

Afectación hidrológica en las cuencas urbanas andinas-caso Manizales - Caldas - Colombia

Hydrological involvement in Andean-case urban watersheds Manizales - Caldas - Colombia

Gustavo Adolfo Agredo - Cardona^{a*}, Santo Trinidad Álvarez - Ysabel^b

Recibido: enero 19 de 2014
Recibido con revisión: abril 29 de 2014
Aceptado: junio 10 de 2014

^{a*} Universidad Nacional de Colombia,
Sede Manizales.
Facultad de Ingeniería y Arquitectura,
campus el cable,
Avenida Lindsay # 23-1 a 23:-99,
Manizales, Caldas, Colombia,
Tel.: +(57) 8879300 ext. 51105,
gaagredoc@unal.edu.co

^b Universidad Politécnica de Cataluña.

RESUMEN

El siguiente artículo forma parte de la investigación doctoral titulada **La cuenca urbana como unidad territorial para la planificación del desarrollo sostenible en ciudades de media montaña del trópico andino**, cuyo planteamiento y propósito ha sido desarrollado en la Universidad Politécnica de Cataluña en Barcelona, y busca establecer una metodología basada en un nuevo concepto de ordenamiento del territorio en el cual defina su planificación por cuencas urbanas, como un proceso para afrontar los diferentes retos que presenta la media montaña andina, desde las actuaciones antropogénicas hasta los fenómenos naturales de un suelo geológicamente inestable en la zona de la Media Montaña Andina. El estudio se desarrolla en la Ciudad de Manizales, en el Departamento de Caldas (Colombia, Suramérica). Se ha realizado un análisis multitemporal basado en imágenes de aerofotografía y cartografía aplicado a la zona de estudio (1851 a 2012). Los autores tratan de establecer las relaciones existentes entre el proceso de urbanización, la pérdida de cobertura vegetal y la disminución de la estructura hídrica, tomando en cuenta el contexto de la sostenibilidad humana como reto para enfrentar los desafíos que presentan las ciudades intermedias andinas.

PALABRAS CLAVES

Cuencas urbanas; ciudades intermedias; territorio; planificación; trópico andino; sostenibilidad; patrimonio hídrico; hidrología.

ABSTRACT

The following article take part in a PhD Dissertation entitled **urban watershed as unit territorial planning guide for sustainable development in the tropical middle andean mountain**. The methodology have been developed at the Catalonia Technical University of Barcelona, whose scope try to establish the urban watershed as unit territorial concepts in the cities urbanization and land use planning-guide, focused in the anthropogenic activities and the unstable natural geological phenomena in the Middle Andean Mountain. The study took place in the Manizales City, a Municipality (County-land) belonging to Caldas Department (Columbian, South-America). Aero-photographic images and cartographic mapping were used for the multi-temporal analysis (from 1851 to 2012). Authors try to establish the relationships between the land use in the urbanization process, the vegetation losses and the water resources decreased, taking the human sustainability context as a task to learn and cope with theses challenger in the Middle Andean Cities.

KEYWORDS

Urban watershed; intermediate cities; territory planning; tropic andino; sustainability; water heritage; hydrology.

Energética 43, junio (2014), pp. 45-57

ISSN 0120-9833 (impreso)
ISSN 2357 - 612X (en línea)
www.revistas.unal.edu.co/energetica
© Derechos Patrimoniales
Universidad Nacional de Colombia



1. INTRODUCCIÓN

Recientemente del 13 al 16 de enero de este año se celebró en Zaragoza, España, la conferencia anual de ONU-Agua titulada “Alianza para mejorar el acceso, la eficiencia y sostenibilidad del agua y la energía” con el objetivo principal de preparar el Día Mundial del Agua 2014, que tendrá lugar el 22 de marzo del presente año. Mediante este programa el Organismo elabora una serie de notas informativas, siendo una de ellas la titulada “Garantizar el acceso al agua y la energía”, en la que exponía la presión sobre los recursos naturales y los problemas de escasez que conlleva el progreso material haciendo que más tarde o temprano, los países descubran la necesidad de cambiar el modo en que gestionan sus recursos y empiecen a valorar los beneficios de la conservación de los ecosistemas hídricos así como los valiosos servicios que estos producen para las personas, la economía y los ecosistemas de los que dependen los dos primeros del tercero. Argumentaron que el agua y la energía son indispensables para mejorar las condiciones de salud y de educación, garantizar la seguridad alimentaria y para la construcción de infraestructuras [UN-Water Annual International Conference Zaragoza, 2014].

Cerca de 2,5 mil millones de personas tienen poco o ningún acceso confiable al agua y la electricidad. Por tendencia general, es probable que aumenten el consumo de la energía y electricidad en los próximos 25 años en todas las regiones del mundo, con mayor incidencia en los países no pertenecientes a la OCDE. En 2035, el consumo de energía aumentará en un 35%, lo que incrementará el consumo del agua en un 85%. La energía hidroeléctrica suministrará alrededor del 20% de la electricidad mundial, proporción que se ha mantenido estable desde la década de los 90's. Los requerimientos de energía para el bombeo de las aguas superficiales son, por lo general, un 30% más bajo que para el bombeo subterráneo, esperándose que esta última actividad sea cada vez más intensiva en su uso a medida que las capas freáticas desciendan en varias regiones del mundo. A nivel global, el agua de riego destinada a la producción de biocombustibles se estima en 44 km³, o el 2% de toda el agua de riego, lo que precisa de un promedio de alrededor de 2,500 litros de agua (unos 820 litros de agua de riego) para producir 1 litro de biocombustible líquido (la misma cantidad que se necesita en promedio para la producción de alimentos para una persona en un día) [World Bank, 2012 & 2013 & 2014].

Todos los organismos en general, y en particular los seres humanos, necesitan degradar energía y utilizar materiales para mantener la vida y la de los sistemas que los soportan, por lo que se pasa por ir articulando esta degradación energética y la transformación de los materiales sobre el único flujo energético renovable que se recibe, el procedente del Sol y sus derivados, por lo que se mantiene un reciclaje completo de los ciclos

materiales [Rueda, 1999; Tobasura, 2008]. Sin embargo, la explosión industrial y demográfica actual requiere altas concentraciones de energía por parte del hombre y sus maquinarias que contrastan de forma amplia y diluida con los campos de energía luminosa procedente del sol. Esta explosión industrial y demográfica fruto de la aceleración de consumo de combustibles fósiles, teniendo lugar a más en las áreas urbanas, demanda una gran concentración de energía por unidad de superficie comparativamente a un campo de cultivo o un ecosistema natural. Las magnitudes correspondientes a estos nuevos flujos de potencia han empezado a tener suficiente envergadura para alterar los contrapesos y equilibrios del sistema en cualquier lugar donde se encuentren [Rueda, 1999].

Una de las mayores dificultades del mundo actual es el acceso al agua. El agua y la energía están intrínsecamente conectadas. Pero esta no se limita a su abastecimiento o captación, sino que su potabilización y suministro la convierten en un sistema dependiente de energía, por lo que a su vez, puede generar un problema o deficiencia energética. Esta situación es el resultado de acciones antrópicas y del desarrollo tecnológico asociado a los procesos de urbanización que van deteriorando los ecosistemas [Rueda, 1999; Tobasura, 2008; WWAP, 2009; World Bank, 2013 & 2014].

La relación directa entre la pérdida de la cobertura vegetal y la disminución de las fuentes de hídricas se presenta en el siguiente ejemplo como un estudio de caso en la Ciudad Intermedia del Trópico Andino, Manizales (Caldas-Colombia). El análisis multitemporal de la cartografía existente más los procesos de Sistema de Información Geográfica (SIG) realizado en la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España) dan a conocer cómo la disminución de las fuentes de agua en las cuencas urbanas es un proceso de deterioro de la estructura verde resultado de la actividad humana y la ocupación territorial paulatina cercana a las fuentes hídricas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El área de estudio es la ciudad de Manizales, según Censo del año 2005 concentraba cerca del 40% de la población del Departamento de Caldas. La cifra de sus habitantes ascendía a 382,182 en un área de 439.36 km² o 43,936 ha [DANE, 2005]. Se trata de una población que demanda el aprovisionamiento de recursos que se producen en su entorno rural (dependencia de los seres humanos a la naturaleza), tales como alimentos, agua, energía, vestido, producción de oxígeno, materias primas para la construcción, espacios para la disposición de residuos sólidos y líquidos, entre otros [DANE, 2005; Tobasura, 2008].

