

## **PÉRDIDA DE LA COBERTURA VEGETAL Y DE OXÍGENO EN LA MEDIA MONTAÑA DEL TRÓPICO ANDINO, CASO CUENCA URBANA SAN LUIS (MANIZALES)**

JAVIER ÁLVAREZ DEL CASTILLO<sup>1</sup>, GUSTAVO ADOLFO AGREDO CARDONA<sup>2</sup>

Recibido el 30 de octubre de 2012 y aprobado el 2 de mayo de 2013

### **RESUMEN**

#### **Objetivo**

Este artículo presenta una visión del territorio, en la media montaña del trópico andino, a partir del proceso de ocupación antrópica y paulatina de las cuencas hidrográficas, que se transforman en cuencas urbanas, transformación que va relegando la cobertura vegetal hacia la periferia y en las áreas no accesibles para la acción urbanizadora, ocasionando un impacto en la cobertura verde, en la producción de oxígeno y por lo tanto en la biodiversidad; desestabilizando el ecosistema.

#### **Metodología**

Consiste en el análisis multitemporal, mediante aerofotografías y cartografía de diferentes épocas, con procesos digitales y software de SIG y con la aplicación de un ejercicio de medición matemático, ejercicio realizado en la cuenca de San Luis de la ciudad de Manizales.

#### **Resultados**

El análisis presenta resultados sobre el avance urbanístico en la cuenca San Luis y la disminución de la cobertura vegetal, con influencia en pérdida de producción de oxígeno, aplicando mediciones que tienen en cuenta las características altitudinales del lugar, el impacto solar en la vegetación.

#### **Conclusiones**

Los procesos de urbanización van eliminando las áreas verdes de la ciudad, de manera que reduce la posibilidad de fijación de CO<sub>2</sub> en los árboles, provocando pérdidas de aporte de oxígeno, aumento de temperaturas, disminución de cauces de agua y de biodiversidad entre otros aspectos.

### **PALABRAS CLAVE**

Cuenca urbana, homeostasis, aerofotografía, territorio, ecotonos.

## **LOSS OF VEGETATION COVER AND OXYGEN IN TROPICAL ANDES MEDIUM ALTITUDE MOUNTAINS, THE SAN LUIS (MANIZALES) URBAN BASIN CASE**

### **ABSTRACT**

#### **Objective**

This article presents an overview of the territory in the Andean tropical medium altitude mountains from the gradual human occupation process in the watersheds which are transformed into urban basins, a transformation that relegates vegetation cover to the periphery and areas not accessible to the urbanizing action, causing an impact on the green cover, in the

production of oxygen and therefore in biodiversity thus making the ecosystem unstable.

### **Methodology.**

The methodology consists of multi-temporal analysis, using aerial photography and mapping different times, with digital processing and GIS software and the application of a mathematical measurement exercise in the San Luis Basin in the city of Manizales.

### **Results**

The analysis presents results on urban progress in San Luis basin and decreased vegetation cover, influencing oxygen production loss, using measurements that take into account the altitude of the place, the solar impact on vegetation.

### **Conclusions**

Urbanization processes are eliminating the green areas of the city, in such a way that the chance of CO<sub>2</sub> fixation in the trees is reduced, causing loss of oxygen supply, increased temperatures, decreased waterways and biodiversity among others.

### **KEYWORDS**

Urban basin, homeostasis, aerial photography, territory, ecotones.

---

## **INTRODUCCIÓN**

Las relaciones entre organismos vivos y los elementos abióticos de un entorno, se han llamado desde el concepto biológico, ecosistemas (Anker, 2001). Los organismos vegetales se organizan en comunidades y viven en ese hábitat, interactuando conforme a las particularidades del lugar. Los animales, por ejemplo, se han organizado en cadenas tróficas para el traspaso de flujos físico-químicos y energéticos. Estas formas de organización son precisas en la transformación de materia a energía para la vida.

En el caso de las estructuras urbanas, la ciudad hábitat del hombre es un modelo o espacio modificado que difiere de los ecosistemas naturales, por ser un sistema tecnológico que no puede en forma eficiente regular los ciclos del agua, del oxígeno y el energético, porque las leyes que rigen este sistema no permiten la renovación continuada de la vida, como ocurre con la homeostasis de ecosistema natural.

El invento humano que es la ciudad, evidencia la ruptura entre hombre y naturaleza; es en ella donde el hombre desarrolla su tecnología. En Inglaterra los adelantos mecánicos y técnicos, como la máquina a vapor, hacen parte de la fuerza que despertó, movió y catapultó al hombre de su letargo de recolector y agricultor, a otra forma de vida y pensamiento, basado en la producción industrial, transformándolo en un ser tecnológico.

Los bienes agrícolas producidos por la explotación del campo, quedan relegados cuando la producción industrial y manufacturera moviliza la población de las áreas rurales y las fraterniza en hordas, nuevas tribus que

conformaran la ciudad. Repercutiendo con otras formas de ganancias económicas, para aquellos que buscaban una mejor forma de vida (De Terán, 1984; 1982). Paradoja del mundo, cuando el hombre de las ciudades necesita para la subsistencia de un consumo energético que se genera en el suelo, en la tierra rural, y en los cultivos.

Actualmente la explosión demográfica aumenta considerablemente en las ciudades, extendiéndose sobre el territorio urbano y este absorbiendo el territorio rural. “[...] las áreas urbanas y edificadas ocupan en la actualidad más de 471 millones de hectáreas o el 4% del área terrestre. Cerca de la mitad de la población del mundo—aproximadamente 3000 millones de personas—vive en ciudades”(Instituto de Recursos Mundiales, Banco Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente& Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2002).

Si el cambio tecnológico para Europa significó la fluctuación de la población entre las zonas agrícolas y la ciudad, para el caso colombiano la migración del campo a la urbe que es el incentivo de un trabajo remunerado, en aparente mejor condición que la del campo; también, la necesidad de la sobrevivencia por las acciones violentas de grupos armados (Ibáñez & Vélez, 2008) obligan a la población a su desplazamiento.

En un país como Colombia, donde el desarraigo marca un paso entre la sobrevivencia o la muerte, la población campesina se aboca al desplazamiento forzado a las zonas periféricas de las ciudades intermedias, incrementando su miseria y generando cordones de inseguridad, entre otros problemas, cuando se ocupan tierras en zonas no aptas para la urbanización (Flórez & González, 1983).

Una amalgama de circunstancias naturales, sociales, económicas y políticas, concretan la forma de ocupación del suelo colombiano en la montaña tropical andina, con la migración campo- ciudad .Tierra con un suelo fértil propicio para el cultivo de café, que es un generador de divisas, haciendo el suelo atractivo y donde sus habitantes en esta región, derivan el sustento (Gómez, 1993).Sin embargo, si en una época la Revolución Industrial motivó el desplazamiento de la población rural a las ciudades, hoy se considera que la segunda revolución es la migración, por los desequilibrios regionales (Gómez, 1993; De Solà-Morales & Laboratori d’Urbanisme de Barcelona, 1997), como los conflictos bélicos, en el caso colombiano.

