

## La cuenca urbana como unidad territorial para el desarrollo sostenible de ciudades de media montaña en el Tropic Andino Colombiano: la estructura hídrica en la cuenca urbana sostenible



**Gustavo Adolfo Agredo Cardona**

Arquitecto Doctor en sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. Profesor en la Universidad Nacional de Colombia — Sede Manizales. Manizales [Caldas] Colombia <gagredoc@unal.edu.co>.



**Santo Trinidad Álvarez Ysabel**

Ingeniero Civil, candidato al doctorado en DEMHA-EECCPB, UPC [Barcelona, España]. Santo Domingo [Distrito Nacional] República Dominicana <santo\_alvarez@yahoo.com>.

### Resumen

Este artículo propone un modelo para el ordenamiento del territorio urbano, basado en el criterio de cuencas urbanas como las unidades de planificación para la sostenibilidad territorial como una visión alternativa, a la propuesta actual de la ciudad intermedia en el trópico andino - Manizales-Caldas-Colombia, que definió las actuales comunas, como una política de gobierno, que crea divisiones territoriales e intervenciones urbanas, con poca incorporación de conceptos sobre la conservación ambiental de los ecosistemas. El modelo propuesto, reconoce la transformación de las cuencas hidrográficas en cuencas urbanas como una necesidad de habitabilidad humana, basado en la búsqueda del equilibrio entre ecosistema y cultura. Se emplea información sobre la normatividad expedida por el Estado en Colombia y otras políticas y conceptos de orden nacional e internacional sobre ordenamiento territorial. Se recurre a cartografía base del Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y a documentos bibliográficos que dan soporte a la investigación. Se plantea entonces, un modelo teórico o conceptual, otra espacialidad desde lo ecosistémico, con una cartografía, que define las nuevas unidades territoriales y se propone la metodología de análisis para estas unidades y su intervención para la planificación territorial.

### Palabras clave

Cuencas hidrográficas. Cuencas urbanas. Geomorfología. Montaña tropical andina. Planificación territorial. Ciudad intermedia.

### The urban watershed as basic unit for sustainable development in the Colombian Tropical Andean Mountain Cities: the hydro-structure in the sustainable urban watershed

### Abstract

This paper proposes a new model for urban spatial planning, based on urban watersheds as planning units for territorial sustainability in the government policy process, territorial divisions and urban interventions with an scarce use of concepts of environmental conservation of ecosystems; recognizing the watershed transformation into urban basins, as a need for human habitation, but trying to find a proposal balance between ecosystem and culture. For the study analysis, compilation and documentation on the regulations issued by the State in Colombia and other policies and concepts of national and international order were consulted. It refer to IGAC database mapping to generated data output related to the study area, present in the files of the National University of Colombia, and the bibliographical documents that support concepts used in this research. As a result, graphical new spatial mapping units and their theoretical foundation are proposed for the urban planning cities.

### Keywords

Watersheds. Urban watersheds. Geomorphology. Tropical Andean mountain. Territorial planning. Intermediate city.

## 1. Introducción

Este artículo se deriva de la investigación doctoral titulada “La cuenca urbana como unidad territorial para la planificación del desarrollo sostenible en ciudades de media montaña del territorio andino”, con el objetivo de abordar una metodología de planificación urbana que permita analizar desde las ciencias humanas, la geografía política, la geología, la ecología, los contextos sociológicos y desde la noción del desarrollo sostenible, los problemas ambientales generados en la ciudad de Media Montaña del Trópico Andino Colombiano. En esta región, las unidades territoriales actuales (Departamentos, Municipios, Comunas, Áreas Metropolitanas) y las divisiones políticas-administrativas existentes son resultados de influencias históricas y jurídicas con poca consideración de políticas ambientales. En el modelo ambiental juegan un papel importante conceptos sobre Regiones, Ecoregiones, Bioregiones, Biocidad y las Cuencas Hidrográficas, además de otras visiones sobre la sostenibilidad de la ciudad (Ágredo, 2013; Suárez, 2004).

Este proceso metodológico es un planteamiento ambiental al ordenamiento del territorio es una prefiguración que busca, a manera de tejido, la unidad de la ciudad de Media Montaña Tropical Andina con una orientación hacia la sostenibilidad. Estas ciudades presentan características propias por las condiciones geológicas, relieve, orografía y clima entre otras variables, donde geográficamente su morfología es la transformación de la cuenca hidrográfica a Cuenca Urbana, de la misma manera como ha ocurrido en la historia desde el inicio de los primeros asentamientos humanos, hasta las primeras ciudades, generando cambio en el territorio e impactando en los ecosistemas y donde las cuencas hidrográficas juegan un papel fundamental (Bordonado Gomis *et al.*, 2004).

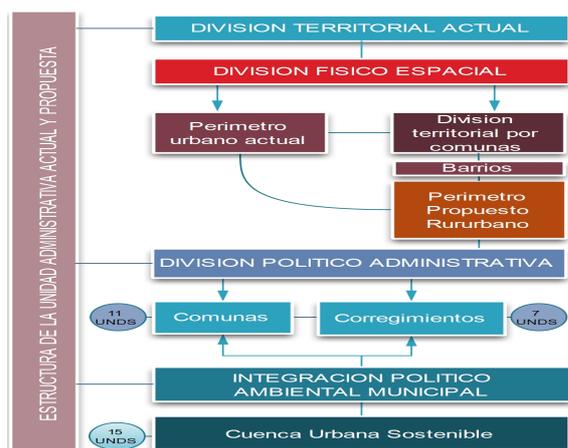
La sostenibilidad territorial debe ser una búsqueda constante que facilite evaluar costos y beneficios en las cuencas hidrográficas y en particular las Cuencas Urbanas mediante el análisis de indicadores, como son los bioindicadores, ecológicos y ambientales, entre otros (Pinilla Agudelo, 1998). Teniendo en cuenta la tecnología, como las estaciones meteorológicas del IDEA-UNAL, Manizales, que aportaron datos sobre las condiciones del clima (lluvia, precipitaciones, humedad, entre otros aspectos) analizados más adelante. Ahora, sin desconocer la tecnología, se puede recurrir a otros medios que suministren información de la variación ambiental, como son los bioindicadores, entre ellos insectos, aves y mamíferos (Ágredo, 2013); elementos de medición que sirvan para determinar los impactos ambientales negativos y positivos para tomar decisiones hacia una planificación adecuada del territorio.

Por lo anterior y entre otros aspectos que se presentan más adelante, se propone que esta unidad territorial llamada Cuenca Urbana sea la unidad básica, incluyente, integradora del territorio y de aplicación como un modelo de ordenamiento urbano en un proceso adecuado de planificación que pueda convertir la Cuenca Urbana Sostenible en un modelo de aplicación en ciudades de media montaña del trópico andino.

