

---

ARTÍCULOS / ARTICLES

---

## ANÁLISIS MULTICRITERIO GEOAMBIENTAL DEL PAISAJE DE ABANICO DE IBAGUÉ, COLOMBIA, MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DE GEOSISTEMAS, GEOFACIES Y GEOTOPOS

**Alexander Martínez Rivillas**

Profesor asociado de la Universidad del Tolima, Colombia  
Grupo de Investigación en Desarrollo Rural Sostenible  
amartinezr@ut.edu.co  
ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-7733-7758>

Recibido: 30/06/2019; Aceptado: 16/04/2021; Publicado: 16/06/2021

**Cómo citar este artículo/citation:** Martínez Rivillas, Alexander (2021). Análisis multicriterio geoambiental del paisaje de abanico de Ibagué, Colombia, mediante la determinación de geosistemas, geofacies y geotopos. *Estudios Geográficos*, 82 (290), e068. <https://doi.org/10.3989/estgeogr.202080.080>

**Resumen:** Se propone una metodología de análisis multicriterio geoambiental de un paisaje a diferentes escalas, a partir de estudios previos y del levantamiento biogeográfico/socioecológico del geosistema de abanico de Ibagué, de la geofacies serrana (ubicada en este geosistema), y de dos geotopos (ganadero y turístico) inscritos en esta geofacies. El método empleado integró cuatro estrategias: en lo geográfico, el enfoque ecológico del sistema GTP de G. Bertrand; en lo biogeográfico, la técnica "BioBlitz" de levantamientos de flora y fauna; en lo socioecológico, la sistematización de entrevistas en profundidad a campesinos del abanico; en lo estadístico, el análisis multicriterio de variables biofísicas y multiescalares. El resultado relevante es la formulación de un "indicador multicriterio geoambiental" ( $I_{\mu}$ ), que ofrece una síntesis de la anterior información geoambiental, permitiendo contrastar multiescalarmente los distintos grados de afectación ambiental del paisaje de abanico. Esta metodología podría soportar lineamientos de política de ordenación ambiental y territorial a nivel de municipios.

**Palabras clave:** Bertrand, biogeografía, sostenibilidad rural, ecología del paisaje, paisaje ganadero.

### MULTICRITERIA GEOENVIRONMENTAL ANALYSIS OF IBAGUÉ'S BELD LANDSCAPE, COLOMBIA, THROUGH DETERMINATION OF GEOSYSTEMS, GEOFACIES AND GEOTOPOS

**Abstract:** A methodology for the multicriteria geoenvironmental analysis of a landscape at different scales is proposed, based on previous studies and the biogeographic and socioecological survey of the Ibagué beld geosystem, the hill geofacies (located in this geosystem), and two geotopos (livestock and tourist) inscribed in the hill geofacies (located in the "Cerros de Gualanday"). The method used integrates four strategies: geographically, the ecological approach of George Bertrand's GTP system; in the biogeographic, the "BioBlitz" technique of flora and fauna surveys; in the socioecological area, the systematization of in-depth interviews to peasants; statistically, the multicriteria analysis of biophysical and multiscale variables. The relevant result is the formulation of a "geoenvironmental multicriteria indicator" ( $I_{\mu}$ ), which offers a synthesis of the previous geoenvironmental information, allowing multiscale contrasting of the different degrees of environmental impact on the fan landscape. This methodology could support environmental and territorial planning policy guidelines at the county level.

**Keywords:** Bertrand, agrarian geography, biogeography, rural sustainability, landscape ecology, livestock landscape.

## INTRODUCCIÓN

En la metodología del Geosistema, Territorio y Paisaje (GTP) de Bertrand y Bertrand (2006), quedaron establecidos de manera general los criterios de estudio de las geofacias y los geotopos, y sus atributos biogeográficos y socioecológicos (Mateo y Da Silva, 2007). Su teorización no integró una herramienta capaz de evaluar el nivel de afectación antrópica de un ecosistema. Aquí, en el plano metodológico, se complementa el GTP con la definición de criterios concretos de espacialización de aquellas unidades geográficas menores, y el aporte de instrumentos de investigación biogeográficos y evaluativos del ecosistema. Como resultado relevante se diseña y se prueba, para un paisaje concreto, un indicador de medición del estado geoambiental de los agrosistemas ( $I_M$ ). Este indicador anida escalaramente el geosistema, el geofacies y el geotopo, y puede ser replicable en cualquier lugar con usos agrarios.