Al hablarse de la ciudad, se considera para su análisis los elementos urbanos y las estructuras que la conforman, como sus edificaciones, áreas verdes, fuentes hídricas y las infraestructuras viales que la conectan. Por lo tanto, es común agrupar los componentes naturales como verdes, vegetal, forestal, boscosa o selvática, etc., en una palabra que se le denomina como “Estructura Arbolada” o “Estructura Verde”. Estructura Hídrica es la que agrupa elementos del agua, como ríos y acuíferos. La Estructura Construida se

refiere a todo lo urbanístico o edificado, mientras que la Estructura Circulatoria conforma la infraestructura de movilidad [Boada & Toledo, 2003]. Con base en lo anterior se emplean aerofotografías y cartografía de la ciudad de Manizales, que mediante procesos de SIG (Sistema de Información Geográfica) se estudia en las cuencas urbanas de Manizales, la transformación de la estructura verde en espacio-multitemporal y su impacto en la pérdida de la estructura hídrica.

3. ANÁLISIS ESPACIAL COMPARATIVO ENTRE “LA ESTRUCTURA VERDE” Y “LA ESTRUCTURA CONSTRUIDA” PARA DEFINICIÓN DE PÉRDIDA HÍDRICA.

Como una cuenca hidrográfica presenta múltiples variables, para el proceso de modelado que tienen las cuencas en el área de estudio (Manizales en la media montaña del trópico andino) se han analizado las características más relevantes para estudio de caso a fin de determinar su dinamismo a través del tiempo, considerándose:

El área de la cuenca.

El área de las zonas construidas.

La longitud actual de los drenajes.

Para la última característica (longitud de los drenajes) se han tomado los datos obtenidos de registros disponibles hasta 2012, precisamente por no encontrarse los registros históricos de los drenajes.

A continuación se presenta una nueva cartografía, basada en aerofotografías de foto-control del Instituto geográfico Agustín Codazzi de Colombia (IGAC), con las coordenadas geográficas o respectivos puntos seleccionados para la obtención de mapas, los cuales se digitalizaron para la restitución de imagen para un mejor detalle cartográfico. Actualizada la cartografía, se procede al análisis a través de programas informáticos (SIG) con manejo de imágenes vectoriales, permitiendo la actualización de los mapas antiguos y las aerofotografías de la época.

Posteriormente, las imágenes son llevadas a una aproximación de la realidad en diferentes épocas, complementándose con los drenajes de las cuencas urbanas de la ciudad, obteniendo como resultado el inventario del sistema hídrico o natural para el año 2012. Todo este proceso ha tenido como base de información los presentes archivos del laboratorio de aerofotogrametría de la Universidad Nacional de Colombia (Sede Manizales). El contenido de imágenes fotográficas y de mapas cartográficos consta de un período en años que se enumera a continuación.

Según la investigación doctoral realizada en la UPC titulada “La Cuenca Urbana como Unidad Territorial para la Planificación del Desarrollo Sostenible en Ciudades de Media Montaña del Trópico Andino”,

se proponen quince (15) cuencas urbanas para el ordenamiento territorial de la ciudad de Manizales (Caldas, Colombia) de manera que esto permita definir los drenajes y su influencia respecto a la comparación que se realiza con la Estructura Verde. Este nuevo modelo de ordenamiento permite realizar la simulación multitemporal en cada cuenca propuesta.

Para la realización del presente análisis se tomaron los datos cartográficos cuantitativos (isolíneas) que incluyen información de coberturas verdes, e inclusive, precipitación y radiación solar, para los años de 1851, 1930, 1949, 1970, 1989 y 2012. Con los anteriores periodos de tiempo se procedió a cuantificar las variables combinándose y cumplimentándose con la información procedente de las aerofotografías desde el año 1949 y las informaciones derivadas de las estaciones meteorológicas del Instituto de Estudios Ambientales de la Universidad Nacional de Colombia con sede en Manizales (IDEA-UNAL). Una vez compilados o cargados los datos, se realiza la modelación espacial para el procesamiento de los mismos a través del software informático SIG. Completado este proceso se obtienen los resultados esperados en las temáticas siguientes:

La Estructura Verde.

La Estructura Hídrica.

La Estructura Construida

La información toponímica se ha conseguido ajustando la información con datos actualizados y con los diferentes periodos históricos, mediante lo siguiente:

Tabla 1. Estructura verde vs estructura construida año 1851, según cartografía.

Cuenca Año 1851	Estructura verde AREA (m2)	Estructura construida AREA (m2)
Qda El Bosque	1,816	
Qda El Tablazo	394,548	
Qda El triunfo	1,399,613	
Qda La Alcancia Chisperos	232,399	
Qda La Calera	514	
Qda La Francia	1,285,658	
Qda La Linda	44,396	
Qda Los Caracoles EL Águila	293,274	
Qda Manizales Río Chinchiná	12,326,601	
Qda Manzanares La Maruja	142,127	
Qda Menores	312,045	
Qda Minitas	3,780,897	
Qda Olivares	7,779,161	71,247
Qda San Luis	6,798,810	12,872
Río Chinchiná	108,812	
TOTAL	34,900,671	84,119

Fuente. Elaborado por los autores. Marzo de 2013.

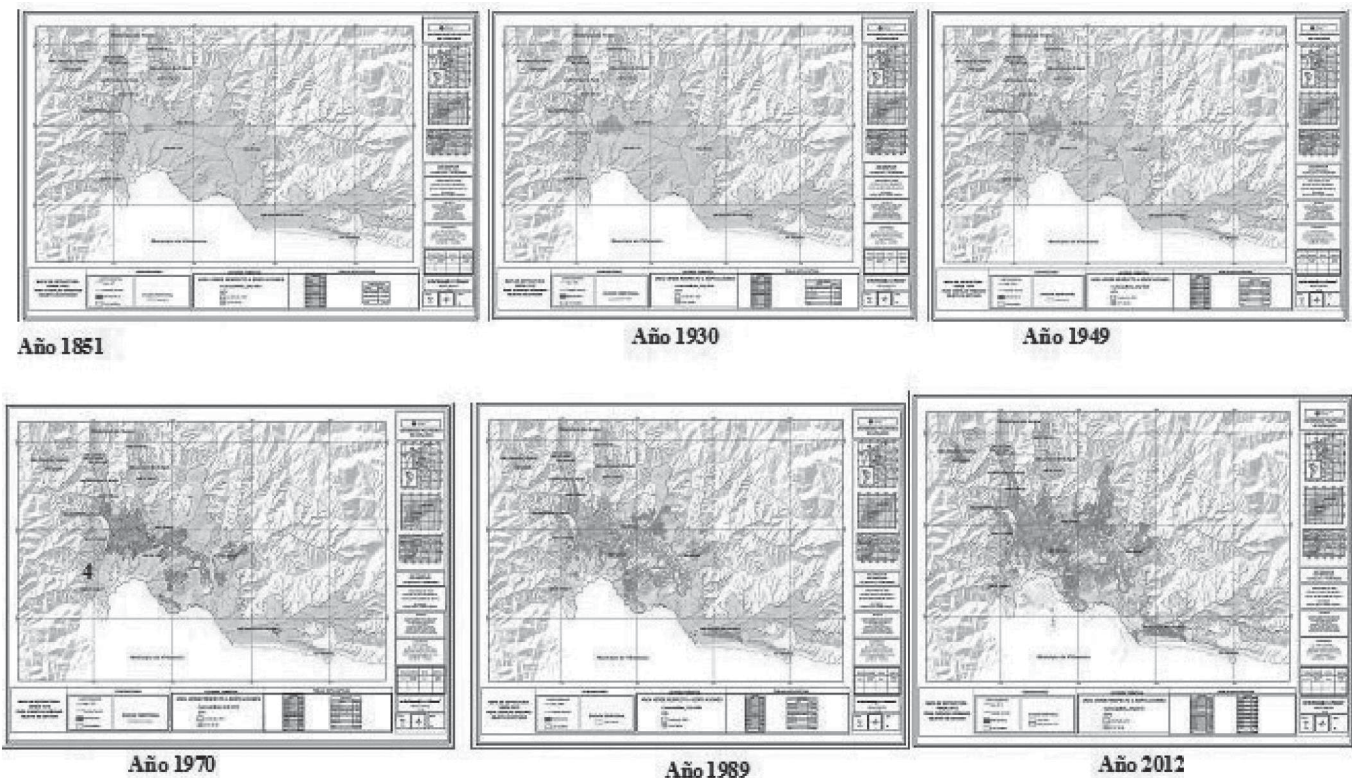
Nota: Qda es la abreviatura para Quebrada.