### 1.1. Antecedentes

Como punto de partida para la propuesta, se han realizado las investigaciones sobre cuencas hidrográficas en los contextos locales e internacionales, las disposiciones y normatividad jurídica sobre la organización y división territorial, la actual Ley Orgánica de Organización Territorial (LOOT 1454/2011), los objetivos del Milenio, procesos y conflictos ambientales en Colombia, los lineamientos, normas y aspectos legales del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible de la República de Colombia y su correspondencia con la Agenda 21 de Naciones Unidas que buscan la integración de la planificación y la ordenación de los recursos de tierras con el favorecimiento de protección a los ecosistemas frágiles, identificados con la lucha contra la desertificación y la sequía, en la búsqueda de la protección de la calidad y el suministro de agua dulce, con criterios de aprovechamiento, la ordenación de cuencas hidrográficas y sus recursos hídricos (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. IDEAM, 2004).

Según la UNESCO, Japón presenta un alto grado de vulnerabilidad por las condiciones topográficas de su territorio. Sin embargo, conscientes de estos fenómenos como inundaciones o avalanchas el desarrollo urbanístico de la mega ciudad de Tokio contempla el manejo de las microcuencas hidrográficas y las buenas prácticas (Lasserre, 2005). Experiencias investigativas del Instituto



**Figura 1.** La estructura actual de la ciudad compuesta por comunas y corregimientos, según la nueva propuesta para la cuenca urbana como unidad territorial. Fuente: Elaborado por Gustavo A. Agredo C. y ampliada por Alvarez-Ysabel, S., 2014.

de Estudios Ambientales (IDEA) de la Universidad Nacional de Colombia (UNC), como es el caso de la cuenca de la Quebrada San Luis en Manizales, evidencia cómo el proceso acelerado de urbanización influye en la escorrentía directa del agua de lluvia (Suárez, 2007). Los procesos de planificación impuestos sin fases de concertación o asimilados de normatividades alóctonas (además de la formulación de divisiones jurídicas, políticas administrativas territoriales y económicas) no obedecen a consideraciones de orden ambiental (Terradas, 2001). Véase Figura 1.

Los argumentos ecosistémicos para el desarrollo y planificación del territorio son: (i) la estructura verde, (ii) la estructura circulatoria, (iii) la estructura construida y, (iv) la estructura hídrica como elementos de la naturaleza y de un sistema (como es la ciudad), fundamental para los seres vivos urbanos y particularmente para los seres humanos con sus avances tecnológicos determinantes en su transformación (Agredo & Álvarez-Ysabel, 2014).

nos con sus avances tecnológicos determinantes en su transformación (Agredo & Álvarez-Ysabel, 2014).

## 1.2. Breve reseña histórica sobre el proceso fundacional de Manizales (Ciudad de Media Montaña en el Trópico Andino)

El área urbana del municipio de Manizales se localiza geográficamente sobre la cordillera de los Andes; topografía quebrada en una zona tropical donde se asentaron históricamente pueblos indígenas que fueron desapareciendo durante el siglo XVI en el periodo de la Conquista española, sobreviviendo algunos poblados sobre las montañas de más difícil acceso, en la Cordillera Central de Colombia. Durante el siglo XIX el Estado de Antioquia presentaba dificultades de orden económico, lo que motivó un éxodo de población que fundó ciudades como Salamina, Neira y Manizales; colonos que venían en búsqueda de mejor fortuna y del oro, que se encontraba en este nuevo territorio, migración que dio origen a la comúnmente reconocida Colonización Antioqueña. Estos colonos intervienen la selva tropical andina y las forestas de niebla para dar origen a plantaciones agrícolas con la producción de café y la explotación minera. A esto se le sumó la decisión de un puñado de hombres conocidos como arrieros que abrieron senderos, facilitando el proceso fundacional con viviendas transitorias sobre estos caminos. Posteriormente la adaptación del cultivo de plantaciones de café sobre la difícil topografía genera riqueza y consecuentemente apropiación del territorio hasta ser conocida en la actualidad la ciudad como Nido de águilas reales o cumbre de las nieves inscrita en la “región del eje cafetero” (Robledo, 1993).

El área de estudio es el municipio de Manizales, con una posición geográfica en la media montaña del trópico andino, caracterizado por un clima húmedo y lluvioso. Presenta una estructura geológica de fallas y fracturas por compresión sobre rocas blandas que contralan la formación geométrica de la Cuencas Hidrográficas donde se ha desarrollado el proceso urbanístico. La necesidad de un proceso urbanístico con parámetros ambientales, conservación de la biodiversidad y las fuentes de agua como patrimonio de la ciudad de media montaña en el trópico andino posibilita la alternativa de un ordenamiento del territorio que comprenda e incorpore el valor de los espacios naturales y la geografía del paisaje. Uno de estos casos ha sido el realizado en el campus experimental universitario de la UNAL-Sede Manizales, el cual ha permitido el avance en temáticas como la hidrología, geología y meteorología, agronomía, biología, etc., que presentan un panorama de las potencialidades del área de estudio (Ortega, 2010).

## 2. Metodología

La metodología para esta investigación, analiza el territorio en la media montaña del trópico andino, su geomorfología, condiciones climáticas, zonas de vida, así mismo la exploración documental

identifica el problema en la ordenación del territorio desde sus orígenes históricos y marco normativo, el primer ordenamiento impuesto y el segundo en ocasiones inaplicable; esto para construir un marco de referencia, que además de otros aspectos como información cartográfica, datos meteorológicos, características del suelo, los drenajes y cauces son la base analítica para proponer las cuencas urbanas como unidades territoriales para la sostenibilidad, donde la estructura hídrica es fundamental para la ordenación del territorio, siendo para este caso la ciudad de Manizales, Caldas, Colombia en la media montaña del trópico andino.

Mediante un proceso de análisis, la información cartográfica, aerofotográfica adquirida en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi por el laboratorio de aerofotogrametría de la Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales correspondientes a diferentes periodos históricos (años 1944,1969, 1975, 2008) y el aporte de los datos de las estaciones meteorológicas del IDEA (brillo solar, radiación solar, etc.), de igual forma los estudios geomorfológicos del laboratorio de materiales de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, muestran las fallas y vaguadas que datan del año 2006, caracterizan los drenajes de la ciudad y las particularidades de la estratificación del suelo, la combinación entre otros datos, que mediante un proceso de software (SIG), se obtienen polígonos, que se originan desde la divisoria de agua principal de la montaña en el trópico andino (ciudad de Manizales), sobre la conocida vía carrera 23 o calle real, esto entre otros procesos de análisis de datos enfocados hacia las estructuras de la ciudad, construida, circulatoria, verde e hídrica del municipio. De esta manera el ejercicio, permitió definir las áreas para establecer las cuencas urbanas de la ciudad. Con una visión que logre integrar lo político-administrativo con el medio natural.