En las utopías sobre la ciudad ideal del Renacimiento, el hombre busca encontrar la fórmula que le permita habitar la ciudad en forma eficiente, tal como pretende la planificación y ordenación urbana del territorio en Colombia, que se basa en principios o acuerdos político-administrativos (Ruiz et al., 2010) sin embargo se ha de tener en cuenta la complejidad ambiental de la ciudad del trópico andino; su ubicación sobre la cadena montañosa de los Andes suramericanos, la hace particular, como lo expresara Humboldt sobre Bogotá (Puyo, 1992), de manera que en la ordenación del territorio se desconocen factores ecosistémicos, la biodiversidad, la geomorfología y sus sistemas de drenajes naturales, entre otros aspectos.

Estas montañas con altas pendientes, generalmente de difícil acceso, son susceptibles a procesos naturales como lluvias y fenómenos climáticos, inundaciones, sequías, y sobre todo, situaciones geodinámicas como

deslizamientos de tierra, que son lugares de escenario para los procesos urbanos en el trópico andino y de actuaciones antrópicas (Patiño, Castillo & Ramírez, 2005; Hermelín, 2007), como la producción agrícola y la localización de asentamientos humanos en la periferia de las cuencas urbanas, son propicios para calificarse como zona de riesgo.

La ocupación de la montaña también trae destrucción de detritos vegetales, disminución de humus, pérdida de propiedades físicas del suelo, desertificación y desestabilización de los agregados; el suelo transformado incorpora vertimientos contaminados a los cauces de las cuencas que influyen posteriormente en la deficiente potabilización de estas (Balanyá & Cerdà, 2005), como se puede comprobar en la contaminación de los ríos principales de Colombia, Cauca y Magdalena, y los que hacen parte de la red hídrica de las ciudades en Colombia.

La ciudad, el modelo de crecimiento, el aumento de la población, su consumo energético, los sistemas de movilidad, la utilización de las fuentes de agua, la emisión de CO<sub>2</sub> y la absorción de este, entre otros aspectos, hacen parte de la ecología urbana; motivan a plantear la pregunta sobre: ¿Cómo debe ser aplicado el concepto de sostenibilidad? Por lo tanto, este artículo basado en la investigación doctoral que se realiza en la Universidad Politécnica de Cataluña, llamada "La cuenca urbana como unidad territorial para la planificación del desarrollo sostenible en ciudades de media montaña del trópico andino", analiza la incidencia o impacto de la estructura construida, sobre la estructura verde de la ciudad de Manizales. Ciudad de media montaña en el trópico andino.

El análisis presenta la evolución de la ciudad en una cuenca urbana, en particular (la cuenca de San Luis, Manizales, Caldas, Colombia), que sirve de modelo para estudiar el desarrollo urbanístico y la desaparición paulatina de la estructura verde, hasta relegarla al área periférica, donde por circunstancias morfológicas del terreno es inadmisibles edificar.

### **Contexto geográfico**

En América del Sur, Colombia geográficamente es atravesada por tres ramales de cordilleras, en una de ellas se presenta la mayor concentración de actividades humanas, esta es la Cordillera Central montaña tropical andina. Su fisiografía dinámica, alberga nevados y macizos volcánicos activos e inactivos, en evolución geomorfológica de transformación del relieve, cuencas hidrográficas, con una variación de montañas hasta descender a valles.

Esto le permite tener una diversificación en pisos térmicos, suelos y regímenes de lluvias que aportan corrientes de agua desde las nieves o glaciares, hasta convertirlos en afluentes de beneficios para los asentamientos humanos, en ciudades localizadas a lo largo de la Cordillera de los Andes. Como en el caso de Colombia, Manizales ciudad en la media montaña del trópico andino, tiene una compleja fisiografía del territorio, con zonas de vida que por su fragilidad son susceptibles a su destrucción; además, el proceso de urbanización sobre las cuencas de esta ciudad y en particular la cuenca de San Luis, presenta pérdida de su cobertura verde en diferentes periodos de tiempo.

Pero, uno entre los múltiples problemas de la ciudad latinoamericana y en particular la ciudad de media montaña andina en Colombia, es la ocupación

del escaso suelo apropiado para urbanizar. En parte han desaparecido selvas primarias, secundarias y forestas, donde se han arruinado áreas silvestres, por la efímera ganancia que ofrecen los cultivos ilícitos, por la actividad ganadera y en estos últimos años por las concesiones mineras.

También, cada desarrollo urbanístico conlleva la depredación del medio natural, la superpoblación de las ciudades, fenómeno de la ciudad capital de Colombia, de manera que los niveles de superpoblación desequilibran la capacidad de sustentación del medio natural, y por lo tanto afectan los ecosistemas y de las cuencas hidrográficas como es el caso de Bogotá (Gobernación de Cundinamarca, Departamento Administrativo de Planeación, Sociedad Geográfica de Colombia & Academia de Ciencias Geográficas, 2000).

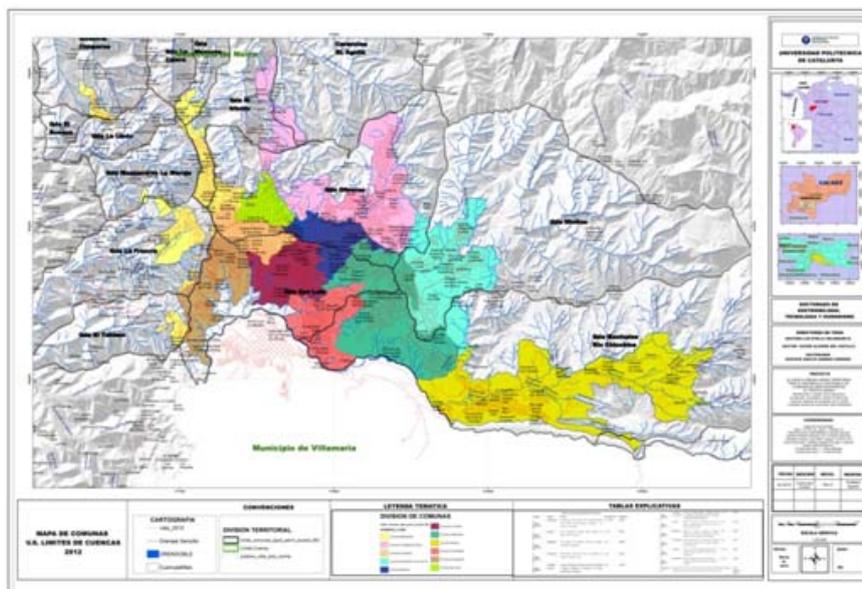
Las lluvias hacen parte de este contexto de inestabilidad del terreno; cuando se incrementan y el suelo no tiene la capacidad de absorción y retención del líquido, se presentan deterioros en la infraestructura vial (Londoño de Maldonado, 1998), causando dificultades para la movilidad de productos entre los municipios, quedando –como en el caso de Manizales– muchas veces incomunicados.