Para complementar la metodología del GTP, se empleará el “análisis multicriterio de la sostenibilidad” de algunos autores, por su versatilidad para anidar escalas e integrar mediciones de distinta naturaleza (Munda, 1995; Munda, 2005; Munda y Nardo, 2003; Munda, Nijkamp y Rietveld, 1995). Al tratar de evaluar el fenómeno agrario, el enfoque de este estudio va más allá de los análisis multicriterio e indicadores de sostenibilidad usuales, los cuales se reconocen por sus objetivos urbanocéntricos, en la mayoría de los casos, o por no integrar en sus evaluaciones las múltiples dimensiones ambientales de lo rural. Esta dominancia de los estudios urbanos sobre los rurales se puede comprobar en Martínez-Alier (2008), Özkaynak *et al.* (2004), Munda (2006), ISD (2001), o Sureda, De Felipe y Xercavins (2002).

El geosistema es una dimensión geoecológica reconocida en Colombia (Ortiz, 1989; Fonseca, 2012; Martínez-Rivillas, 2015). Pero, las unidades de análisis a escalas de geofacias y geotopos no se han empleado en Colombia, y hay pocos registros de su aplicación en Latinoamérica (González, 2005).

El área de estudio se localiza en el geosistema de abanico del municipio de Ibagué, Colombia, y en su interior se despliega una geofacies de cerros. En esta unidad se determinaron dos geotopos (ganadero y turístico), los cuales se diferenciaron en virtud de las observaciones realizadas en los recorridos de tres transectos previamente establecidos (Figuras 1 y 2) (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

La superficie del geosistema de abanico (que pertenece a Ibagué) asciende a 38.653 has. En este geosistema existen 7.200 has en geofacias de cerros, y el área restante corresponde a una geofacies plana (<1.000 msnm). En la geofacies de cerros se inscribe un paisaje ganadero dominante, y en su interior se diferencian dos geotopos: uno turístico ( $\pm 100$  has) y otro homogéneamente ganadero (>6.000 has) (Figura 2).

Los atributos socioecológicos, biogeográficos y geográficos, levantados en las geofacias, los geotopos y sus parcelas representativas, permitieron realizar una aproximación multiescalar semidetallada a la ecología del paisaje de abanico. Para lo cual se emplearon los principios metodológicos de la “entrada geoecológica” o geosistémica del GTP (Bertrand y Bertrand, 2006; Bertrand, 2008). Esta ecología no es exhaustiva, pues solo pretende sintetizar las funcionalidades ecológicas básicas de los agrosistemas/ecosistemas dominantes en las escalas de geosistema, geofacias y geotopo.

FIGURA 1. LOCALIZACIÓN MUNICIPIO DE IBAGUÉ, DEPARTAMENTO DEL TOLIMA, EN COLOMBIA. FUENTE: EL AUTOR.