La herramienta empleada en el proceso es el arctoolbox del programa ArcGis que se presta para la modelación y el resultado cartográfico, implementando para ello bases digitales que incorporan datos espaciales, matemáticos y estadísticos (Figura 2).

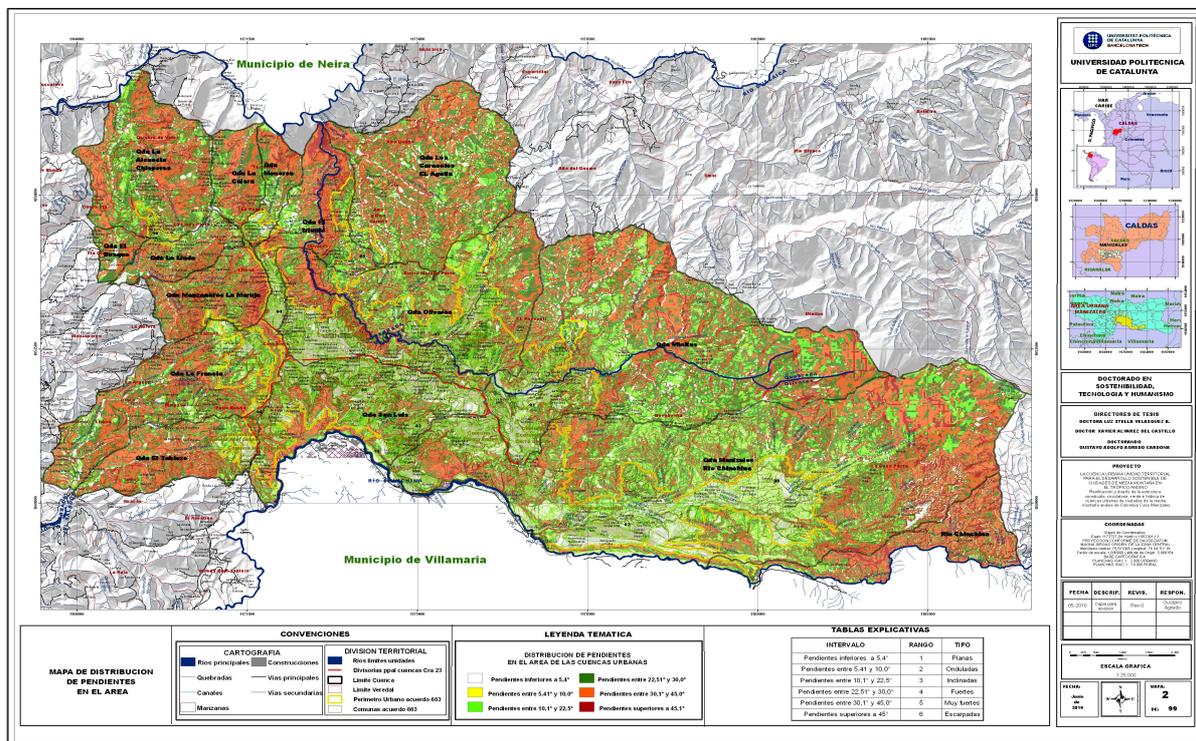


Figura 2. Pendientes o gradientes altitudinal del suelo generadas a partir de la nueva propuesta de Cuencas Urbanas para la ciudad de Manizales. Fuente: Elaborado por Gustavo Agredo y ampliada por Alvarez-Ysabel, S., 2014.

Para la clasificación de las cuencas urbanas se emplea la metodología inicial cuyos parámetros del IDEAAM sobre cuencas hidrológicas rurales o naturales (Maldonado Castañeda, 2009) que definen cuencas hidrológicas en forma jerárquica: 1-Para el caso del área de estudio la cuenca del río Cauca es considerada de primer orden; 2-la subcuenca del río Chinchiná se define como de segundo orden; 3-así

sucesivamente (3º, 4º, 5º, etc.) según su área aferente o basado en las características de sus escurrimientos y drenajes; el orden también puede variar su jerarquía descendente. Clasificaciones iniciales que se deben a Gravellius (1914) y a Horton (1945). El primer autor intenta clasificar las cuencas hidrográficas considerando que el cauce más grande es de primer orden; el segundo autor toma los cauces de menor tamaño para establecer su orden. No como una visión jerarquizada, como la nomenclatura inicial, sino como unidades integradoras que varían su escala territorial, pero que las unen sus isoclinas morfológicas. De esta manera existe una escala territorial ecosistémica cuyo eje articulador es el drenaje principal (Figura 3).