### **Ordenamiento del territorio**

Desde el descubrimiento de América, en Colombia la ordenación del territorio ha sido impuesta; los límites territoriales o bien se otorgan por intereses de capital o se definen por grupos al margen de la ley que crean fronteras artificiales. Aunque la división territorial tiene un soporte normativo y jurídico, no es la planificación ambiental, sino el factor económico, el que enfatiza esta situación.

El ordenamiento del territorio se basa en acuerdos políticos administrativos y no en aspectos ecosistémicos o de carácter ambiental, solo el Decreto 1729 establece el ordenamiento del país por medio de cuencas hidrográficas, superando a los conocidos POT (Planes de Ordenamiento Territorial) Ley 388 de 1997, siendo un tema de discusión la reglamentación por las áreas metropolitanas que administrativamente crean dificultades para definir las geográficamente (Ruiz et al., 2010).

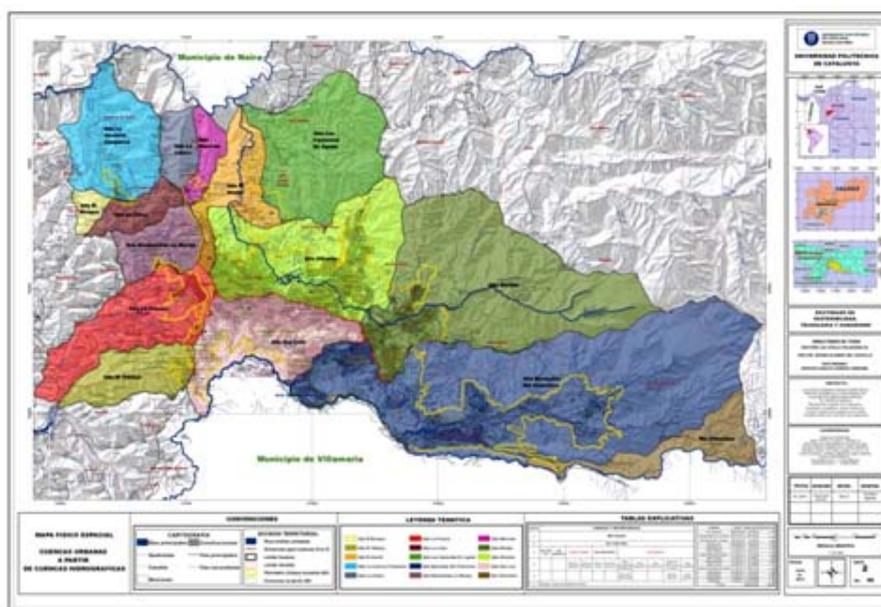
La Constitución de Colombia del año 1991 y la propuesta de la Ley Orgánica de Ordenamiento Territorial (LOOT), reconocen a los departamentos, los distritos, los municipios y los territorios indígenas como entidades territoriales y permite la creación de otras entidades territoriales, ampliando de esta manera la posibilidad de organización, para la promoción y el desarrollo del espacio físico del país.



Fuente: Elaborado por el autor.

**Figura 1.**Comunas ciudad de Manizales (Colombia), según POT-Plan de Ordenamiento Territorial de Manizales.

Las comunas hacen parte de los municipios, pero a los barrios inscritos en estas solo los une el límite imaginario, porque las barreras topográficas impiden su integración; la propuesta que considera las cuencas urbanas como unidades territoriales, busca la integralidad administrativa y ecosistémica. La **Figura 2** ilustra la propuesta de ordenamiento por cuencas urbanas y de ella parte el análisis en la cuenca de San Luis.



Fuente: Elaborado por el autor (2009).

**Figura 2.**Cuencas urbanas ciudad de Manizales, en la media montaña andina del trópico andino (Colombia). Modelo propuesto para el ordenamiento territorial.

### Suelo urbanizado a la fuerza

Sobre la Cordillera Central, en los Andes colombianos, está el Macizo Cumanday a una altura aproximada de 5400 msnm, con picos nevados, donde descienden corrientes de agua que se vierten para el beneficio de la ecorregión-Eje Cafetero y las ciudades que la conforman (Manizales, Pereira, Armenia). A una altura sobre el nivel del mar de 2140 metros, se erige la ciudad de Manizales (Uribe, 2004); entre los años 1834 y 1848 se consolida el proceso fundacional de la ciudad.

Su conformación como poblado, hasta constituirse en una de las primeras ciudades intermedias de Colombia, hace parte de una actitud inflexible ante lo agreste e indómito del territorio, o como dijera Loaiza “los abismos de la cordillera”, reiterando más adelante en su mismo texto: “voluntad de seguir aferrados al espinazo de la cordillera” (Loaiza, 2001).

Así, la fundación de la ciudad de Manizales, conlleva necesariamente la transformación de la montaña; el trazado de las calles, en forma de damero, no es más que un concepto genético de herencia colonial y la única forma conocida hasta ese momento de ordenar un territorio. La modificación del suelo, con el método conocido como lleno hidráulico (Ruiz, 1981) y que buscaba aplanar las zonas para hacerlas apropiadas para las edificaciones que se erigirían, fue considerada en una época como una iniciativa coherente para el poblamiento del territorio, de lo contrario el suelo de ladera con una actividad sísmica no beneficiaba el proceso fundacional.

### Urbanización actual

Hoy, edificar sobre laderas se convierte en una forma de voracidad de quienes construyen, aprovechándose de la necesidad humana de ocupar un hábitat. De esta manera se levantan las ciudades que desafían a la naturaleza, haciendo de la tierra un paisaje fragmentado (Collinge, 1996), reflejado en la pérdida de ecotonos o corredores biológicos, poniendo en riesgo la vida humana.

El modelo de desarrollo físico de la ciudad, varía según su topografía y la influencia de las condiciones sociales, económicas y políticas de gobierno, que han condicionado su aspecto formal. En sus inicios la ciudad tiene un aspecto preconcebido, reticulado y ordenado, como cuando se da la **generación de las nuevas ciudades**, medidas de calles y plazas estipuladas, lotes con áreas en proporciones equivalentes y desde luego los espacios del poder religioso y político alrededor de la plaza.