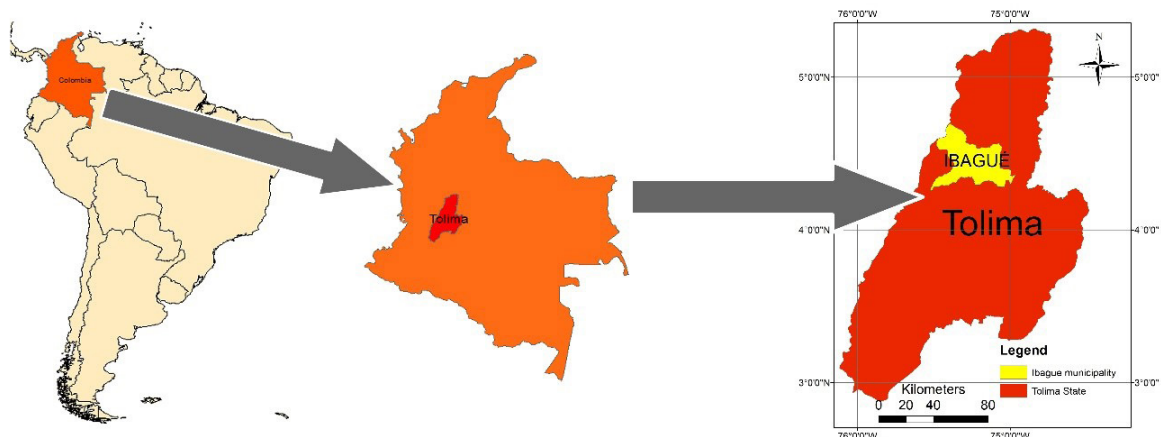
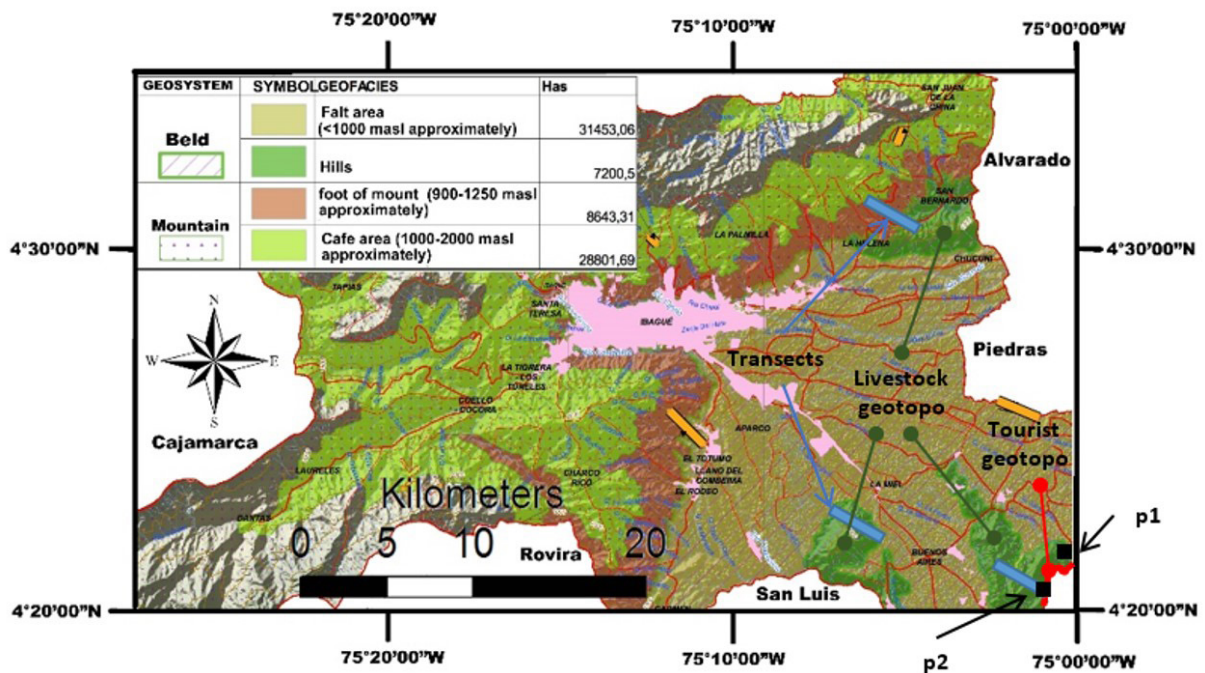


FIGURA 2.  
GEOSISTEMA DE ABANICO, GEOFACIES DE CERROS Y GEOTOPOS TURÍSTICO Y GANADERO, IBAGUÉ, FUENTE: EL AUTOR.



Gracias a los indicadores de análisis multicriterio geoambiental, a los nuevos registros de fauna y flora del estudio, y a las diversas degradaciones ambientales identificadas, se proponen lineamientos de planeación/ordenación ambiental del paisaje de abanico, según los criterios de Massiris (2012) sobre su modelo de desarrollo territorial sostenible.

#### MATERIALES Y MÉTODOS

El artículo aprovecha una parte del proyecto de investigación: “procesos ambientales, socioeconómicos y políticos de Ibagué rural” (Martínez-Rivillas y Montes, 2012), en lo relativo al levantamiento de la información del geosistema de abanico, la geofacies de cerros, y los dos geotopos de esta última. La trayectoria científica de Bertrand y Bertrand (2006) es reconocida en distintas escuelas geográficas del mundo, y su método GTP tiene la enorme cualidad de abrir una multiplicidad de criterios para levantar la información geográfica, biogeográfica y socioecológica de los paisajes agrarios (Mateo y Da Silva, 2007). Además, sus reflexiones epistemológicas suscitan perspectivas polisémicas de estos, lo mismo que aproximaciones geohistóricas, visiones ambientalistas y miradas poéticas. Por ello, esta investigación encontró en las teorizaciones de G. Bertrand las herramientas de estudio suficientes para comprender la complejidad geoambiental de Ibagué.

Para determinar estas unidades de análisis espacial, se procedió del siguiente modo. El geosistema se definió en función de criterios geomorfológicos con base en estudios previos y recorridos de sus transectos señalados en la Figura 2. Así, se identificaron los límites naturales de una geoforma de abanico, incluyendo la emergencia de los “cerros de Gualanday”, pues su estructura sirvió de contenedor de los depósitos vulcanoclásticos de esta geoforma (MGC, 2007). Para su determinación cartográfica, se delinearon las cotas superiores del abanico ( $\pm 1.000$  msnm), y luego las cotas inferiores que corresponden a los límites municipales orientales de Ibagué (Figura 2). Las cotas más bajas del abanico rematan en los “cerros de Gualanday” (Martínez-Rivillas, 2015). El criterio geomorfológico como determinante del geosistema es admisible en Bertrand y Bertrand (2006).

