilegalidades urbanísticas con sistemas de información geográfica y teledetección

Stanton, K. (2000). *Cómo Elaborar un Plan Urbano por Administración Directa y con Participación Ciudadana*. Lima: Servicio Universitario Mundial del Canadá.

Tóvári, D. y Vögtle, T. (2004): "Classification methods for 3D objects in laser scanning data", *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 35, B3, pp. 1682 - 1750.

Yan, L., Gou, Z., & Duan, Y. (2009). A UAV remote sensing system: design and tests. *Geospatial Technology for Earth Observation*, 27–44.