La circunstancia social, la lucha bipartidista en Colombia, arrastra una gran población que ocupa los espacios libres de la ciudad del núcleo urbano y empieza a sufrir un proceso de **colmatación interna**; paso a las primeras invasiones sobre lo cual la administración no tenía control, o simplemente, tenía la complacencia del poder político de aquella época.

A medida que la población crece, la ciudad se restringe en su suelo, quedan solo las zonas de ladera y ella se adapta a los nuevos inmigrantes facilitándose una **generación periférica**, también estimulada con las políticas de vivienda que desarrollan planes de urbanización en áreas distantes del centro de la ciudad.

### **Transformación de la cobertura verde**

No obstante, cuando se hace un análisis del desarrollo o proceso urbanístico de la ciudad, se observa que la transformación del territorio en varios periodos de tiempo ha impactado no solo en la forma urbanística de localización de los asentamientos, sino también en la cobertura vegetal que se ve afectada, porque los pocos suelos planos y aptos para la construcción son ocupados.

La información sobre las coberturas del suelo en diferentes periodos de tiempo se obtiene de las aerofotografías del IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) y la base cartográfica de la misma entidad, y permiten la interpretación de dos coberturas, forestales y herbáceas.

Un análisis multitemporal, en una de las cuencas urbanas de la ciudad de Manizales, la cuenca de San Luis, muestra cómo la cobertura vegetal ha sufrido procesos de cambio por el desarrollo urbanístico. Los registros aerofotogramétricos y la cartografía de esta área de estudio así lo demuestran.

En este contexto, Manizales ciudad de media montaña del trópico andino, presenta transformaciones en su suelo, bien sea por su uso, por fenómenos como deslizamiento de laderas o erosión de masas, por la fragilidad de sus suelos; por pérdida de cobertura en actividades de ganadería a menor escala, por ocupación de viviendas subnormales o que no llenan los requisitos de habitabilidad, y principalmente por la actividad constructora a raíz de la rentabilidad que ofrece la urbanización (Ridler, 1979).

### **Causas de los desequilibrios en la cobertura verde**

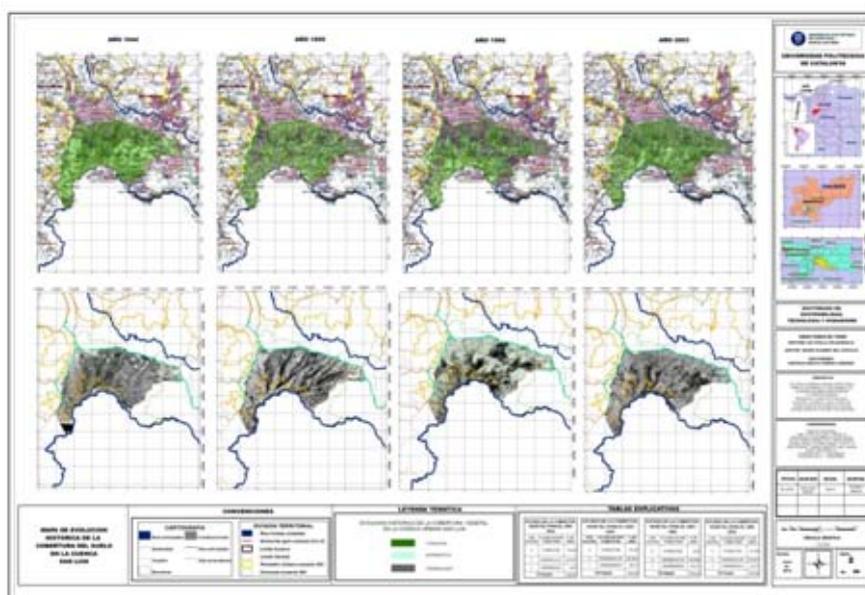
Varios factores se pueden señalar como los causantes de la pérdida en la cobertura vegetal, aunque algunos son el resultado de las características del suelo y su proceso evolutivo natural, otros antropogénicos, son los que más enfatizan esta situación:

- Carencia de una planificación que integre los procesos político-administrativos y las particularidades ecosistémicas y ambientales del territorio.
  - Migración o desplazamiento.
  - Escasez de suelo urbanizable.
  - Aumento de la población por fertilidad.
  - Topografía con altas pendientes.
  - Desarrollos urbanísticos espontáneos no planificados.
  - Desarrollos urbanísticos en suelos no aptos.
  - Deficiencia de control urbano estatal.
  - Regímenes de lluvias, que superan los niveles pluviométricos normales.
  - Actividades agrícolas y ganaderas en laderas.
-

## METODOLOGÍA

### Representación gráfica del área de estudio

La cartografía que se elabora para este trabajo, mezcla aerofotografía de la cuenca urbana de San Luis en diferentes periodos de tiempo e incorpora planimetría basada en el IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi) como planos base, además del DEM-NASA, obtenidos en el Laboratorio de Aerofotogrametría de la Universidad Nacional de Colombia sede Manizales; sin embargo, los resultados gráficos son el proceso de manipulación digital e interpolación de datos, que permite generar los resultados que se observarán a continuación, como son las coberturas del área en estudio y los procesos de urbanización, apoyados en un trabajo de software de georreferenciación, y coordenadas que facilitan la aproximación a una realidad del contexto que se presenta.



Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Figura 3.** Cuenca de San Luis (Manizales, Colombia), evidencia la transformación multitemporal del territorio, su estructura construida y la pérdida de la estructura verde.

### Método de análisis multitemporal de la producción de oxígeno en la cuenca de San Luis

Con base en el procesamiento de la planimetría de la cuenca de San Luis, se realiza un estudio a las imágenes aéreas; esta aproximación visual, complementada con cartografía multitemporal, evidencia la disminución de la estructura verde y por consiguiente –según el análisis realizado– el cambio en el comportamiento del oxígeno aportado a la cuenca urbana o la pérdida del mismo, como una consecuencia del avance de la urbanización.

En este análisis se observa la importancia de la existencia de la estructura verde en la ciudad; su aporte de oxígeno con los datos que se tienen. Resultados con mayor precisión, se obtienen cuando las aerofotografías, son de mejor calidad y resolución, en periodos secuenciales más cortos.

Existen también, otros sistemas de medición para determinar la producción de oxígeno de los árboles; sin embargo, es importante aclarar que la producción de oxígeno de las especies vegetales está sujeta a condiciones de la especie, tamaño del árbol, follaje, grosor de tronco, e inclusive las mismas condiciones del suelo que ocupa cada especie.

---

## RESULTADOS

### Datos obtenidos del análisis y la exploración aerocartográfica

Los periodos de tiempo analizados corresponden a la obtención de la aerofotografía de los años respectivamente descritos: 1944, 1955, 1990, 2003; los datos que son obtenidos, están definidos solo por los periodos donde la fuente de información lo permitió.