Al interior del geosistema de abanico se determinaron dos geofacies en función de criterios geomorfológicos a partir de investigaciones previas y recorridos por transectos mostrados en la Figura 2. Una geofacies plana con pendientes dominantes menores a 5%, y una geofacies de cerros, con pendientes dominantes superiores a 45%. En las geofacies de cerros se instalaron transectos, cuyos recorridos permitieron diferenciar dos geotopos dominantes: uno ganadero y otro turístico (Figura 2). Los dos geotopos se delimitaron cartográficamente en virtud del solapamiento de

dos coberturas: una geomorfológica (pendiente dominante >45%) y otra correspondiente al uso agrario dominante. En el primer caso, se estableció un límite cartográfico por la yuxtaposición espacial de la formación serrana y el uso de ganadería extensiva (Figura 2). En el segundo, se delinearon los límites cartográficos del geotopo por la superposición de la formación serrana y el uso turístico extendido a lo largo de las quebradas Barbona y Gualanday, mezclado con casas de recreo (Figura 2) (Martínez-Rivillas y Montes, 2012; Martínez-Rivillas, 2015). Asimismo, los criterios geomorfológicos y de coberturas agrarias también fueron empleados en Bertrand y Bertrand (2006).

En los geotopos serrano (g1) y turístico (g2) se aplicaron entrevistas en profundidad a sus residentes (N=4, 2012), cubriendo tres grupos de adultos: un joven (16-25 años), un adulto (26-65 años) y dos adultos mayores (>65 años). Las entrevistas siguieron un formato libre con un cuestionario guía destinado a recabar experiencias personales o sociales relacionadas con las complejas interacciones socioecológicas. Las entrevistas indagaron sobre estas dimensiones: origen familiar y composición actual, memoria ambiental y agraria, percepción de impactos y conflictos ambientales, tenencia de la tierra, memoria de violencias políticas y sociales, y prácticas agrícolas dominantes (Martínez-Rivillas y Montes, 2012), según las recomendaciones metodológicas de Hernández, Fernández y Baptista (2010).

#### Parcelas objeto de la prospección biogeográfica

Esta prospección corresponde a una adaptación de las jornadas científicas denominadas “BioBlitz”, que permite a científicos y ambientalistas de diversas disciplinas levantar simultáneamente diversas parcelas durante un día, según los intereses ecológicos del caso (Pollock et al., 2015; Ballard et al., 2017; Parker et al., 2018; Postles y Bartlett, 2018; Cantonwine et al., 2019; Nicolai et al., 2020). Su versatilidad y bajos costos permiten realizar una prospección amplia de la biodiversidad de un lugar (Zhou et al., 2011; Hsu, Hutchison y Wheeler, 2018). Siguiendo los objetivos sustanciales de esta metodología, se determinó la distribución espacial de flora y fauna a una escala de observación directa, en virtud de los siguientes pasos. Como lo dicta esta metodología, se instalaron parcelas de muestreo al interior de cada geotopo, procurando maximizar la biodiversidad del lugar.

- a) En cada geotopo se instaló una parcela representativa de 10.000 metros cuadrados. La parcela p1 se instaló en la parte media de la ver-

tiente occidental de los cerros de Gualanday, pues se consideró uno de sus lugares menos degradados. La parcela p2 se localizó al interior del bosque ripario de las quebradas Barbona y Gualanday, pues se valoró como una de las zonas mejor conservadas (Figura 2).

- b) Se hizo el levantamiento de los siguientes atributos de la parcela: localización del centroide de la parcela, geomorfología del entorno, procesos erosivos, cobertura de herbáceas, arbustivos y arbóreos, avistamiento de aves, mamíferos pequeños/medianos y herpetofauna disponibles, calidad del agua, aptitud del suelo, y ecología básica de la parcela a partir de las dinámicas de alimentación de la fauna observada y sus servicios de refugio.
- c) Las colectas vegetales y los registros fotográficos de la fauna observada se realizaron en las dos parcelas desde las 7:00 am hasta las 5:00 pm, para un total de dos hectáreas levantadas en una prospección de 10 horas. Para lo cual se empleó un equipo de investigadores de campo y asistentes de laboratorio compuesto por dos biólogos, un ingeniero forestal, un geógrafo ambiental y un especialista SIG, los cuales contribuyeron a suministrar insumos científicos importantes para la elaboración del artículo, entre otros. Se aclara que no hubo trampas, cámaras, anillamientos de aves, y muestreos de insectos e invertebrados acuáticos, dado que esta prospección biogeográfica se redujo a las colectas vegetales y a las observaciones con cámaras fotográficas especializadas.
- d) Todas las colectas vegetales, las fotografías de huellas, heces, aves y herpetos, y las muestras de suelos y aguas, fueron procesadas, analizadas o determinadas, en los laboratorios de la Universidad del Tolima, Colombia, según sus protocolos de calidad y los registros científicos disponibles en los macrodatos de SIB (2019), SIAT (2019), entre otros, tal como lo exige la prospección (Zhou et al., 2011; Hsu et al., 2018).
- e) A partir del levantamiento de estos atributos geográficos y biogeográficos, y de las experiencias socioecológicas registradas y sistematizadas, se realizaron dos tipos de análisis espaciales: una caracterización biofísica del paisaje ganadero con base en los resultados de las investigaciones del geosistema de abanico, y de los