Tabla 2. Clasificación de Cuencas urbanas, considerando la cuenca del Río Cauca como de primer orden, se definen las cuencas urbanas y sus órdenes para la ciudad, con sus perímetros y porcentajes de áreas construidas y verdes de Manizales, ciudad intermedia en la montaña del trópico andino.

CUENCA	ORDEN	Perímetro	Área m2	% Construido	% verde
Qda El Bosque	Cuarto	4,504	872,074	0.00%	0.21%
Qda El Tablazo	Cuarto	10,800	4,320,414	0.00%	9.13%
Qda El triunfo	Quinto	15,146	4,425,389	0.00%	31.63%
Qda La Alcanfía Chisperos	Cuarto	12,468	7,231,594	0.00%	3.21%
Qda La Calera	Cuarto	6,846	2,046,480	0.00%	0.03%
Qda La Francia	Cuarto	16,194	8,117,524	0.00%	15.84%
Qda La Linda	Cuarto	8,794	2,075,690	0.00%	2.14%
Qda Los Caracoles	Cuarto	16,498	10,965,135	0.00%	2.67%
EL Águila					
Qda Manizales Río Chinchiná	Terceero	37,367	35,682,609	0.00%	34.55%
Qda Manzanares	Terceero	9,359	3,442,680	0.00%	4.13%
La Maruja					
Qda Menores	Cuarto	7,447	1,624,453	0.00%	19.21%
Qda Minitas	Quinto	26,817	22,484,888	0.00%	16.82%
Qda Olivares	Cuarto	21,079	13,784,223	0.52%	56.44%
Qda San Luis	Terceero	17,778	7,956,333	0.16%	85.45%
Río Chinchiná	Segundo	18,831	4,228,672	0.00%	2.57%

Fuente. Elaborado por Gustavo Adolfo Agredo Cardona, ampliado por Santo Trinidad Álvarez Ysabel. Agosto de 2013.

Figura 1. Cartografía sobre los diferentes periodos de la evolución de la ciudad de Manizales, la transformación urbanística y la pérdida de cobertura vegetal en la ciudad intermedia en la montaña del trópico andino.



Fuente. Elaborado en LA CUENCA URBANA COMO UNIDAD TERRITORIAL PARA LA PLANIFICACIÓN DEL DESARROLLO SOSTENIBLE EN CIUDADES DE MEDIA MONTAÑA DEL TRÓPICO ANDINO, Gustavo Adolfo Agredo Cardona. 2013.

- La cartografía antigua se reconstruye sucesiva y consecuentemente para crear nuevas imágenes, en procesos digitales de manera que se define la Estructura Verde y la Estructura Construida para cada época, actualizándose paulatinamente la información disponible a través del proceso de modelización generada.
- Aplicando la metodología antes descrita para la Tabla 1, se obtienen los porcentajes con respecto al área de la cuenca. Además, de acuerdo a la clasificación dada en esta investigación, se asumieron las cuencas con el orden propuesto y se incorporaron los datos de sus respectivos perímetros, teniendo los valores mostrados en la Tabla 2.

Al incorporar la cartografía actual de la ciudad de Manizales mediante el proceso de modelado digital, ayudó a que se incluyera el inventario de drenajes correspondientes a las cuencas objeto de estudio, definiendo de esta manera la longitud de los drenajes. De este proceso de modelado digital cartográfico realizado a cada cuenca de estudio se han obtenido los resultados que se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3. Según la clasificación propuesta para las cuencas urbanas de Manizales, ciudad intermedia, en la media montaña del trópico andino, se relaciona la longitud de sus drenajes.

DRENAJES ACTUALES	
CUENCA	LONGITUD (m)
Qda El Bosque	3,757
Qda El Tablazo	20,426
Qda El triunfo	15,841
Qda La Alcancía Chisperos	30,428
Qda La Calera	5,279
Qda La Francia	41,546
Qda La Linda	12,160
Qda Los Caracoles EL Águila	51,142
Qda Manizales Río Chinchiná	136,374
Qda Manzanares La Maruja	25,142
Qda Menores	5,329
Qda Minitas	92,800
Qda Olivares	45,304
Qda San Luis	18,043
Río Chinchiná	24,946
TOTAL	528,517

Fuente. Elaborado por Gustavo Adolfo Agredo Cardona, ampliado por Santo Trinidad Álvarez Ysabel. Agosto de 2013.

Dentro del mismo proceso de modelado el siguiente paso ha sido obtener la Densidad de Drenaje (Dd), el cual nos indica la relación entre la longitud total de los cursos de agua (efímeros, intermitentes o perennes) de una cuenca (Li) y el área total de la misma (A). Valores altos de densidad reflejan una cuenca que drena rápidamente y que responde muy prontamente al influjo de la precipitación; es decir, que las precipitaciones influirán inmediatamente sobre las descargas de las redes de drenajes o cursos hídricos de las cuencas hidrográficas [Landa, et al., 1987; Chow & Maidment, 1994].

De acuerdo con Chow, aludiendo a la fórmula planteada por Horton, se ha utilizado la expresión para con la Densidad de Drenaje (Dd) descrita más abajo:

$$Dd = Li / A \quad (1)$$

Dónde:

- Dd = Densidad de Drenaje, en km/km
- Li = Longitud total de los cursos de agua, en km
- A = Área de la cuenca, en km.

Algunos autores como [Monsalve, 1999], refieren que es usual que Dd tome los valores siguientes:

- Entre 0.5 km/km² para hoyas hidrográficas con drenaje pobre.
- Hasta 3.5 km/km² para hoyas excepcionalmente bien drenadas.

Tomando en cuenta los valores anteriores como base, las áreas verdes fueron afectadas gradualmente por las edificaciones, por una determinada nueva tecnología constructiva (hormigón o concreto), por lo que fue desapareciendo el tradicional bahareque y que repercutió en la ciudad en los incendios del año 1930. Como resultado de este proceso constructivo basado en el concreto, hubo implicaciones en el dinamismo, flujo y aportaciones de caudal de dichas cuencas en el medio urbano, al reducirse el área verde y que fue ocupada por las nuevas edificaciones basadas en este sistema constructivo.