Las precisiones evolutivas de la urbanización y la estructura verde, con mayor número de elementos para su análisis, facilitarán una discusión más amplia y precisa sobre factores de evolución de la construcción y pérdida del bosque secundario; sin embargo, lo interesante del análisis es permitir un proceso metodológico que, con ayudas actuales, evidencie la forma de la planificación, los periodos evolutivos y las correcciones a tomar para una planificación de carácter estratégico de la ciudad, aún más cuando la fotografía satelital es un medio de referencia actualizada y de mayor resolución de imagen. La importancia de valorar la pérdida de cobertura vegetal, es por tratarse de un fenómeno mundial, como lo menciona Cristóbal von Rothkirch el autor de "Alta Colombia: el esplendor de la montaña", además de otra situación que es el aumento de la desertificación, a la que se suman actividades como la producción agrícola, la explotación maderera y la extracción minera que influyen para que se extienda la frontera urbana.

"En Colombia se pierden 6 mil kilómetros cuadrados de bosques al año" Mattié Mailer (2007). Los factores como incendios forestales, expansión de la frontera agrícola, tala de bosque y uso en leña, y los procesos urbanizadores van ocupando el territorio y restando áreas verdes.

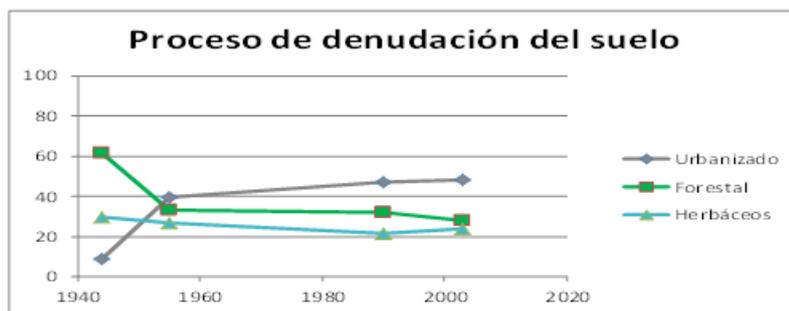
### Procesos de denudación del suelo

La planimetría correspondiente a los periodos de 1944 a 2003 que muestra la **Tabla 1**, cotejada con las aerofotografías de la **Figura 3**, sugiere una tendencia a urbanizarse la cuenca de San Luis de occidente a oriente de la ciudad. Se observa la **Figura 2** y se aprecia que el centro de la ciudad está completamente saturado, y que la orientación de ocupación urbana está dada en sentido oriente aferrada a la linealidad que presenta la geomorfología del terreno, sobre toda la divisoria de aguas de las cuencas presentadas nuevamente en la **Figura 2**.

Año	Urbanizado	Forestal	Herbáceos
1944	8,54%	61,69%	29,76%
1955	39,71%	33,35%	26,94%
1990	46,81%	31,91%	21,28%
2003	48,07%	27,87%	24,06%

Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Tabla 1.** Comparación urbanización, forestal, herbáceos. Evolución de la Estructura construida vs. Estructura verde de la cuenca de San Luis, en porcentaje.



Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Gráfico 1.** Gráfico de la evolución de la estructura construida vs estructura verde de la Cuenca de San Luis.

A partir de la **Tabla 1**, puede verse que en 1944 el porcentaje urbanizado fue de 8,54%, el forestal de 61,69% y el de herbáceos de 29,76%, en el año de 1955 se aumentó al 39,71% el porcentaje urbanizado, disminuyendo a su vez el porcentaje forestal al 33,35% y el de herbáceos al 26,94%, lo que indica la acelerada y drástica expansión del área urbana en el sentido occidente oriente de la ciudad, según se aprecia también en la cartografía y las aerofotografías.

En los años 1955 a 2003, la curva de crecimiento continúa, con tendencia de subida suave, respecto a los años anteriores con un 8%. Mientras que entre los años 1944 a 1955 se observa que la urbanización creció un 40%, diferente a la tendencia de los últimos 50 años. Algunos autores expresan que el desplazamiento de la población ocupó las cabeceras municipales de las ciudades en la zona cafetera (Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Urbanismo, 2008).

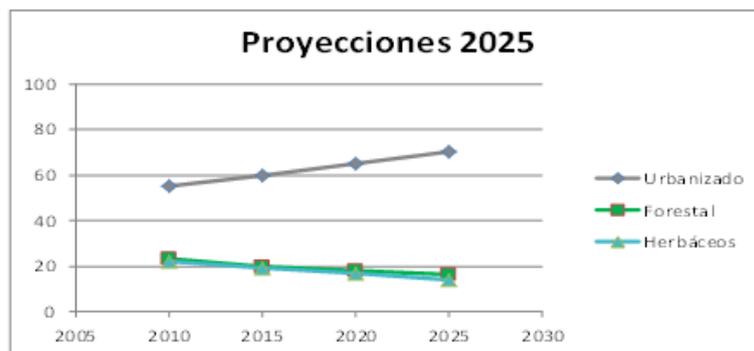
### Escenario futuro

La proyección, aumentando un 5% por año en porcentaje urbanizado desde el 2010.

Año	Urbanizado	Forestal	Herbáceos
2010	55%	23%	22%
2015	60%	20%	19%
2020	65%	18%	17%
2025	70%	16%	14%

Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Tabla 2.** Proyección urbanización, forestal, herbáceos



Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Gráfico2.** Gráfico desimulación, donde se proyecta la tendencia de la Estructura construida vs estructura verde de la Cuenca de San Luis, en Manizales.

Efectuando una simulación, que para el año 2010 se presentara un 50% de ocupación del suelo en forma urbanizada y este aumentara tan solo en 5% para los años 2015, 2020 y 2025, en este último año se presentaría un 30% entre herbáceos y forestales, dificultando las condiciones ambientales del lugar, pérdida de calidad de vida, de biodiversidad y de oxígeno.

Mediante el siguiente ejercicio metodológico se presentan los siguientes resultados:

Según la fórmula, que permite determinar la carga piezométrica:

$$H_A = 10,33 - \frac{h}{869,57}$$

$h = 2080$  (altura en metros de la ciudad de Manizales con respecto al nivel del mar).

$H_A = 7,94$  (carga piezométrica en metros, en la ciudad de Manizales).

Necesitamos convertir la carga piezométrica de metros de columna de agua a presión en atmósferas.

$H_A = 0,77$  (presión atmosférica en la ciudad de Manizales en atmósferas).

$T = 17$  (temperatura °C).

Convertimos la temperatura de grados centígrados a temperatura absoluta en grados Kelvin, para eso le sumamos 273 (constante) a los grados centígrados.

$T = 290$  (grados Kelvin absoluta).