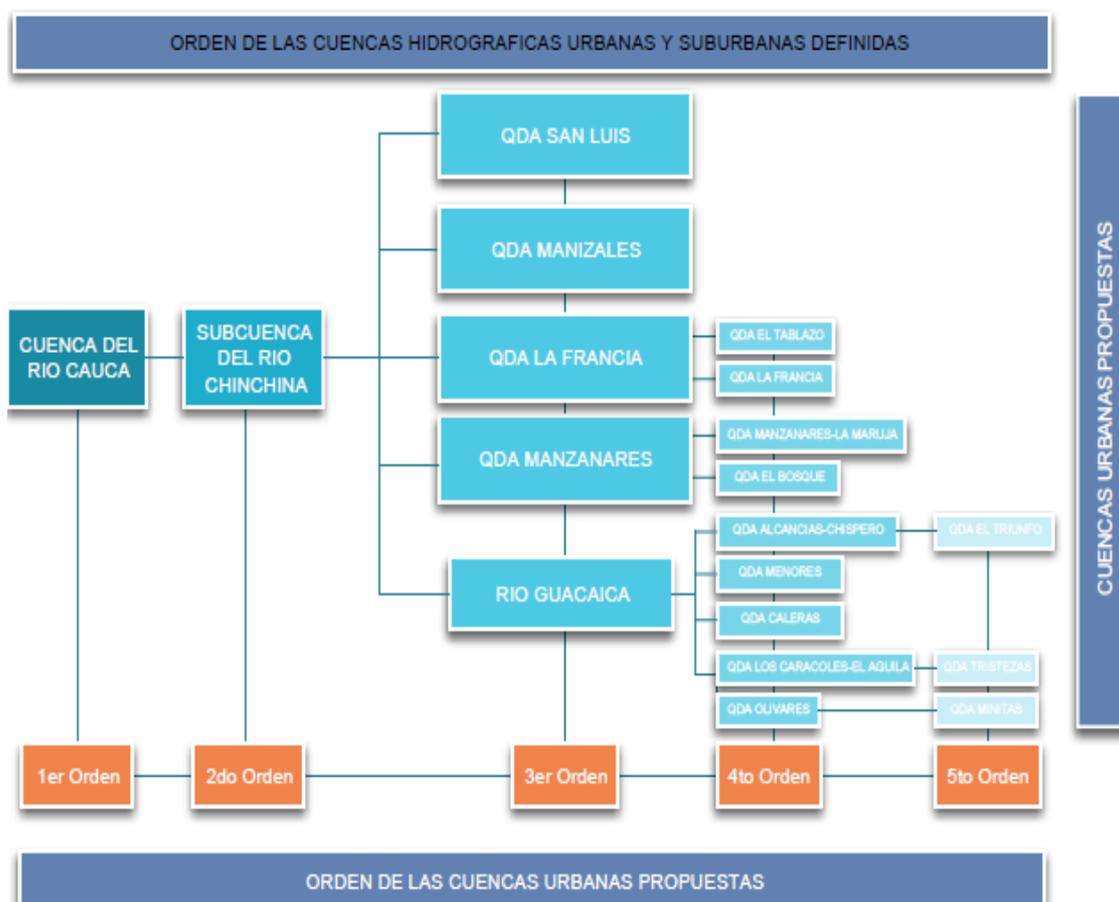


Figura 3. Nueva clasificación de orden de cuencas urbanas a partir de la cuenca del Cauca como cuenca de 1er orden. Fuente: Elaborada por Gustavo Agredo y ampliada por Alvarez-Ysabel, S., 2014

### 2.1. Contexto del área de estudio

Las tres cuartas partes de la población nacional colombiana se ubican en la región de la Cordillera Andina Suramericana. Sobre la parte Central de la misma se encuentra localizado el Macizo Cumanday a una altura que alcanza los 5.400 msnm, con una fisiografía variada que alberga nevados y macizos volcánicos activos e inactivos (El Ruiz-Tolima, Santa Isabel y Cerro Bravo, entre otros), evolución geomorfológica de transformación del relieve en una variación desde montañas hasta descender a valles, con una diversificación en pisos térmicos, suelos y regímenes de lluvias que aportan corrientes de agua desde los glaciares o nieves perpetuas hasta convertirlos en afluentes de beneficio a la Eco-región eje cafetero y particularmente las ciudades que la conforman, entre ellos el municipio de Manizales ubicado en la zona tropical andina. (Arango & Rodríguez, 2004).

El relieve, influenciado por los vientos, la riqueza del suelo, la variación del gradiente montañoso, su alta pluviosidad (2.200 mm al año) y la humedad (78%) junto a la ubicación geográfica del municipio favorece la diversidad ecológica y climática hacen del municipio de Manizales un medio con un ecosistema rico en biodiversidad que se suma a un número de cuencas hidrográficas entre medianas y pequeñas abastecedoras del sistema hídrico encargadas del suministro de agua para la ciudad con buena calidad (Sánchez Bravo, 2006).

Manizales con una población urbana estimada de 368.433 está asentada en un perímetro urbano de 42.9km<sup>2</sup>. El municipio se divide administrativamente en 11 comunas sobre una topografía de pendiente pronunciada que restringe la expansión urbana al comprometer el límite natural. La extensión territorial rural comprende 397.10 km<sup>2</sup>, siendo estimada su población en 57.057 habitantes que se localizan administrativa o jurisdiccionalmente en 7 corregimientos. La tasa de crecimiento poblacional promedio es del 2.1% siendo moderado comparado con el resto del país. Este grueso de la población del Municipio de Manizales corresponde aproximadamente a un tercio de la población del departamento de Caldas al cual pertenece (Dane, 2010).

### 3. Identificación de la problemática ambiental del Municipio de Manizales y potencialidades

#### 3.1. Situaciones naturales

El relieve de Manizales está caracterizado por formaciones dómicas y volcánicas que si bien hacen del suelo un lugar apto para el cultivo por la riqueza de sus componentes como cenizas volcánicas, también lo es su fragilidad al encontrarse en la cadena o cinturón del fuego, donde la última erupción se produjo en el año 1985 con la destrucción de la ciudad de Armero-Tolima (Naranjo *et al.*, 1989). Además de ser atravesada la ciudad por varias fallas geológicas entre ellas Romeral, que la hacen vulnerable a la actividad sísmica, susceptible a deslizamientos y procesos erosivos (Hermelín, 2007).

#### 3.2. Actividad antrópica

Además de los fenómenos naturales como los referidos anteriormente, los incendios de origen humano de los años 1922, 1925 y 1926 devastaron la ciudad por la carencia del suministro de agua y un cuerpo especializado de bomberos. Sin embargo, estas adversidades se convirtieron en una forma de renacimiento para Manizales. La zona de páramo que bordea al municipio se ha transformando para la producción agrícola y pecuaria, tomando las tierras que antes ocupaba la selva secundaria, como puede apreciarse en el área amortiguadora correspondiente al volcán Nevado de Ruiz donde presenta tala de selvas que son reemplazadas por cultivos como la papa, una dinámica ganadera, lechera y cárnica. La actividad económica actual con la producción industrial química localizada sobre las márgenes de la quebrada Manizales y las Cuencas de la ciudad manifiesta grados de contaminación por vertimientos y depósito de residuos de aguas domésticas (Sánchez & Uribe, 1994)

#### 3.3. Actividad urbanística

El emplazamiento de la ciudad de Manizales desde su fundación hasta la actualidad ha significado un reto en el desarrollo urbanístico. El municipio se aferra a una topografía abrupta, precisamente sobre las vertientes de la Cordillera Central, con un suelo húmedo propicio a deslizamientos y a efectos derivados de la acción sísmica. El proceso fundacional de Manizales ocupó territorialmente zonas no aptas para la urbanización, ubicándose sobre ella barrios como Estrada, Galán, La Avanzada en la cuenca hidrográfica perteneciente a la Quebrada Olivares, que en periodos de lluvias intensas se ven afectados por deslizamientos de suelos los cuales han cobrado a su paso viviendas, elementos materiales y vidas humanas, aumentando las condiciones precarias y de pobreza urbana de quienes los habitan (Hermelín, 2007).

La investigación permite observar que la configuración morfológica del suelo y la orografía, sumadas al régimen de lluvias (gradiente elevado o pendientes pronunciadas, suelos húmedos y volcano-dómicas) lo hacen susceptibles a erosión (Figura 2). Veamos algunos casos.

- i. La ciudad sufrió un régimen de lluvias propiamente en el mes de noviembre de 2008 que afectó barrios de estratificación alta (La Alambra, Sierra Bonita) que ratifican las condiciones de riesgo por la susceptibilidad de las laderas por un proceso de urbanización acelerado. El constante monitoreo por parte del observatorio ambiental en Manizales del Instituto de estudios ambientales de la Universidad Nacional (IDEA-UNAL) despierta las alertas tempranas y permiten en convenio con la Alcaldía tomar las medidas preventivas para la población que encuentra asentada en las laderas.