Las áreas de las estructuras verdes se compararon con las aéreas construidas y posteriormente se relacionaron con la longitud del cauce. Para observar el comportamiento que mostrarían cada una de las cuencas urbanas en la referida zona de estudio, se ha procedido a la realización del cálculo con la expresión:

Las áreas de las estructuras verdes se compararon con las aéreas construidas y posteriormente se relacionaron con la longitud del cauce. Para observar el comportamiento que mostrarían cada una de las cuencas urbanas en la referida zona de estudio, se ha procedido a la realización del cálculo con la expresión:

$Dd: AV-AC / \sum Li$ (2)

Dónde:

- AV: Área Verde
- AC: Área Construida
- Li: Longitud de los cauces

Es de anotar que pueden existir múltiples factores que también juegan un papel importante en las transformaciones de la ciudad y sus características ambientales, tales como los usos de los suelos (producción de café y plátano por ejemplo), el tipo de suelo (material volcánico, arcilloso, arenoso), variabilidad de pendientes, rugosidad del cauce, intensidad de las precipitaciones, entre otros [Muñoz & Rodríguez, 2005; Chow, et al., 1994; Gómez, et al., 2009]. Sin embargo, el presente análisis resulta práctico para ilustrar sobre la fórmula anterior, cómo pueden ser estudiados casos similares que ponen en evidencias los cambios o incidencias del proceso urbanístico en la estructura hídrica a través las herramientas y la metodología empleadas.

Con tiempos de concentraciones cortos existe una mayor y marcada ocurrencia de tener avenidas o crecidas repentinas (crecidas relámpagos) [Aparicio, 2010; Gregory & Walling, 1973; Gómez et al., 2009], también aguaceros atípicos que incrementan los cauces que conforman las redes de drenajes de estas cuencas, eventos muy característico y frecuente en estas regiones (andes colombianos) o trópico andino [Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales., Colombia, Ministerio de Educación Nacional., 1936].

Considerar el efecto de la vegetación o de la Estructura verde resulta primordial a la hora de realizar estudios hidrológicos e hidráulicos en cuencas hidrográficas y más si en ellas existe un elevado nivel o porcentajes de áreas o superficies edificables (Estructura Construida), pues no tomarlas en cuenta limitaría la confiabilidad de estos estudios, pues cuanto mayor cobertura vegetal se disponga en la cuenca, menor será la respuesta hidrológica y, consecuentemente, los tiempos de concentración (T_c) y de rezago (T_r) también se harán mayores [Gómez et al., 2009; Poveda, et al., 2007; Vélez & Botero, 2007].

Es por ello que muchos autores la incluyen en sus ecuaciones para este cálculo aunque sea indirectamente, de manera que se refleje el efecto y sus resultados dentro de los valores que reflejan respuestas hidráulicas más rápidas, explicando la componente urbana (Estructura Construida) dentro de la componente o variables hidrológicas.

4. RESULTADOS

Se presentan los resultados obtenidos de las variaciones

temporales de la cartografía estudiada de manera que el proceso represente una alternativa o un medio donde puedan ser actualizados los datos de las ciudades en forma continua. Disponer de un banco de información que pueda definir los posibles escenarios futuros, puesto que por lo general los procesos ambientales son cíclicos, y al ser estudiados con su registro histórico se pueda trabajar sobre la conservación ambiental del territorio, sus componentes verdes e hidrológicos y un valor adicional que es la cultura de la prevención, en la gestión del riesgo. El análisis aplicado a todas las épocas referidas arrojó la siguiente información mostrada en la Tabla 4:

Al analizar los resultados de las cuencas entre los años 1851 hasta 1970 en la ciudad de Manizales, se observa que esta presentaba un desarrollo urbano que conservaba la proporción entre lo verde y lo construido, aproximándose al modelo ambiental equilibrado y una tendencia lineal y constante.

Pero después de la década de los 70's se observa un comportamiento con un ascenso drástico (tendencia logarítmica) como se representa en la Figura 2, con marcadas tendencias al cambio y donde se evidencia que la ciudad perdió el concepto de paralelismo en las densidades de drenajes. Un cambio entre Estructura Verde y Estructura Construida (Natural vs lo Urbanístico), alterando el comportamiento de las cuencas y cambiando el sistema circulatorio de las aguas superficiales de su entorno.

Tomando este estudio como referente pueden deducirse otros estudios para comprobar si dichos cambios influyeron en la inestabilidad de taludes para aquella época, algunos deslizamientos o movimientos de masa ocurridos durante los años 1970 y 1980 afectando barrios como Galán, Marmato en Manizales. De esta forma los resultados obtenidos pueden ser tomados como un "parámetro muestral o referencial", para definir la localización de los nuevos asentamientos urbanos que puedan ser construidos y evitar zonas con cierto potencial de riesgo [Ayala, 2006].

Una mirada más a fondo a la Gráfica 4 nos muestra que la ciudad cambió drásticamente las proporciones del crecimiento urbanístico, por lo que la planificación del municipio para el año 1970 debe ser cuestionado. Los resultados de los excedentes de la actividad comercial del café [Morales, 1987] que permitieron un aumento en la Estructura Construida, por lo que los valores Dd 's tienden a dispararse. Mientras que en marcado contraste respecto al resto de las cuencas urbanas antes señaladas, los valores de densidades de los drenajes las cuencas urbanas La Quebrada-El Bosque y La Quebrada-La Calera Figura 3 destacan muy notoriamente por presentar un comportamiento distinto: tendencias de Dd 's decrecientes (a la baja), siendo el período 1989 a 2012 un caso atípico.

5. DISCUSIÓN

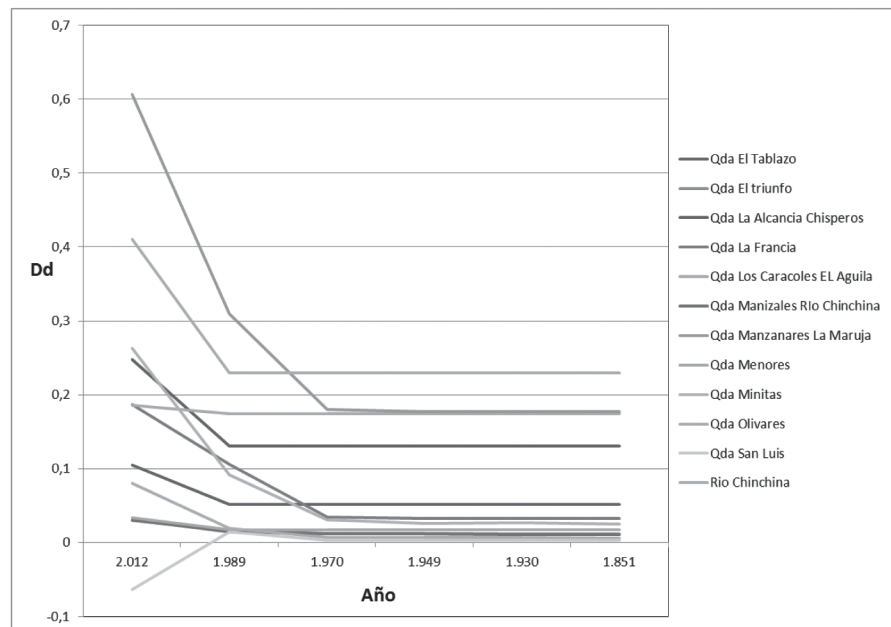
Las razones propicias que se dan para presentar este comportamiento atípico en torno a las densidades de drenajes en las cuencas urbanas con tendencia creciente de la estructura construida son las siguientes:

Tabla 4. Resultados obtenidos para la densidad de drenajes, partiendo de las variables de las estructuras verde, construida y longitud de cauces, para las cuencas urbanas de Manizales objeto de estudio.