$P = H_A = 0,77$  (presión atmosférica).

1 m<sup>2</sup> de hojas produce, con luz solar, un volumen de 3 litros de oxígeno por hora (González, 2009). Aplicando la ecuación de los gases ideales, que se muestra a continuación:

$$a(g) = \frac{pVM}{RT}$$

V =3 (Litros de oxígeno).

M=15,9994 g/mol; masa atómica oxígeno.

R=0,0821 atm.L/mol-k constante de los gases ideales .

a(g) = 3,098 gramos de oxígeno por hora (gO<sub>2</sub> x h) .

Horas de sol de Manizales = 12 horas.

Número de días del año = 365días.

Horas= 4380.

Si multiplicamos las 4380 horas del año por los 3,098 (gO<sub>2</sub> x hora), que produce 1 m<sup>2</sup> de cobertura verde, encontramos la cantidad de oxígeno por año por metro cuadrado de cobertura verde:

Oxígeno por m<sup>2</sup> =13,57 Kg de O<sub>2</sub>/m<sup>2</sup>

Por lo tanto, el análisis multitemporal de la cuenca urbana de San Luis, presenta la siguiente pérdida de oxígeno como resultado del crecimiento de la estructura construida y la disminución de cobertura verde.

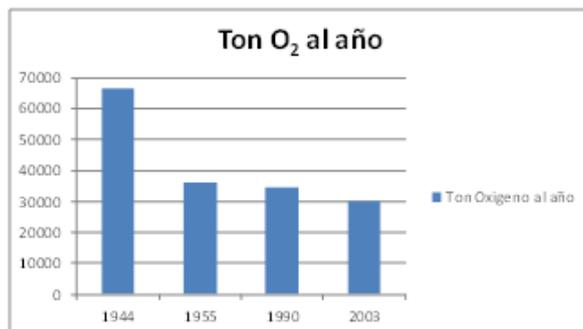
<b>Evolucion de la Produccion de Oxigeno de la Cuenca San Luis</b>					
<b>Año</b>	<b>Clasificación Cobertura</b>	<b>%</b>	<b>Area m2</b>	<b>kgO<sub>2</sub>/m2</b>	<b>Kg O<sub>2</sub></b>
1944	Forestal	61.69	4908064.24	13.57	66602
1955	Forestal	33.35	2652939.00	13.57	36000
1990	Forestal	31.91	2538655.51	13.57	34450
2003	Forestal	27.87	2217246.29	13.57	30088
<b>Area de la Cuenca San Luis</b>		<b>=</b>	<b>7955673813 m2</b>		

Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Tabla 3.** Evolución de la producción de oxígeno de la cuenca de San Luis

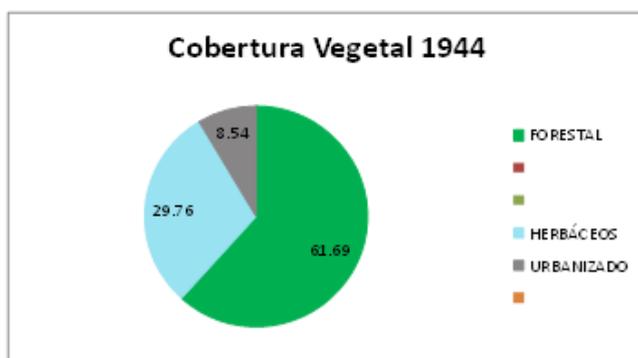
En la **Tabla3** se muestra una reducción de la estructura verde según los datos de porcentajes en los diferentes periodos de tiempo, la relación entre la actividad edificadora y la pérdida de masa forestal; entre los años 1944 y 1955 es un porcentaje de pérdida de masa forestal aproximada a un 50%, de esta manera se puede deducir que la producción de oxígeno se reduce cuanto más se urbaniza, y se hizo más moderada la pérdida de bosque secundario a partir de 1955 hasta el año 2003.

Las circunstancias que pueden suponer para la disminución del ritmo edificatorio, es la dificultad para construir en terreno de ladera, que además de incrementar costos en cimentación, además de la relación costo-beneficio, es susceptible el suelo de estar afectada su ocupación, por normativa municipal, como zonas de protección.



Fuente: Elaborado por el autor (2010).

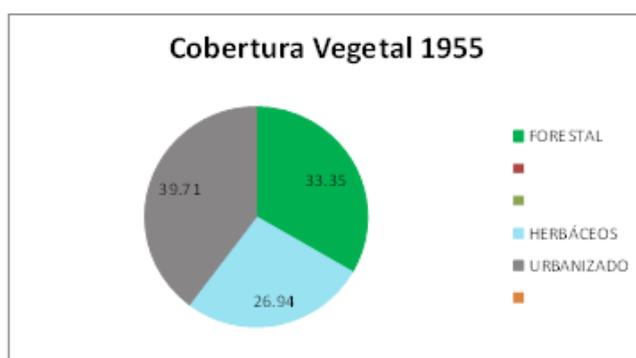
**Gráfico 3.** Producción de oxígeno en cada año según cartografía y datos de los diferentes periodos de tiempo, y la disminución de toneladas de oxígeno por cada año, donde se obtuvieron los datos.



Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Gráfico 4.** Cobertura vegetal del año 1944. Se puede observar que más del 50% del área de la cuenca, posee cobertura vegetal (herbáceos y forestal), y menos del 10% es la actividad edificada.

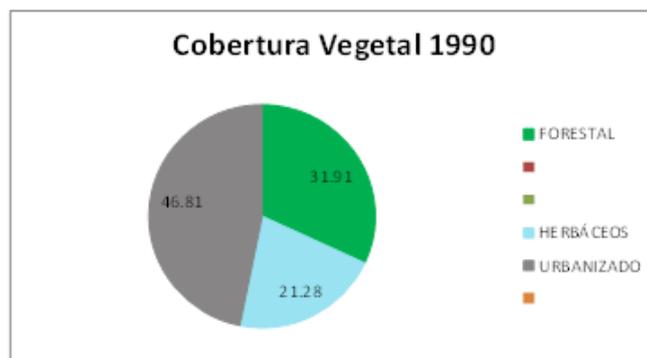
En un porcentaje pequeño se manifiesta la estructura construida, cuando casi en un 90% la estructura verde supera la ocupación territorial de la cuenca; hasta el suelo de producción herbácea se ve con favorabilidad, respecto a la mancha gris, la riqueza de un ecosistema natural casi sin ser intervenido.



Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Gráfico 5.** Cobertura vegetal del año 1955. Aún se conserva un porcentaje que supera 50% del área verde entre herbáceos y forestal, pero la actividad edificadora se triplica respecto al año 1944.