geotopos ganadero y turístico (que conforman la geofacies de cerros). Y, un estudio ecológico esquemático del paisaje ganadero con base en la caracterización anterior. Los fundamentos teóricos de la caracterización biofísica y el estudio ecológico se basaron en trabajos científicos de interés para la región (IDEAM, 2001; IUCN, 2012; Lyles y Tatarko, 1986; Márquez, Bechard, Gast y Vanegas, 2005; Parra-Hernández *et al.*, 2007; Llano-Mejía, Cortés-Gómez y Castro-Herrera, 2010).

- f) Con base en la información biofísica y ecológica anterior, se realizó un análisis del paisaje ganadero, a partir de las categorías sintéticas de Bertrand y Bertrand (2006) y Bertrand (2008). El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) y el Grupo de Investigación en Desarrollo Rural Sostenible de la Universidad del Tolima, suministraron la cartografía base, las imágenes Landsat (2011) y los análisis SIG.

#### Determinación del indicador geoambiental del paisaje ( $I_M$ )

- a) Se realizó el análisis multicriterio geoambiental del paisaje de abanico de Ibagué, con base en su caracterización biofísica, su estudio ecológico y su análisis geográfico. Estos registros empíricos asociados a información secundaria permitieron confeccionar diferentes criterios de valoración de la salud ambiental del geosistema de abanico, y de los geotopos ganadero y turístico (e, indirectamente, de la geofacies serrana). Para ello, se propuso un indicador ( $I_M$ ) capaz de medir aquella salud ambiental, y establecer comparaciones entre diferentes escalas espaciales (Munda, 1995; Munda, 2005; Munda, 2006; Munda y Nardo, 2003; Munda, Nijkamp y Rietveld, 1995).
- b) Este análisis selecciona un conjunto de 14 criterios relevantes para cada una de las dimensiones del complejo geoambiental, según estudios previos (Martínez-Rivillas, 2013; Etter y Villa, 2000; Etter y Wyngaarden, 2000; Etter, 1990). Dimensiones que son significativas, tal como quedará constatado en el análisis de correlaciones, ante el reto de medir la salud ambiental de un ecosistema o agrosistema (Tabla 1). En este caso, se consideraron las dimensiones: I. Flora y fauna, II. Agua y III. Suelo. Para I, se seleccionaron 8 criterios: herbáceas y arbustivos, arbóreos, acuifaua, herpetos, aves, mamíferos terres-

tres pequeños/medianos, cobertura de bosque primario (>80 años) y cobertura de bosque secundario (40-80 años). En II, se tienen cuatro criterios: disponibilidad de agua (drenajes y/o riego para usos agrarios, turísticos y consumo humano), oxígeno disuelto según promedio de las muestras (en fuentes de uso agrícola y turístico),  $DBO_5$  según promedio de las muestras (en fuentes de usos agrícola y turístico), y Coli fecal según la media de las muestras (en fuentes de consumo humano). Para III, se seleccionaron dos criterios: cobertura de la erosión y materia orgánica según la media de las muestras.