CUENCA	AÑO					
	2,012	1,989	1,970	1,949	1,930	1,851
Qda El Bosque	0	2.06903721	2.06903721	2.06903721	2.06903721	2.06903721
Qda El Tablazo	0.10513316	0.05176985	0.05176985	0.05176985	0.05176985	0.05176985
Qda El triunfo	0.02982097	0.01759877	0.01284888	0.01226585	0.01131778	0.01131778
Qda La Alcancia Chisperos	0.24721664	0.13093071	0.13093071	0.13093071	0.13093071	0.13093071
Qda La Calera	0	10.2709847	10.2709847	10.2709847	10.2709847	10.2709847
Qda La Francia	0.18682812	0.10583361	0.03486773	0.03279908	0.03231533	0.03231533
Qda La Linda	5.46502541	0.27389138	0.27389138	0.27389138	0.27389138	0.27389138
Qda Los Caracoles EL Águila	0.18621863	0.17438225	0.17438225	0.17438225	0.17438225	0.17438225
Qda Manizales Río Chinchiná	0.03101308	0.01462563	0.01171862	0.01126247	0.01117244	0.01106337
Qda Manzanares La Maruja	0.60620157	0.30961422	0.17967272	0.17689534	0.17689534	0.17689534
Qda Menores	0.03353471	0.01707885	0.01707885	0.01707885	0.01707885	0.01707885
Qda Minitas	0.26306301	0.09195468	0.03026758	0.02566238	0.02685415	0.02454457
Qda Olivares	0.07975021	0.01963492	0.00701615	0.00669602	0.00652802	0.00587755
Qda San Luis	-0.06376503	0.01457912	0.00356815	0.00325293	0.00273894	0.00265888
Río Chinchiná	0.41056887	0.22925932	0.22925932	0.22925932	0.22925932	0.22925932

Fuente. Elaborado por Gustavo Adolfo Agredo Cardona, ampliado por Santo Trinidad Álvarez Ysabel. Agosto de 2013.

Figura 2. Densidades de los drenajes en las cuencas urbanas de Manizales, proceso comparativo según los años de la información cartográfica.



Fuente. Elaborado por Gustavo Adolfo Agredo Cardona, ampliado por Santo Trinidad Álvarez Ysabel. Agosto de 2013.

a) Qda El Bosque: La cantidad tanto unitaria como en porcentaje representativo, comparativo y proporcional respecto a ambas estructuras es considerablemente muy bajo y lejos de generar un impacto negativo se genera todo lo contrario: un impacto positivo, de muy bajas concentraciones en torno a los porcentajes (%) de

Estructura construida vs. Estructura verde.

b) Consecuentemente, se debe señalar en el caso de esta cuenca urbana que las distancias mínimas requeridas son respetadas. Las estructuras construidas aquí se apegan a la normativa vigente respecto a la separación

Figura 3. En las cuencas de las Quebradas el bosque y la calera, se observa una situación atípica.

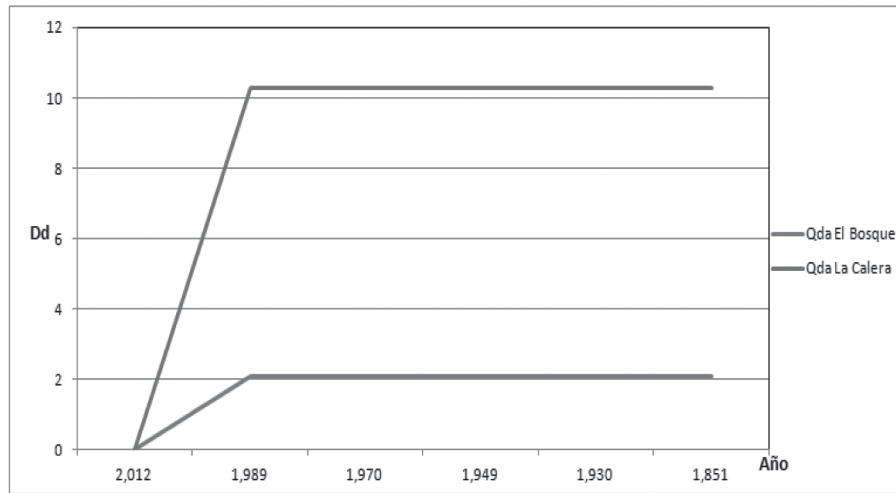
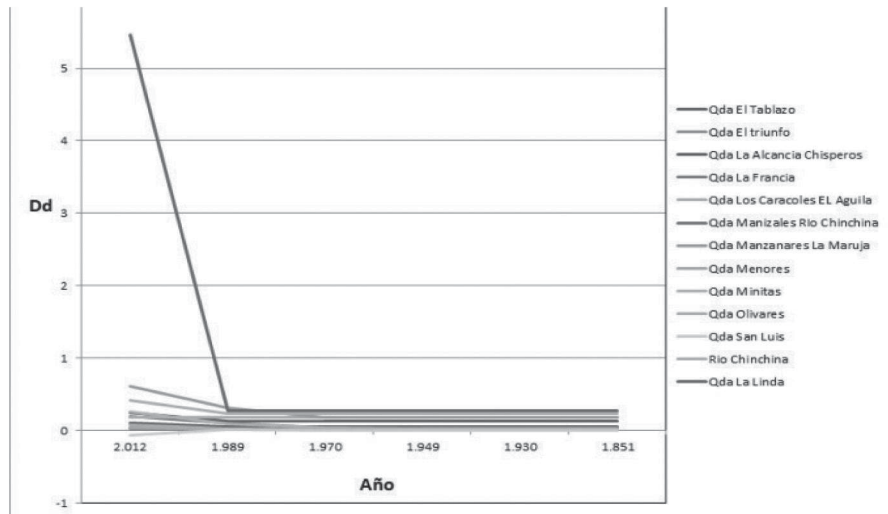


Figura 4. En las cuencas urbanas de Manizales, objeto de estudio, se observa que el comportamiento hídrico es paralelo desde 1851 y las variaciones drásticas surgen a partir del año 1989.



Fuente. Elaborado por Gustavo Adolfo Agredo Cardona, ampliado por Santo Trinidad Álvarez Ysabel. Agosto de 2013.

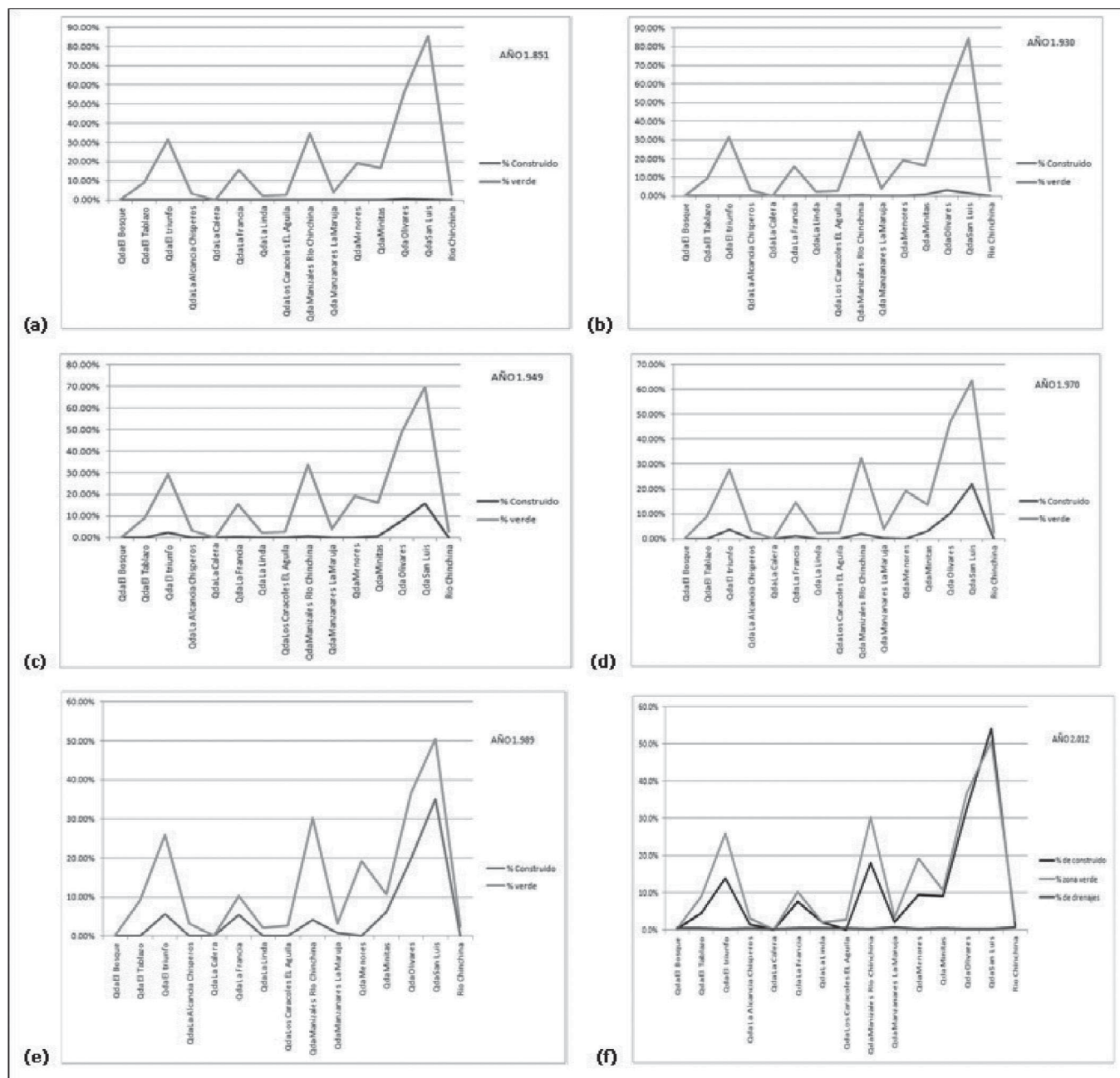
longitudinal de las distancias mínimas requeridas que deben cumplir las edificaciones respecto al curso hídrico [Rodríguez, et al., 2006].