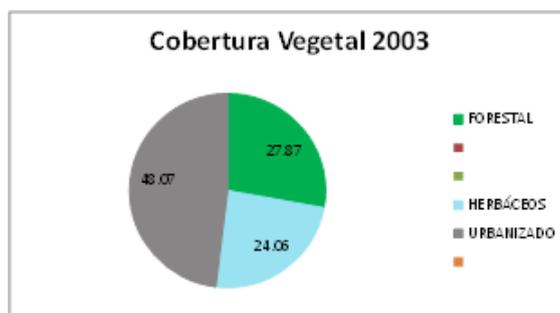
Casi diez (10) años después, la cobertura vegetal disminuye y la estructura construida supera inclusive el porcentaje del área forestal; la pérdida en los herbáceos es menor comparativamente al forestal. Tres aspectos se destacan: ¿Cuál o cuáles fueron las circunstancias que motivaron este incremento de urbanización? ¿Por qué se reduce el área verde forestal? Y por último, ¿Cuáles son las circunstancias para no ser ocupado el suelo herbáceo?



Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Gráfico 6.** Cobertura vegetal del año 1990. Entre los años 1955 y 1990, menos del 10% de la actividad edificadora se presenta; la relación de la cobertura verde en la parte forestal disminuye, creciendo el área en herbáceos, pero se conserva el 50% de la cobertura vegetal.

Un cambio del 7% muestra la cuenca de San Luis en comparación del año 1955, pero aun así es la ocupación del territorio en un 50% aproximadamente; ya en este caso, la opción de urbanizar toma tanto del área de forestas como de herbáceos; continúa una apropiación o degradación del ecosistema natural.



Fuente: Elaborado por el autor (2010).

**Gráfico 7.** Cobertura vegetal del año 2003. La urbanización muestra una aproximación al 50% del área de la cuenca urbana de San Luis, y aunque se conserva la cobertura vegetal, tanto herbáceos como forestal, como figura en la imagen, tienen la tendencia a equilibrar sus áreas de ocupación espacial, con la reducción del área forestal.

Se urbaniza aproximadamente el 2% respecto a 1990, con una pérdida del 4% en forestal y un aumento en el herbáceo de un 3%; puede considerarse que el herbáceo toma área del forestal en suelos preparados para ser edificados a futuro, y la disminución en la urbanización en situaciones de recesión inmobiliaria para aquella época, además de llevar al límite posible el área a urbanizar por condiciones de la pendiente del terreno.

---

## DISCUSIÓN

### Acciones de remediación

En la actualidad, una red de ecoparques envuelve la ciudad de Manizales. Ha sido el resultado de un ejercicio que nació en la academia (Universidad Nacional de Colombia sede Manizales) y que en forma posterior fue adoptado en el Plan de Desarrollo del Municipio, para los años 1995 a 1997, mediante la aplicación del capítulo Plan Ambiental Bio-Manizales. Ello, ha permitido a la ciudad una recuperación de las áreas de forestas, protección de laderas, incrementando la cobertura verde y la biodiversidad de la ciudad, así nacen el ecoparque Alcázares-Arenillo, el ecoparque La Cristalina, el ecoparque Los Caracoles, el ecoparque Los Yarumos, el ecoparque Central Universitario, entre otros. Convirtiéndose en una acción directa ante el avasallante ritmo de la actividad edificadora en la ciudad de Manizales.

---

## CONCLUSIONES

Esta investigación presenta evidencias sobre la pérdida de estructura verde por la acción urbanística, sumada a una reducción de producción de oxígeno considerable por la pérdida de la cobertura vegetal; es de anotar que también conlleva a la desaparición de biodiversidad y la reducción del área ideal por habitante en zonas verdes, que para la ONU son de 8 m<sup>2</sup> por habitante (Azcu, 1999); y para Colombia, el Decreto 1504 de 1998 manifiesta que para ciudades de más de 100.000 habitantes, deben ser 15 m<sup>2</sup> de área verde. El Departamento Nacional de Planeación reconsideró el área por habitante en el 2006 según el documento 2019, determinando solo 10m<sup>2</sup>/hab.

El ciclo del agua es considerado uno de los procesos naturales más importantes y de alto impacto en el suelo urbanizado, aunque este se afecta por múltiples factores, es cierto que la pérdida de la estructura vegetal incide definitivamente en el aumento de la temperatura en las ciudades o lo que también se le ha llamado islas de calor o termal, y en la falta de retención de la humedad que proporciona el ciclo del agua, por el detrimento de cobertura vegetal.

Los árboles en su composición física aportan en la naturaleza desde las raíces y el tronco la absorción de CO<sub>2</sub>, o propiamente almacenando carbón y posteriormente lo devuelve como oxígeno. Dependiendo de la especie su aporte de absorción CO<sub>2</sub> varía; es necesario identificar cada especie para hacer un estudio detallado de aporte de oxígeno.

La erosión del suelo es el resultado, en el caso de Manizales, de la alta pluviometría y de la pérdida de la cobertura vegetal, además altera el ciclo hidrológico, que se mitiga gracias a la cobertura forestal y que disminuye por la acción urbanizadora.

El aumento de la estructura construida deja pocos espacios verdes que controlen el impacto negativo que genera el CO<sub>2</sub>, por ser los elementos que

sirven de sumideros naturales y los que proporcionan el oxígeno del que dependen otras especies que hacen parte de la biodiversidad.

La disminución de la fertilidad de los suelos y la actividad antropogénica con la tala del bosque secundario a favor de la estructura construida, impiden el ciclo hidrológico y dificultan la absorción o infiltración para la recarga de acuíferos.

Las necesidades del consumo energético y del aprovisionamiento de fuentes de agua que tienen una relación directa con los bosques, en los países ricos como pobres, hacen necesario repensar las ciudades y sus políticas territoriales, que hasta el momento han resultado inadecuadas, por lo tanto se debe estimular la conservación de los cinturones verdes, como ecoparques y campañas educativas tendientes a la valoración de la cobertura vegetal.

Algunas de las zonas de mayor ocupación por la población, son las que se encuentran en la periferia y en forma especial aquellas donde la administración municipal no ejerce el control efectivo, para el caso de Manizales.

Un trabajo de campo efectivo permitiría diferenciar cuál es el suelo urbanizado bajo condiciones de autorización municipal, y cuál es el suelo que se ocupa por la llamada subnormalidad o invasión y que requiere la recuperación de la cobertura vegetal.

La administración pública enfrenta un dilema que es la legalización de la tierra ocupada, invadida o la expulsión por vía también administrativa, para tratar de prevenir tragedias o compensar la inversión que realiza en obras de mitigación, servicios públicos y equipamientos.