- ii. La disminución de las áreas verdes por la ocupación urbana como la impermeabilización de quebradas y sus cauces proveyendo recursos hídricos para la ciudad son reemplazadas por sistemas de canales o redes alcantarillados que impiden el drenaje natural de los cauces creando desequilibrio en el ciclo natural hidrológico, como se comprobó en el sector de Expo-ferias el 16 de noviembre de 2008; situación que se repitió el día 30 de octubre de 2010 con pérdidas económicas al colapsar las canalizaciones cuando se superó el aforo.

### 3.4. Cuencas hidrográficas del municipio de Manizales

Manizales presenta cuencas (medianas, pequeñas o microcuencas) hidrográficas que hacen parte de un sistema con aguas superficiales y subterráneas las cuales contribuyen a generar ecosistemas con variación en su biodiversidad, por su gradiente altitudinal. Se pueden mencionar las cuencas Alto Guacaica y la cuenca Quebrada Chupaderos, donde se desarrollan los procesos urbanos y se asienta parte de la población del municipio. Algunas de estas cuencas son utilizadas como sistema de drenaje urbano municipal de la ciudad sobre los cauces de las microcuencas hidrográficas, impermeabilizando el sistema y cambiando las características de su escurrimiento (Van der Hammer, Pérez & Pinto, 1983-89).

El agua de lluvia aporta a las cuencas hidrográficas y urbanas del municipio los suficientes recursos hídricos para ser explotados para los diferentes consumos o usos humanos; sobre todo la destinada al consumo humano para dar cobertura y calidad a estos servicios públicos, especialmente en agua potable y alcantarillado. Aguas de Manizales S.A. E.S.P (2012), la empresa prestadora del servicio atendió al año 2011 a 94.533 usuarios con una cobertura urbana del 99,88% en acueducto y, 98,89% en alcantarillado en el área urbana.

Estudios conducentes a la factibilidad de recuperación de la calidad del agua de la cuenca el río Chinchiná y de los cuerpos hídricos que envuelven la ciudad son estructurados con el fin de brindar un plan de saneamiento para el Municipio, con una mirada muy especial en la quebrada Olivares, altamente afectada por los vertimientos urbanos como parte de las prioridades y normativas de control por la autoridad competente CORPOCALDAS (Corporación Autónoma Regional de Caldas).

## 4. Resultados

### 4.1. Importancia de la geomorfología para la estructura hídrica

La metodología propuesta nos ha permitido derivar la definición de las cuencas urbanas como unidades territoriales para la sostenibilidad en la ciudad de media montaña en el trópico andino. Es el reconocimiento de la geografía del paisaje y en particular de la geomorfología. Es importante saber que el proceso, origen y transformación del relieve, son el resultado de los movimientos provocados por acciones hacia el interior de la Tierra. Colombia en su relieve se conforma por un grupo de cordilleras ubicadas en el cinturón del fuego influenciada por el origen volcánico siendo susceptible a movimientos de la corteza terrestre por acciones externas como lo es la erosión (IGN, 1953).

La naturaleza es la transformación de procesos biofísicos; de esta manera, para la formación de corrientes, cauces y drenajes de agua, la morfología y el clima determinan las características de las cuencas hidrográficas. En el libro geomorfología del área Manizales-Chinchiná –Cordillera Central– Colombia, Flórez (1986) manifiesta que “Este clima lluvioso genera una red de drenajes densa, caudalosa y permanente durante todo el año. La red, en general, está controlada por la estructura: Los ríos Cauca (al oeste) y Magdalena (al este) tienen dirección norte sur y ocupan las depresiones tectónicas a los lados de la cordillera, mientras que los demás ríos que drenan el área están controlados en gran parte de su extensión por un fallamiento en dirección este-oeste, a aproximadamente perpendicular a las fosas tectónicas” (Flórez, 1986).

En un análisis general de las unidades del paisaje, el área de estudio se localiza en la denominación de sub-paisaje. Con la cartografía del lugar se da una clasificación que permite visualizar la composición basada en los conceptos de la geomorfología y de los estudios realizados por el geólogo Duque Escobar *et al.* (2014), cuyos resultados obtenidos de nuestros análisis se presentan en la Figura 4.

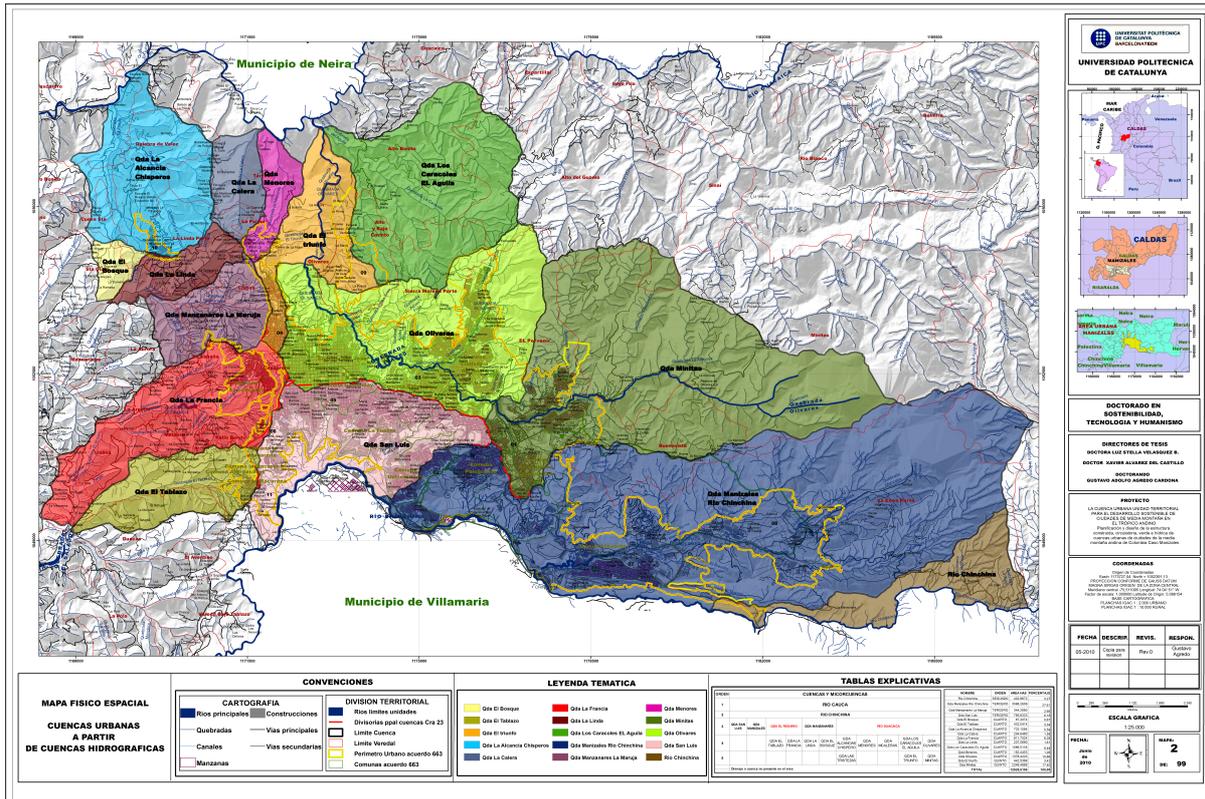


Figura 4. Drenajes por concurrencia basados en el concepto de Cuencas Urbanas propuesto para la ciudad de trópico andino, caso Manizales-Caldas-Colombia. Fuente: Elaborado por Gustavo Agredo y ampliada por Santo Álvarez, 2014.