- c) Las tres dimensiones tienen el mismo peso importancia en virtud del policentrismo epistemológico de G. Bertrand, así: I. Flora y fauna:  $W_1 = 33,3\%$ , siendo el peso de cada criterio  $w_1 C_n = 4,2\%$ ; II. Agua:  $W_2 = 33,3\%$ , siendo el peso de cada criterio  $w_2 C_n = 8,3\%$ ; y III. Suelo:  $W_3 = 33,3\%$ , siendo el peso de cada criterio  $w_3 C_n = 16,6\%$ . Los 14 criterios fueron aplicados al geosistema de abanico ( $G_a$ ), con 386,53 km<sup>2</sup>, al geotopo ganadero (g1), con más de 60 km<sup>2</sup>, y al geotopo turístico (g2), que se aproxima a 1 km<sup>2</sup>. Las mediciones de cada criterio emplearon información primaria y secundaria según el caso. Los resultados de las mediciones de  $G_a$  se basaron en levantamientos de datos de una investigación marco (Martínez-Rivillas y Montes, 2012) e información secundaria (Martínez-Rivillas, 2015). Los resultados biogeográficos de las mediciones de g1 y g2 se derivaron de la extrapolación de la información primaria recabada en p1 y p2. Esta extrapolación se realizó mediante una regresión multilineal a partir de las siguientes variables conocidas: áreas de p1/2 y de g1/2, y atributos levantados de  $C_n$  en p1/2. De estas extrapolaciones se exceptuaron los estudios de suelos de g1/2 y algunos inventarios de aves, los cuales sí contaron con muestreos ajustados a sus escalas (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).
- d) Con las mediciones anteriores se configuró una matriz de correlaciones de Pearson, lo que no se ha hecho en la mayoría de los análisis multicriterio (Cf. Funtowicz, Munda y Paruccini, 1990; Funtowicz y Ravetz, 1990; Funtowicz y Ravetz, 1994; Funtowicz, Martínez-Alier, Munda y Ravetz, 1999; Funtowicz, Martínez-Alier, Munda y Ravetz, 2002; Munda, 1995; Munda y Nardo, 2003; Munda, 2005; Munda, 2006). Esta

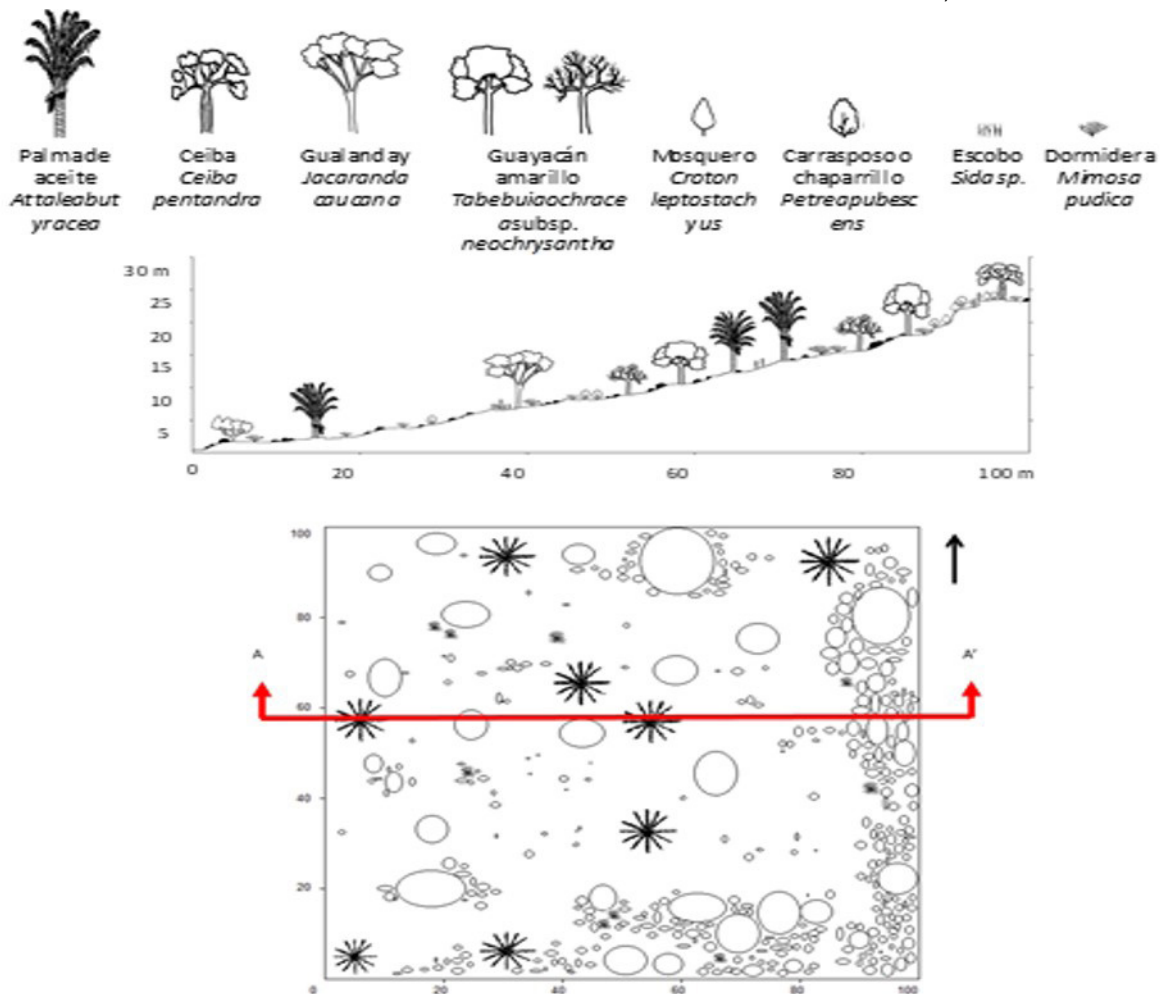
precaución fue necesaria para constatar la significancia y exhaustividad científica de los criterios seleccionados, y para revisar la condición inane de algunos criterios (Tabla 2).