c) Qda La Calera: Esta cuenca presenta valores inferiores (nulos o ceros) respecto a la Qda. El Bosque y con mayor acierto prima los puntos anteriores descritos en los apartados “a” y “b”. Realizado el análisis para estas cuencas y a manera de síntesis, las anomalías que presentan para el referido período se deben a la buena conservación de cobertura vegetal, su bajo grado de estructura construida y crecimiento poblacional, su bajo

grado de crecimiento urbanístico y su cumplimiento en acatar las distancias mínimas requeridas que deben cumplir las edificaciones respecto a los cursos hídricos dentro de lo establecido por la normativa vigente, como son la Ley 99 de 1993, el Decreto Ley 216 de 2003 y el Decreto 3266 de 2004, entre otros de la jurisprudencia colombiana.

El desarrollo urbano con ubicado hacia la zona oriental y según podemos constatar en la cartografía, infiere que el efecto sobre el sector La Linda es de baja influencia. La razón es que permanecen las características bioclimáticas que conservan la estructura hidrológica, las cuales guardan una relación con las características

Figura 5. (De izquierda a derecha y sentido de las manecillas del reloj): “Análisis de la estructura verde vs construido” para los años: (a) 1851; (b) 1930; (c) 1949; (d) 1970; (e) 1989; (f).



Fuente. Elaborado por Gustavo Adolfo Agredo Cardona, ampliado por Santo Trinidad Álvarez Ysabel. Agosto de 2013.

geomorfológicas al ejercer una restricción para el desarrollo urbanístico.

Se observa que es la única cuenca que posee la mayor densidad de drenaje dentro de todas las cuencas consideradas en este estudio, conservando para un Dd por valor de 5.5. Este hecho hace que sobresalga respecto al resto de las cuencas urbanas sometidas al modelado conservando valores Dd 's muy deseables para el período comprendido entre 1989 a 2012.

En la Figura 5 (desde (a) hasta (f)), se relaciona el comportamiento

de las áreas verdes vs áreas construidas para el periodo correspondiente a los años 1851 a 2012. Para el período 1851 Figura 5a se observa que el porcentaje de “la estructura construida” es relativamente muy baja para todas las cuencas urbanas objeto de análisis (valores inferiores al 1%) respecto a la “estructura verde”, cuyos porcentajes reflejan valores muy superiores al 15% para la mayoría de las cuencas y cuyos valores aumentan a los casi 90% para las cuencas de Olivares, San Luis y Chinchiná. El área de ocupación urbanística, está presente de forma casi imperceptible, tanto que la

estructura construida no refleja incidencias o efectos negativos sobre la estructura verde, lo que pone de manifiesto el escaso impacto sobre las fuentes hídricas y el equilibrio ambiental de la ciudad para aquella época.

Para el período correspondiente a 1930 Figura 5b se observan tanto para “la estructura construida” como “la estructura verde” valores porcentuales muy similares para las cuencas urbanas consideradas y con tendencias porcentuales muy bajas (valores inferiores al 1%) respecto a la “estructura verde” comparados con los valores porcentuales superiores al 15% para la mayoría de las cuencas.

Sólo se observa una ligera diferencia incremental respecto a la estructura construida en torno al 5% y cuyos valores porcentuales de la estructura verde se mantienen alrededor del 90% para las cuencas de Olivares, San Luis y Chinchiná. A los aproximadamente 80 años a partir del inicio de la serie de datos (1851-1930) tomados para este estudio puede apreciarse que ambas tendencias se mantienen. Se evidencia el impacto o cambio notorio en la cuenca Olivares de la estructura construida el cual coincide con la zona del inicio fundacional de la ciudad y que concentraba el mayor número de población y por ende, mayor número de estructura construida o edificadas Figura 5b.

Para el período correspondiente a 1949 Figura 5c y a tan solo 20 años después del período anterior se empiezan a notar cambios significativos en las tendencias estructurales tomadas en consideración para este estudio. Los cambios que se observan tanto para “la estructura construida” como “la estructura verde” son valores porcentuales con tendencias dispares u opuestas en estas cuencas urbanas. Es decir, que mientras la “estructura construida” tiende a incrementarse en torno a valores porcentuales de entre el 3% y 5% para las (desde el Bosque hasta Menores) la “estructura verde” conserva sus niveles porcentuales sin percibirse niveles decrecientes.

No obstante, no ocurre lo mismo para las cuencas urbanas desde Minitas hasta Chinchiná donde se aprecian niveles porcentuales de la estructura construida del orden del 15%, donde se presentan valores que se triplican con relación tanto al ritmo de crecimiento del resto de cuencas urbanas como al ritmo de crecimiento comprendido/hasta 1930. Es aquí donde, por igual, se evidencia la tendencia decreciente en términos porcentuales (cerca de 15%) respecto a la estructura verde. Esto significa que se ha producido una notable reducción de la estructura verde, la que incluye cobertura vegetal, tales como pastos y selva secundaria. Esto se presenta en las cuencas urbanas de Minitas hasta Chinchiná para un período correspondiente de solo 20 años.

Estas cuencas son las que llegan a tener más grado de afección hídrica. Tan solo 20 años después, 1970 Figura 5d la línea de tendencia de valores porcentuales se mantienen con igual ritmo, aunque evidenciándose más notablemente para ambas estructuras las líneas de tendencias crecientes y menguantes en torno al 22% (estructura construida) y 64% (estructura verde). Estos valores acentúan aun más la tendencia negativa en cuestiones hídricas que experimentan las cuencas urbanas más afectadas, con un notable impacto en la estructura construida (Cuencas Minitas, Olivares y San Luis).

Para el período comprendido entre 1971 a 1989 Figura 5e la estructura construida tiende a incrementarse en torno a valores porcentuales bajos (5%) para las cuencas urbanas (desde el Bosque hasta Menores) y con igual tendencia desacelerada para la “estructura verde” con pérdida de su cobertura vegetal pastos y bosque secundario en torno al 5%. Sin embargo, se tiene un marcado contraste para las cuencas urbanas de Minitas hasta Chinchiná donde logra alcanzar niveles porcentuales en torno al 35% de estructura construida (aumento de +13% durante 20 años) y una rápida disminución de la cobertura vegetal cuyos niveles porcentuales rondan el 50% (-15% para mismo período).

Para el caso de las cuencas de las quebradas la Francia, la Linda y la Calera a 1989 estas sufren un acelerado proceso de crecimiento urbanístico tan pronunciado con relación al período anterior (más de la mitad de su cobertura vegetal) tan drástico y parecido al crecimiento que experimentan las Qdas Minitas-Chinchiná que, de seguir la misma línea de tendencia, casi se igualarán tanto en las estructuras construida y la estructura verde Figura 5e. Esto significa que de entre todas las cuencas urbanas consideradas en este estudio estas son las que alcanzan mayores niveles de desequilibrio ambiental como puede inferirse en la comparativa de sus estructuras tanto construidas como verdes.