Las últimas situaciones generadas como deslizamientos o erosión en zonas recientemente urbanizadas, en Manizales, se deben a la exposición de estos suelos a la acción directa de la lluvia y el viento y a la carencia de una cobertura vegetal que impida esta acción, que como agente de control retiene gran cantidad de la precipitación pluviométrica. Asimismo, los árboles reducen el impacto directo de la lluvia, con sus hojas y sus raíces absorben el agua de escorrentía, organizando el ciclo hidrológico cuando retiene humedad.

Lo anterior, determina que las acciones de la naturaleza no hacen exclusión sobre cualquier estrato de la sociedad y que si los suelos tienen pérdida de cobertura vegetal y su estructura verde en general, el impacto será mayor.

Por último, el proceso urbanístico de la cuenca en sus laderas como la de San Luis, en algunas zonas de su espacio, enfrentó a problemas como la violencia y desplazamiento, expansión territorial con procesos de conurbación, políticas sociales y económicas incoherentes, que son determinantes en la transformación de los ecosistemas de la urbe de montaña, entre otras fuerzas desestabilizadoras que llaman a la reflexión, para proponer alternativas de planificación físico-espacial, donde las estructuras verde e hídrica juegan un papel fundamental en el proceso de la vida, para hacer de las cuencas urbanas sostenibles, unidades territoriales de la ciudad de media montaña andina, para el ordenamiento del territorio.

Finalmente, la recomendación se encamina a la realización de estudios, que a partir de datos temporales actualizados, conduzcan al análisis de la afectación de producción de CO<sub>2</sub> vehicular vs. oxígeno, e inclusive fijación de CO<sub>2</sub> a las especies arbóreas.

---

## REFERENCIAS

- Anker, P. (2001). *Imperial Ecology: Environmental Order in the British Empire, 1895-1945*. Cambridge, Mass.; London: Harvard University Press.
- Azcuy, A. (1999). *La paz nuestra de cada día*. La Paz: Ciudad Viva - PNUD.
- Balanyá, B.y Cerdà, M. (2005). *La deuda ecológica española: Impactos ecológicos y sociales de la economía española en el extranjero*. Sevilla: Universidad de Sevilla - Muñoz Moya Editores Extremeños.
- Collinge, S.K. (1996). Ecological consequences of habitat fragmentation: Implications for *landscape architecture and planning*. *Landscape and Urban Planning*, 36(1), 59-77. doi: 10.1016/S0169-2046(96)00341-6.
- De Solà-Morales, M.y Laboratori d'Urbanisme de Barcelona. (1997). *Las formas de crecimiento urbano*. Barcelona: Upc.
- De Terán, F. (1984; 1982). *El problema urbano* (1ª reimp., 1ª ed.). Barcelona: Salvat.
- Flórez, L.B. y González, C. (eds.). (1983). *Industria, regiones y urbanización en Colombia*. Bogotá: Editorial Oveja Negra.
- Gobernación de Cundinamarca, Departamento Administrativo de Planeación, Sociedad Geográfica de Colombia y Academia de Ciencias Geográficas. (2000). *Cuenca alta del río Bogotá: Plan de ordenamiento territorial*. Bogotá: Gobernación de Cundinamarca.
- González, J. (2009). *Energías renovables*. Barcelona: Reverté.
- Hermelín, M. (2007). *Entorno natural de 17 ciudades de Colombia*. Medellín: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Ibáñez, A.M.y Vélez, C.E. (2008). Civil conflict and forced migration: The micro determinants and welfare losses of displacement in colombia. *World Development*, 36(4), 659-676. doi: 10.1016/j.worlddev.2007.04.013.
- Instituto de Recursos Mundiales, Banco Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente y Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. (2002). *Recursos mundiales: [la gente y los ecosistemas: Se deteriora el tejido de la vida]*. Madrid: Ecoespaña.
- Loaiza, J.F. (2001). *Manizales en la trilogía de Eduardo García Aguilar*. Manizales: Centro Editorial Universidad de Caldas.
- Londoño de Maldonado, M.L. (1998). 1948-1972 *¡camino abierto! La universidad Nacional de Colombia en Manizales, pionera regional*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Mattié Mailer (2007) La economía no deja ver el bosque. Artículos 2002-2006.
- Patiño, E.; Castillo J. y Ramírez, B.R. (2005). *Ciudadanía, pobreza y participación: 3er. Congreso Internacional: Balance y Perspectivas del Análisis Territorial - Ciudades*.
- Puyo, F. (ed.). (1992). *Bogotá*. Editorial MAPFRE.

- Ridler, N.B. (1979). Development through urbanization: A partial evaluation of the colombian experiment. *International Journal of Urban and Regional Research*, 3(1-4), 49-59. doi:10.1111/j.1468-2427.1979.tb00772.x.
- Ruiz, C.E. (1981). Boletín de vías. *Revista de Vías, Transporte y Geotecnia*. Retrieved 12/2/2010, from <http://www.manizales.unal.edu.co/modules/unboletindevias/index.php?mod=revistas&ide=60>
- Ruiz, M.; Rubiano, N. et al. (2010). *Ciudad, espacio y población: El Proceso de Urbanización en Colombia*. UNFPA COLOMBIA.
- Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Urbanismo. (enero/julio de 2008). *Bitácora urbano-territorial: revista del Departamento de Urbanismo de la Universidad Nacional de Colombia* (Instituto de Investigaciones de Hábitat, Ciudad y Territorio). Bogotá, D.C: Departamento de Urbanismo de la Universidad Nacional de Colombia.
- Uribe, M. (2004). *Geografía general y compendio histórico del estado de antioquia en colombia*. Medellín: ITM, Instituto Tecnológico Metropolitano.
- Von Rothkirch Cristóbal y otros (1996) *Alta Colombia: esplendor de la montaña*.

- 
1. Profesor Universidad Politécnica de Cataluña -Ingeniero Mecánico. Doctor en Ingeniería Industrial. Integrante Càtedra UNESCO en Sostenibilidad. Investigador - Departamento de ingeniería Mecànica, Universitat Politècnica de Catalunya. [xalvarez.catunesco.upc.edu](mailto:xalvarez.catunesco.upc.edu)
  2. Profesor Universidad Nacional de Colombia-Sede Manizales. Arquitecto.-Facultad de Ingeniería y Arquitectura- Esp. Admon Obras Civiles. Màster en Medio Ambiente y Desarrollo - Candidato a Doctor en sostenibilidad-Universidad Politécnica de **Cataluña-gagredoc@unal.edu.co**

---

Para citar este artículo: Álvarez, J. & Agredo, G. A. (2013). Pérdida de la cobertura vegetal y de oxígeno en la media montaña del trópico andino, caso cuenca urbana San Luis (Manizales). *Revista Luna Azul*, 37, 30-48. Recuperado de <http://lunazul.ucaldas.edu.co/index.php?option=content&task=view&id=842>