Para la clasificación de las cuencas urbanas se emplea la metodología inicial cuyos parámetros sobre cuencas hidrológicas del IDEAM (Maldonado Castañeda, 2009) que definen cuencas hidrológicas hasta de segundo orden (en este caso la cuenca del río Cauca es considerada de primer orden y la subcuenca del río Chinchiná se define como de segundo orden). Dentro del contexto de estas dos clasificaciones se toman los siguientes parámetros que definen en una escala gradual el orden descendente. Así, de mayor orden la cercanía al nacimiento y, de menor orden o descendente, cuanto más cercano a la desembocadura para de esta manera establecer las cuencas urbanas. Los parámetros morfométricos, como mayor área aferente, circulación y concentración de drenajes, dirección de flujos y en un grado importante la altimetría que define la divisoria de aguas, entre otros aspectos, son los que definen las unidades territoriales.

Partiendo del concepto de cuenca hidrográfica como unidad geomorfológica definida por su espacio natural, físico y cerrado, este conforma unidades territoriales como cuencas urbanas, la misma que en su interior puede definirse por sus interrelaciones como (Figura 5):

- Cuenca urbana
- Cuenca rururbana
- Cuenca rural o natural

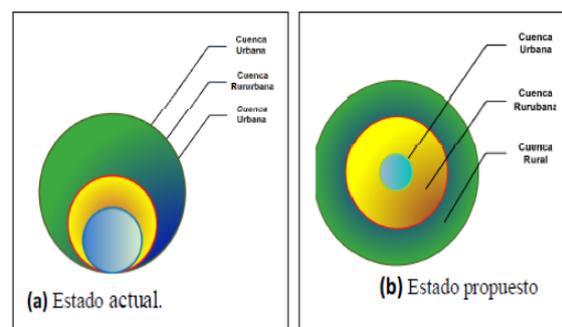


Figura 5. La cuenca y su escala territorial interna en sus Estados (a) actual y (b) propuesto. Fuente: Elaborada por Gustavo Agredo y ampliada por Santo Álvarez, 2014.

Se pone de manifiesto el potencial de aguas freáticas, de los suelos de caída piroclástica, de gran espesor o cobertura, presente en la región y en el área de estudio en particular, Manizales ciudad de media montaña en el trópico andino. La parte alta de la montaña andina son suelos en condiciones saturadas, con contenidos de humedad generalmente mayores al 100% según base de datos del laboratorio de suelos de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales (2006); es decir el peso de las aguas freáticas de una muestra inalterada de estos suelos en estado saturado es superior al peso de sus sólidos.

## 5. Importancia de cuencas hidrográficas en Manizales

El valor de las cuencas hidrográficas radica en la cantidad de agua que aportan bien sea en pequeños o grandes caudales, pese a su extensión geográfica en comparación con toda la masa del globo terráqueo son pequeños; pero lo que suministran en caudales de agua dulce es muy significativo para la sobrevivencia especialmente de los seres humanos, siendo grandes en función colectora del agua lluvia convirtiéndose en los vasos linfáticos del planeta tierra (Inti Illapa, 1971).

La cantidad de agua de una cuenca hidrográfica se obtiene en el análisis de su área aferente, zona de las laderas o faldones, a manera de receptáculo principal que indica el potencial hídrico (área de recarga). En los casos de las zonas urbanizadas los caudales pasan a un segundo plano, puesto que la velocidad de dispersión o de conducción del canal recibe el agua directamente por las zonas impermeabilizadas (en las vías de tránsito), con pérdida de retorno comportándose como zonas de tránsito del agua (Gómez Valentín, Macchione & Russo, 2009).

Antes de la urbanización de un predio o terreno su estado natural está en condiciones que le permiten al agua lluvia humedecer por percolación o infiltración al suelo y facilitar la recarga de aguas subterráneas aportando para la subsistencia de las especies que subyacen en su medio natural. En contraposición, cada paso al proceso urbanístico modifica el paisaje y contribuye a la variación de la cuenca hidrográfica con la ocupación paulatina de asentamientos humanos, la construcción de viviendas y caminos, dando una connotación de cuenca urbana.

El proceso de circulación del agua de lluvia en las zonas urbanas denominado escurrimiento se considera mayor que en las áreas no construidas. Un volumen establecido como la diferencia entre la precipitación total y la evaporación propia del área que circula por la superficie y se denomina escurrimiento inmediato (para el caso de Manizales se calcula con el empleo de las precipitaciones medias anuales en las diferentes estaciones del IDEA (Red de monitoreo y seguimiento climático estructurado desde el año 2003 a la fecha 2010), con un resultado medio anual de 1.752 mm/año; este valor depende posteriormente de las características de porosidad y permeabilidad del suelo para que se infiltre o circule de forma acelerada hasta las áreas que conforman los sumideros o vertientes captadoras de estos volúmenes de agua (Orozco-Alzate, Vélez-Upegui, & Duque-Méndez, 2014).

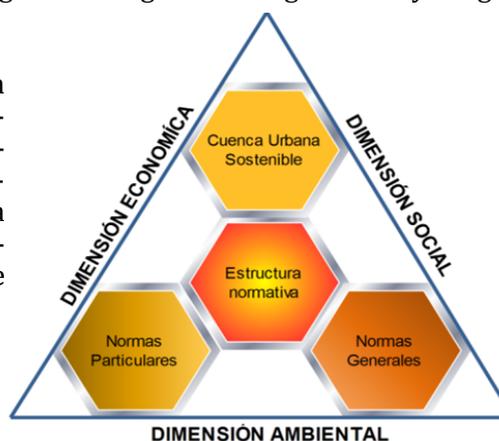
Por esta razón, es considerada factor directo de impacto sobre los procesos de infiltración naturales y de circulación superficial la presencia de tejido urbano o infraestructura de equipamiento en esta investigación, estableciéndolos como zonificaciones de diferenciación de permeabilidad e indicador del grado de sostenibilidad de una cuenca urbana.

## 6. Conclusión y Recomendaciones

La formulación de políticas públicas que prevengan los peligros potenciales de origen natural que enfrentan los asentamientos ubicados en las cuencas urbanas y la implementación de programas que faciliten una atención a la población más vulnerable y su reubicación, debe ser una prioridad por la ausencia de planificación en un suelo con una geomorfología de alto gradiente y de gran fragilidad.