Para el último período comprendido entre 1989 a 2012 tomando por igual una serie de 20 años de data Figura 5f las tendencias respecto a valores porcentuales como estructuras consideradas ejercen marcado contrastes dispares, pues la estructura construida llega a alcanzar sus mayores valores porcentuales. Tanto es así que en su línea de tendencia acelerada e incremental casi llega a igualar a la estructura verde en las zonas más afectadas por la ausencia de cobertura vegetal. Son las cuencas correspondientes a las Qdas. Francia, La Linda y Calera, Minitas-Chinchiná las que presentan pocos puntos porcentuales respecto a la estructura verde (cerca del 2%). Las Estructuras construida y verde sufren una tendencia como si fuesen a traslaparse; como si el incremento de lo urbanístico estuviese absorbiendo las áreas verdes Figura 5f.

Aunque existen porcentajes menores en la línea de tendencia relativa para ambas estructuras para el resto de cuencas urbanas estos no dejan de ser significativos y, de seguir su trayectoria, alcanzará niveles parecidos a las cuencas más destacadas en esta consideración cuyos niveles de desequilibrio ponen en evidencia el marcado grado de afección que produce la estructura construida sobre la estructura verde provocando que esté sometida a un gran estrés hídrico tanto por la pérdida considerable de su cobertura

vegetal como sus altos niveles de Dd's.

El proceso de crecimiento urbanístico de las ciudades intermedias andinas y propiamente las ubicadas en la montaña tropical como es el caso de la ciudad de Manizales ha sido el resultado de un asentamiento paulatino que ha tomado los mejores suelos para cimentar la edificación [Maskey, 1998], trayendo en consecuencia una drástica disminución en los aportes de caudales de las fuentes hídricas superficiales (aguas naturales) provenientes de las partes altas de las cuencas hidrográficas de la región debido a la disminución de la estructura vegetal.

Esta disminución en la cobertura vegetal (selva primaria y secundaria) actualmente solo está disponible y puede ser localizada en las periferias de la ciudad. Por lo general, en las zonas de mayor pendiente y de menor posibilidad urbanizadora. Las fuentes hídricas que se originan como resultado del ciclo hidrológico y que tienen en la selva andina la mayor posibilidad de captura y retención del agua precipitable que envuelve a este ciclo, como son las lluvias, el rocío, las infiltraciones y evapotranspiraciones [Cárdenas, et. al, 2000], se han visto afectadas al romperse o desestabilizar el proceso natural con que este ciclo se mueve en estas regiones con sus consecuentes repercusiones y desequilibrios ambientales en los diferentes cursos y etapas del imparable ciclo hidrológico y sus redes circulantes.

Las gráficas derivadas de este análisis multitemporal presentan una mayor acción urbanística en las cuencas Minitas, Olivares, San Luis y río Chinchiná. El cambio más notorio se presenta en drásticamente en las cuencas urbanas cuando a partir en el año 1970 se lleva a cabo el Primer Plan de Desarrollo para la ciudad de Manizales [Universidad Nacional de Colombia, 1970], donde se muestra el incremento urbanismo de la ciudad reflejando la pérdida que la Estructura Verde, la desecación de algunas fuentes hídricas o corrientes de agua, dieron paso a las nuevas edificaciones [Hermelin, 2007].

EL análisis y modelización empleado en este estudio muestra cómo que es posible determinar líneas de tendencias para determinados períodos (análisis de serie multitemporal) relacionado a la comparativa del crecimiento entre “estructuras construidas” y “estructuras verdes” de las ciudades ubicadas en el trópico andino. Este proceso de modelado puede realizarse en otras áreas de las cuencas andinas en Latinoamérica. Bastará con emplear buenos insumos que reflejen las coberturas tanto boscosas como edificables a través de buenos juegos de imágenes y aerofotografías que apoyen el análisis cartográfico.

Con esto como base permitirá deducir y obtener valores apreciativos respecto al grado o niveles de desequilibrio ambiental o bien ecológico si así se planteara el análisis. Esto pudiera acontecer en regiones andinas, sobre todo en zonas tropicales de media montaña. Los resultados bien podrían arrojar datos que reflejen el grado de afección que produce la estructura construida sobre la estructura verde, así como el estrés hídrico en la que podrían estar sometidas o encontrarse estas ciudades. Si se toma en cuenta ciertas características de las cuencas existentes en la

región, tales como clima, pendientes, intensidades de precipitaciones, y la relación entre la vegetación y textura así como sus densidades de drenajes, se puede inferir que las Dd's afectan al tipo de escorrentía superficial que discurren en las cuencas urbanas.

El resultado es que a mayores niveles de densidad de drenaje, mayor será la escorrentía asociada a las cuencas. Presentarán a su vez un mayor tiempo de concentración o respuesta hidrológica de la cuenca por no disponer de un suelo provisto de cobertura vegetal suficientemente bueno como para infiltrar y retener el agua precipitable, aumentando las probabilidades de ocurrencia de eventos de erosividad, crecidas o inundaciones torrenciales [Horton, 1962]. Esto pone en evidencias la importancia que tiene disfrutar de una buena y bien distribuida “estructura verde” que ayude a amortiguar los efectos negativos y tan repentinos que causan las crecidas al atravesar áreas urbanas (“Estructura Construida”).

Los procesos de urbanización conllevan al desarrollo de infraestructura vial pero la misma afecta las concentraciones de drenaje generadas de lluvias, presentando menores grados de infiltración en el suelo por pérdida de Estructura Verde, especialmente cobertura vegetal como pastos y arbustos. Mientras que los depósitos de aguas residuales aumentan en la medida que la ciudad se expande urbanísticamente, proceso histórico que se evidencia en los datos de la cartografía y en los resultados de las variaciones de los drenajes naturales.

6. REFLEXIONES

La energía es consustancial al funcionamiento de los sistemas. El consumo de los sistemas urbanos depende de los modelos de movilidad, de las tipologías edificatorias, de la eficiencia de las tecnologías y del modelo de ciudad del cual dependen y, a su vez, de las modalidades de los servicios urbanos, tales como agua, residuos, redes, etc. El consumo de las ciudades y la densidad de las infraestructuras en el área o superficie donde estas descansan pueden afectar el equilibrio natural del calor, pues el generado por el uso de energía, incluyendo automóviles, combinado con el calor diurno atrapado por las estructuras urbanas y la liberación más lenta durante la noche del calor almacenado (efecto isla de calor) puede elevar las temperaturas en una ciudad de entre 5° a 10° C., pudiendo agravarse en temporadas calientes (verano). Las inversiones térmicas son comunes en las áreas urbanas, atrapando las emisiones industriales y los productos de la quema de combustibles y contribuyendo a la formación del nocivo smog fotoquímico [Tobasura, 2008].