- e) Se procedió a realizar las normalizaciones, correcciones y agregaciones lineales respectivas de las mediciones de los 14 criterios con el fin de determinar el indicador multicriterio geoambiental ( $I_M$ ) del paisaje de abanico. Para las normalizaciones de las escalas espaciales se estimó la densidad espacial para aquellas mediciones que contenían valores incomparables entre distintas escalas, usando la expresión:  $x_i = \|C_n\|/S_G$ , siendo  $\|C_n\|$  la cantidad medida del criterio  $C_n$  y  $S_G$  el área (en km<sup>2</sup>) del geosistema o geotopo (Tabla 3: columna a). Para las normalizaciones de las cantidades mismas, se estableció una escala de

0 a 100, mediante la expresión:  $C_n = (x_i - x_{min}) / (x_{max} - x_{min})$  lo que permitió comparar las mediciones de un criterio entre distintas escalas espaciales (Tabla 3: columna b). Para las correcciones de las mediciones, se utilizó  $N_i = (100 - x_i)$ , pues, algunas de ellas necesitan invertir la dirección de sus resultados, dado que todos los criterios deben indicar mayor salud ambiental cuando sus cantidades aumentan (Tabla 3: columna c). Finalmente, se procedió a realizar la agregación lineal de las mediciones en la columna (c) de la Tabla 3, aplicando el peso importancia de cada dimensión, así:  $w_j \sum N_i = I_{M(j)}$ , siendo  $j$  cualquiera de los casos  $G_a$ ,  $g_1$ , o  $g_2$  (modificado de Funtowicz y Ravetz, 1994; Funtowicz *et al.*, 1999; Funtowicz *et al.*, 2002; Munda, 1995; Munda, 2005; Munda, 2006).

FIGURA 3.

DISTRIBUCIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL DE FLORA EN UNA PARCELA REPRESENTATIVA (P1) DEL GEOTOPo GANADERO (G1: >6000 HAS), VEREDA BRICEÑO, IBAGUÉ-COELLO. PARCELA EN REXISTASIA CON USO DE GANADERÍA EXTENSIVA EN LOS CERROS DE GUALANDAY. FUENTE: MONTES Y MARTÍNEZ-RIVILLAS, 2012.





## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización biofísica del geotopo ganadero (g1)

El g1 fue determinado con una extensión superior a 6.000 has (Figura 2). Su parcela característica tiene un centroide con 75,02987° de longitud, 4,29505° de latitud y 632 msnm (Figura 3). Desde esta parcela se despliega una panorámica de 360° donde dominan cerros tabulares de Gualanday con buzamientos (>20%) y el abanico de Ibagué. El abanico se configura con pendientes inferiores a 5%. Los procesos erosivos que se identificaron son diversos: escurrimientos difusos en potreros de ladera, deslizamientos rápidos en los cerros, erosión eólica en potreros planos y lotes arroceros. Se destacan cárcavas profundas en laderas sometidas a ganadería, y pendientes con erosión escalonada por sobrepastoreo (Martínez-Rivillas y Montes, 2012; Figuras 4 y 5).

El suelo del geotopo es, en general, franco arenoso (en promedio, 63% de arena). Según las evaluaciones utilitarias de la “revolución verde”, se calificó el suelo en rangos “bajos” de materia orgánica, P, K, Cu, Zn y Mn, lo que parece ser característico de estas laderas en procesos de rextasia. El suelo se encuentra sometido a intensos procesos erosivos, especialmente cárcavas profundas, con especial incidencia en pendientes superiores a 40% en los cerros de Gualanday. Los drenajes principales son las quebradas Gualanday y Barbona, con aforos estimados en verano de 10 y 15 l/s, respectivamente (2012), y una pérdida ostensible de caudales en los últimos 50 años, según los entre-

FIGURA 4.