Las políticas hacia los asentamientos poblados que han sido segregados y reducidos a las márgenes físico-espaciales del territorio deben involucrar escenarios de participación para las decisiones que conciernen a la inversión pública y al ordenamiento del territorio como una de las normativas establecidas en los planes de ordenamiento territorial Ley 388 de 1997 y específicamente en el componente ambiental.

**Figura 6.** Componentes para la nueva estructura Normativa de la Cuenca Urbana Sostenible. Fuente: Elaborado por Gustavo Agredo y ampliada por Santo Álvarez, 2014.



La búsqueda de la integración y la recuperación del tejido social como parte de una política no excluyente que involucre a las comunidades a la participación social y disminuya los índices de criminalidad por la ausencia de oportunidades. La planificación de las cuencas urbanas como unidades territoriales permitiría la titularización de los predios haciendo de estos nuevos catastros, áreas operantes para la inversión, y a sus propietarios con posibilidad de acceso a créditos y crecimiento económico. La planificación de las cuencas urbanas reduciría los riesgos antropogénicos y mitigaría significativamente las pérdidas por desastres naturales.

Definir la cuenca urbana como unidad territorial permitirá un control efectivo al caótico proceso de urbanización en cuencas hidrográficas, donde se originan procesos urbanísticos de asentamientos humanos, con actividades sociales, económicas, políticas y culturales, apoyadas en sistemas tecnológicos artificiales que se desarrollan a expensas del sistema natural. En cambio, la Cuenca Urbana Sostenible tiene como finalidad, ser la unidad básica territorial en la media montaña del trópico andino, que integre las dimensiones social, política, ambiental, económica y físico espacial, que permita la sustentabilidad de la ciudad, a partir de la compatibilidad en el uso de las fuentes energéticas y el patrimonio natural, agua como eje articulador y biodiversidad, que ella posea, evitando la iniquidad actual de la población urbana, y asegurando la calidad de vida a generaciones futuras (Figura 7). Y es el modelo donde se pretende llegar en la ciudad de la media montaña del trópico andino (Ágredo, 2013).

Las fuentes de agua presentes en las cuencas urbanas se beneficiaría en la medida que los correctivos se tomen a tiempo evitando la impermeabilización de los cauces hídricos naturales, controlando los deslaves y proceso erosivos que llevan al deslizamiento de las laderas que circunscriben los territorios de las cuencas. Orientar la mirada hacia las cuencas hidrográficas y su evolución en cuencas urbanas es valorar el espacio del territorio, es comprender la importancia del agua para la vida y procurar una sana convivencia entre las fuentes hídricas a quienes les arrebatamos el espacio mediante las transformaciones urbanas sin contemplar que en este proceso se afecta la biodiversidad y la sostenibilidad del ser humano.

La planificación urbana debe ampliar la perspectiva ambiental, entre ellas considerar el agua, no como un recurso, sino como un patrimonio para que el desarrollo de las ciudades y las nuevas propuestas del hábitat humano generen alternativas a las situaciones coyunturales entre el medio natural y el medio artificial; hoy que el agua dulce tiende a presentar muchas presiones y estrés hídrico mientras los ecosistemas desaparecen fácilmente (Ágredo, 2013; Hermelin, 2007; Alzate & Un.Eclac, 2006).

Plantear la ciudad en su ordenamiento territorial como cuencas urbanas permitiría un control ambiental de las mismas y se estudiaría su intervención sostenible, análisis de especies existentes de acuerdo a sus microclimas, generación de especies vegetales y sus forestas en general y sobre todo el elemento de mayor importancia como es la preservación de las fuentes hídricas (Figura 8).

El proceso de análisis del territorio implica el

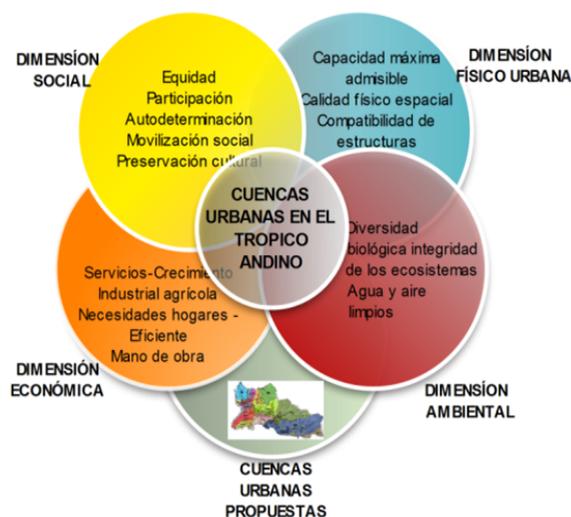


Figura 7. Modelo para la Sostenibilidad de las Cuencas Urbanas en la Media Montaña del Trópico Andino. Fuente: Elaborada por Gustavo Ágredo y ampliada por

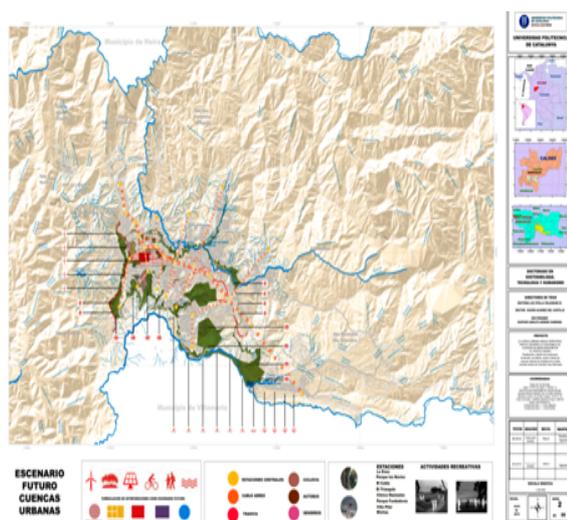


Figura 8. Escenario físico-espacial del Nuevo Modelo de Sostenibilidad para Cuencas Urbanas en la Media Montaña del Trópico Andino. Fuente: Elaborada por Gustavo Ágredo y ampliada por Santo Álvarez, 2014.

involucrar diferentes intereses tanto de las organizaciones como la parte de la sociedad que no se encuentra organizada y que generalmente la forman los ciudadanos de grado de escolaridad escaso o nulo perteneciente a la estratificación económica baja, la que es más carente de oportunidades, de manera que no se tomen decisiones burocráticas que vulneren o atropellen el ideal de mejorar sus condiciones de habitabilidad.

La planificación debe estar en función de la realidad social. La gestión es una herramienta que debe llevar a la seducción, como un atractivo para el ciudadano común, que le permita ser partícipe de su entorno. No debe ser la racionalidad pura, sino el acuerdo de intereses colectivos. Por lo tanto la Cuenca Urbana Sostenible es una búsqueda de la interrelación de personas, de ciudadanos en conexión con gestores políticos, administradores y empresarios en búsqueda de una ciudad más justa y equilibrada.