Mientras que ONU-Agua indica que los nexos entre el acceso al agua y la energía responden a los mismos

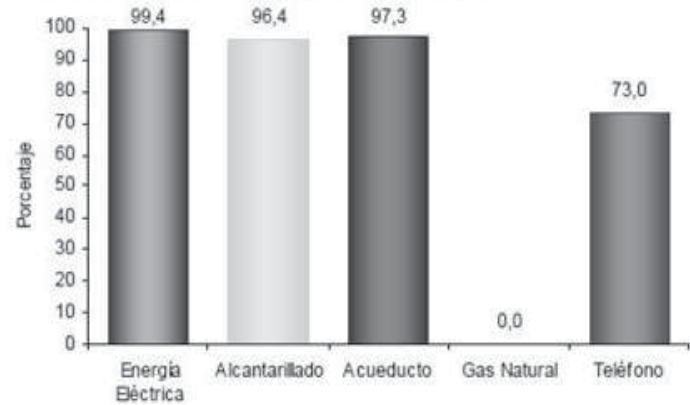
factores determinantes, tales como la demografía y el crecimiento económico. Enfatiza que los dos problemas se deben enfrentar mutuamente y que si no se resuelven simultáneamente, los intentos de solución de uno de ellos podría agravar el otro. Argumenta que la oferta de agua y energía descansa, de un modo u otro, sobre infraestructuras hidráulicas, razón por la que el desarrollo energético puede añadir presión sobre los recursos hídricos. Según sus estimaciones, se espera que más del 70% de la nueva demanda de energía eléctrica se cubra con combustibles fósiles tradicionales que aumentan significativamente la demanda de agua para refrigeración. Continuando sus argumentos, este organismo enfatiza que la demanda de energía eléctrica en las ciudades más dinámicas del mundo en desarrollo requiere de nuevas infraestructuras en lugares cada vez más distantes y menos poblados que aun disponen de oportunidades para nuevos emprendimientos hidroeléctricos, obras que podrían causar efectos negativos considerables sobre las cuencas hidrográficas (ríos) y todos los ecosistemas asociados a ellas. Como reflejan las cifras mostradas en este artículo por parte de estos organismos internacionales y sus dependencias, sus pronósticos indican que el consumo de agua y energía aumentará como consecuencia no solo del crecimiento demográfico, sino también agrario, lo que resultará en una mayor competencia por unos recursos cada vez más insuficiente [WWAP, 2009 & 2012; World Bank, 2013 & 2014].

En el estudio sobre el cálculo de la huella ecológica practicado a la ciudad de Manizales presentado por Tobasura (2008) analiza por medio a una matriz de productos requeridos y espacio físico necesario para garantizar los consumos per cápita, para estimar el consumo energético, espacios y servicios públicos y vivienda, llegando a la siguiente conclusión argumental: “Manizales cuenta con una buena dotación de captura de CO₂, provisión de agua y generación hidroeléctrica. No obstante, la ciudad es deficitaria en espacio para viviendas, espacios públicos por habitante que, añadido el factor topográfico donde se ubica la ciudad, imposibilita la expansión de la ciudad a niveles mínimos, estando dentro de las ciudades con menor espacio físico por habitante en Colombia. Aunque tiene buen potencial de generación hidroeléctrico y recursos hídricos, el crecimiento demográfico y demanda de servicios en todos los usos (públicos, domésticos, industriales, etc.) requerirá de una mayor oferta para satisfacer tales necesidades energéticas [Tobasura, 2008].

Como puede apreciarse de la comparativa de los datos de este autor y los del DANE (2005) mostrados en la figura nº6, la ciudad de Manizales disfruta de buena cobertura de los servicios derivados entre el nexus “agua y energía”; exceptuado por el suministro gasífero intradomiciliario. El que se lleven a cabo estudios y

Figura 6. Servicios con que cuentan las viviendas en la ciudad de Manizales, Caldas.

Servicios con que cuenta la vivienda



Fuente. DANE, 2005.

la adopción de medidas y políticas que permitan determinar las necesidades de demanda espacio (territorio), recursos hídricos (agua) y suministro energético a la ciudad bien sea por estos rubros o por otros (eólica, gas, geotérmico, etc.) que puedan mejorar el estado actual y futuro de los habitantes ante las demandas que así lo ameriten [WWAP, 2009 & 2012; World Bank, 2013 & 2014].

REFERENCIAS

- Aparicio M., F.J. Fundamentos De Hidrología De Superficie. LIMUSA-México, 2010.
- Ayala Carcedo, F. (2006). *Riesgos naturales y desarrollo sostenible: Impacto, predicción y mitigación.*
- Boada i Junca, M., & Toledo, V. M. (2003). *El planeta, nuestro cuerpo: La ecología, el ambientalismo y la crisis de la modernidad.* México, D.F.: Fondo de Cultura Económica.
- Cárdenas Támara, F., Cordero Pérez, H., Devia Castillo, C., Arenas Salazar, H., Herrera Barrera, J. C., & Díaz Marín, D. (2000). *Desarrollo sostenible en los andes de Colombia : (provincias del norte, Gutiérrez y Valderrama) (Vol. 1).* Boyacá, Colombia: Fundación cultural javeriana de artes gráficas.
- Chow, V. T., & Saldarriaga, J. G. (1994). *Hidráulica de canales abiertos.* Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Ways, L. W. (1994). *Hidrología Aplicada (Vol. 584).* Santafé de Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana.
- Dane, 2005.
- Gómez Valentin, M., Macchione, F., & Russo, B. (2009). Comportamiento hidráulico de las calles durante lluvias extremas en zonas urbanas. *Ingeniería hidráulica en México, 24,* 51-62.
- Gregory, k. J., & Walling, D. E. (1973). *Drainage Basin Form and Processes. A Geomorphological Approach.* London.
- Hermelin, M. (2007). *Entorno natural de 17 ciudad de Colombia (1 ed.).* Medellín, Colombia: Fondo editorial universidad EAFIT.
- Horton, R. E. (1932). Drainage-basin characteristics. *Transactions of the American Geophysical Union, 13(1),* 350-361.

- Horton, R. E. (1962). Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical Approach to Quantitative Morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*(56).
- Landa, E. R. (1987). History of Hidrology. *American Geophysical Union*, 3.
- Maskey, A. (1998). *Navegando entre brumas: La aplicación de los sistemas, de información geográfica al análisis de riesgos en América latina*. . Lima: Intermediate Technology Development Group, ITDG. .
- Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la ingeniería*. Santafé de Bogotá, Colombia: Alfaomega.
- Morales Benítez, O. (1987). *Liberalismo: Destino de la patria*. Bogotá, Colombia: Plaza & Janés.
- Muñoz Carpena, R., & Rodríguez Ritter, A. (2005). *Hidrología agroforestal*. Madrid.
- Rodríguez, G., Londoño Toro, B., & Herrera Carrascal, G. J. (2006). *Perspectivas del derecho ambiental en Colombia*. Bogotá, Colombia: Universidad del Rosario.
- Rueda Palenzuela, S. (1999). *Modelos e Indicadores para ciudades más sostenibles*. Departamento de Medio Ambiente de la Generalidad de Catalunya. , Barcelona, España.
- Tobasura, A. I. (2008). Huella Ecológica y Biocapacidad: Indicadores Biofísicos para la Gestión Ambiental. El caso de Manizales, Colombia. *Revista Luna Azul*, 12.
- Universidad Nacional de Colombia, C. (1970). *Fondo Nacional de Proyectos de Desarrollo (Colombia), & Manizales (Colombia)*. Departamento de Planeación Municipal., Plan de desarrollo urbano Manizales., Bogotá.
- UN-Water Annual International Zaragoza Conference 2014. (13-16 de enero de 2014). Recuperado el . Zaragoza, España, de Preparing for World Water Day 2014: Partnerships for improving water and energy access, efficiency and sustainability.: http://www.un.org/waterforlifedecade/water_and_energy_2014/
- Vélez Upegui, J. J., & Botero Gutiérrez, A. (2010). Estimación del tiempo de concentración y tiempo de rezago en la cuenca experimental urbana de la quebrada de san luis, Manizales. *Dyna*, 78(165), 58-71.
- World Bank, the. (2012). Obtenido de Strengthen, Secure, Sustain. World Bank Water Partnership Program (WPP): http://www.zaragoza.es/ciudad/medioambiente/onu/en/detallePer_Onu?id=479
- World Bank, the. . (2013). Obtenido de Thirsty Energy. World Bank Water and Sanitation Program: http://www.zaragoza.es/ciudad/medioambiente/onu/en/detallePer_Onu?id=749.
- World Water Assessment Programme. (2012). *United Nations World Water Development Report 4*. Obtenido de Volume 1: Managing Water under Uncertainty and Risk.: http://www.zaragoza.es/ciudad/medioambiente/onu/en/detallePer_Onu?id=71