## 7. Referencias

Ágredo C., G.A. (2013). *La Cuenca Urbana como unidad territorial para la planificación sostenible en ciudades de media montaña en el trópico andino*. Tesis Doctoral. UPC-BarcelonaTech. Barcelona, España.

Ágredo C., G.A., & Álvarez-Ysabel, S. (2014). Hydrological involvement in Andean-case urban watersheds Manizales -Caldas- Colombia. *Revista Energética* 43, 41-53.

Aguas de Manizales S.A. E.S.P. (2012). *Proceso de Tratamiento de Agua*. Recuperado de: <http://www.aguasdeManizales.com.co/AguasdeManizales/LaEmpresa/Nuestrasdependencias/SubgerenciaTécnica/Tratamiento/tabid/894/Default.aspx>

Aguas de Manizales S.A. E.S.P. (2009). Cuencas. Proyecto Cuencas. Retrieved Nov 5, 2012, from <http://www.aguasdeManizales.com.co/AguasdeManizales/LaEmpresa/Nuestrasdependencias/SubgerenciaTécnica/Cuencas/tabid/916/Default.aspx>

Alzate, M. C., & Un. Eclac (2006). *La estratificación socioeconómica para el cobro de los servicios públicos domiciliarios en Colombia: ¿solidaridad o focalización?* Bogotá: Naciones Unidas, CEPAL.

Arango G., O., & Rodríguez P., G. (2004). *Ecorregión Eje Cafetero: un territorio de oportunidades*. Proyecto: "Construcción de un Ordenamiento Territorial para el Desarrollo Sostenible en la Ecorregión del Eje Cafetero": Convenio CARDER-FONADE (Ministerio del Medio Ambiente) No. 1068: Convenio Corporación ALMA MATER-FOREC. Universidad Tecnología de Pereira, 2004. 364 p.

Bordonado Gomis, V. J., Gimenez Ferrer, J., & Olcina Cantos, J. (2004). Aproximación al riesgo de inundación en el municipio de San Vicente de Raspeig. En A. M. R. Amorós, J. O. Cantos, & A. G. Olcina (Coords.), *Aguaceros, aguaduchos e inundaciones en áreas urbanas alicantinas* (pp. 477-480). Alicante [España]: Universidad de Alicante. [ISBN: 84-7908-777-3].

Dane (2010). *Censo General de Colombia. Boletín General 2005. Perfil Manizales-Caldas*. Enlace web: [www.dane.gov.co](http://www.dane.gov.co). Retrieved 7/11/2011, 2011, from [http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL\\_PDF\\_CG2005/17001T7T000.PDF](http://www.dane.gov.co/files/censo2005/PERFIL_PDF_CG2005/17001T7T000.PDF)

Duque Escobar, G., Ortiz, D. O., Vela Murillo, N. P., & Corporación Autónoma Regional de Risaralda (2014). *Proyecto Posicionamiento de la Gobernanza Forestal en Colombia : DCI - ENV/2010/221/025 : Procesos de Control y Vigilancia Forestal en Territorio de la Región Pacífica y Parte de la Región Andina Colombiana : Área de las CAR socias del Proyecto*. Pereira [Colombia]: Carder.

Florez, A. (1986). *Geomorfología del área de Manizales-Chinchiná, Cordillera Central, Colombia*.

Gómez Valentín, M., Macchione, F., & Russo, B. (2009). Comportamiento hidráulico de las calles durante lluvias extremas en zonas urbanas. *Ingeniería hidráulica en México*, 24, 51-62.

Hermelin, M. (2007). *Entorno natural de 17 ciudades de Colombia*. Medellín [Colombia]: Fondo Editorial Universidad-EAFIT.

Instituto de Hidrologia, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2004). *Guía técnica científica para la ordenación de cuencas hidrográficas*. IDEAM-Colombia.

Instituto Geológico Nacional (Colombia), & Instituto Nacional de Investigaciones Geológico-Mineras (IGN) (1953). *Boletín geológico*. Bogotá: Servicio Geológico Nacional.

Inti Illapa (1971). *Canto de la Revolución Inca Túpac Amaru, mártir de la libertad de los pobres*. Lima [Perú]: Editorial Inti.

Lasserre, F., (2005) *Transferts massifs d'eau outils de développement ou instruments de pouvoir?* [Homepage of Presses de l'Université du Québec].

*Ley Orgánica de Organización Territorial (LOOT) N° 1454/2011*. (2011). República de Colombia.

Maldonado Castañeda, C. E. (2009). *Complejidad: revolución científica y teoría*. (Colección Complejidad Facultad de Administración). Bogotá [Colombia]: Editorial Universidad del Rosario.

Naranjo *et al.* (1989). *Geología de Manizales y sus alrededores y su influencia en los riesgos geológicos*. Manizales [Colombia]: Universidad de Caldas.

Orozco-Alzate, M., Velez-Upegui, J., Duque-Mendez, N.D., & Arustuzabakm, B.H. (2014). *Entendimiento de fenómenos Ambientales Mediante Análisis de Datos*. Chapter Análisis multidimensional de datos ambientales. Pages 17. Universidad Nacional de Colombia. Sede Manizales. ISBN: 978- 958-775-282-3

Ortega P., S.C. (2010). *Deforestación Evitada. Una Guía REDD + Colombia*. En S.C. Ortega Ediciones.

Pinilla Agudelo, G. A. (1998). *Indicadores biológicos en ecosistemas acuáticos continentales de Colombia: compilación bibliográfica*. Bogotá [Colombia]: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

Robledo, J.E. *et al.* (1993). *Un siglo de Bahareque en el antiguo Caldas*. Bogotá [Colombia]: El Ancora Ed.

Sanchez Bravo, A. (2006). *El Agua: un recurso escaso*. Sevilla [España]: ArCiBel Ediciones.

Sanchez T., E., & Uribe B., E. (1994). *Contaminación Ambiental en Colombia*. DNP, PNUD.

Suárez, C. A. (2004). *Colombia Andina*. Bogotá [Colombia]: Edit. Norma.

Terradas B., X. (2001). *La gestión de los recursos minerales en las sociedades cazadoras-recolectoras*. Madrid [España]: Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Universidad Nacional de Colombia. Departamento de Urbanismo (2008). Bitácora urbano-territorial: *Revista del Departamento de Urbanismo de la Universidad Nacional de Colombia* (Instituto de Investigaciones Hábitat, Ciudad, Territorio y Transporte).

Van der Hammer, T., Perez P, A, & Pinto E., P. (1983-89). *La Cordillera Central Colombiana, Transecto Parque Los Nevados* (Introducción y datos iniciales). Studies on Tropical andean Ecosystems. Estudios de Ecosistemas Tropandinos. J. Cramer, Vaduz. Vol. 1. 345 pp.