BUZAMIENTO DE ROCAS EN LOS CERROS DE GUALANDAY. SE ENCUENTRAN SOMETIDOS A FUERTES PROCESOS EROSIVOS (DESPRENDIMIENTOS Y EÓLICOS), Y CORRESPONDEN AL LÍMITE ORIENTAL DEL PAISAJE DE ABANICO. FOTO: MARTÍNEZ, 2012.



FIGURA 5.

EROSIÓN ESCALONADA POR SOBREPASTOREO DEL GANADO EN LOS CERROS DE GUALANDAY. SE LOCALIZA EN EL GEOTOPO SERRANO GANADERO, QUE HACE PARTE DEL PAISAJE DE ABANICO. BRICEÑO-COELLO. FOTO: MARTÍNEZ, 2012.



vistados. El clima dominante es cálido seco (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

La parcela representativa p1 exhibe un fuerte proceso de pérdida de cobertura vegetal estimado en 60%. La cobertura herbácea y arbustiva se estima en 36%, y la superficie en cobertura arbórea llega a 4% (Figura 3). En cuanto a herbáceas, la especie dominante es el escobo (*Sida sp.*) de la familia Malvaceae, y la subdominante es la dormidera (*Mimosa pudica* L.) de la familia Fabaceae. En cuanto a población arbustiva, la especie dominante es el mosquero (*Croton leptostachyus* Kunth) de la familia Euphorbiaceae, y la subdominante es el carrasposo o chaparrillo (*Petrea pubescens* Turcz.) de la familia Verbenaceae. En lo relativo a arbóreos, cuya población es muy reducida, la especie dominante es el guayacán amarillo (*Tabebuia ochracea* subsp. *neochrysantha* (A.H. Gentry) A.H. Gentry) de la familia Bignoniaceae y, la subdominante, la palma de vino (*Attalea butyracea* (Mutis ex L. f.) Wess. Boer) de la familia Arecaceae. Se reportan, con menor frecuencia, la Ceiba (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn) de la familia Malvaceae, el Gualanday (*Jacaranda caucana* Pittier) de la familia Bignoniaceae y el cañafístulo (*Cassia sp.*) de la familia Fabaceae (Montes y Martínez-Rivillas, 2012; Melo y Vargas, 2003).

En cuanto a la fauna silvestre se registró en la parcela representativa una única especie de ave: el buco barrado (*Nystalus radiatus*), clasificado por la IUCN (2012) en preocupación menor (LC). Sobre herpetos, acuifaua y mamíferos no se hicieron observaciones (Montes y Martínez-Rivillas, 2012).

Respecto a la actividad antrópica relevante de g1, se identificaron usos ganaderos dominantes y explotaciones de ovejos en algunas haciendas y fincas medianas. Se aplican con poca frecuencia herbicidas para controlar malezas en los lotes de ganado. En los cerros se promedian 2,6 has por cabeza de ganado (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

#### Explotación biológica del geotopo ganadero (g1)

El g1 se caracteriza por estar en un estado avanzado de rexistasia (Bertrand y Bertrand, 2006). Sus procesos erosivos, naturales y antrópicos, mencionados atrás, ocasionan una intensiva pérdida de la capa vegetal y una degradación intensiva de las rocas. Se pueden observar algunos arbóreos, pero, dominan arbustos y herbáceas espinosas. El guayacán amarillo

(*Tabebuia ochracea* subsp. *neochrysantha* (A.H. Gentry) A.H. Gentry), la palma de vino (*Attalea butyracea* (Mutis ex L. f.) Wess. Boer), el mosquero (*Croton leptostachyus* Kunth), el carrasposo o chaparrillo (*Petrea pubescens* Turcz.) y la dormidera (*Mimosa pudica* L.), son muy frecuentes en estos lugares áridos. Las altas temperaturas y el déficit de precipitaciones disminuyen la explotación biológica del lugar (Lyles y Tatarko, 1986; Melo y Vargas, 2003; Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

#### Caracterización biofísica del geotopo turístico (g2)

El g2 fue delimitado con una extensión aproximada de 100 has (Figura 2). La parcela representativa p2 se localiza a los 4,29473° de latitud, 75,03386° de longitud y 473 msnm de altitud (Figura 6). Se estimó en

FIGURA 6. DISTRIBUCIÓN VERTICAL Y HORIZONTAL DE FLORA EN UNA PARCELA REPRESENTATIVA (P2) DEL GEOTOPO TURÍSTICO (G2: ±100 HAS), VEREDA BRICEÑO, IBAGUÉ. PARCELA DE UN BORDE SILVOAGRARIO EN BIOSTASIA DE LA QUEBRADA GUALANDAY. FUENTE: MONTES Y MARTÍNEZ-RIVILLAS, 2012.

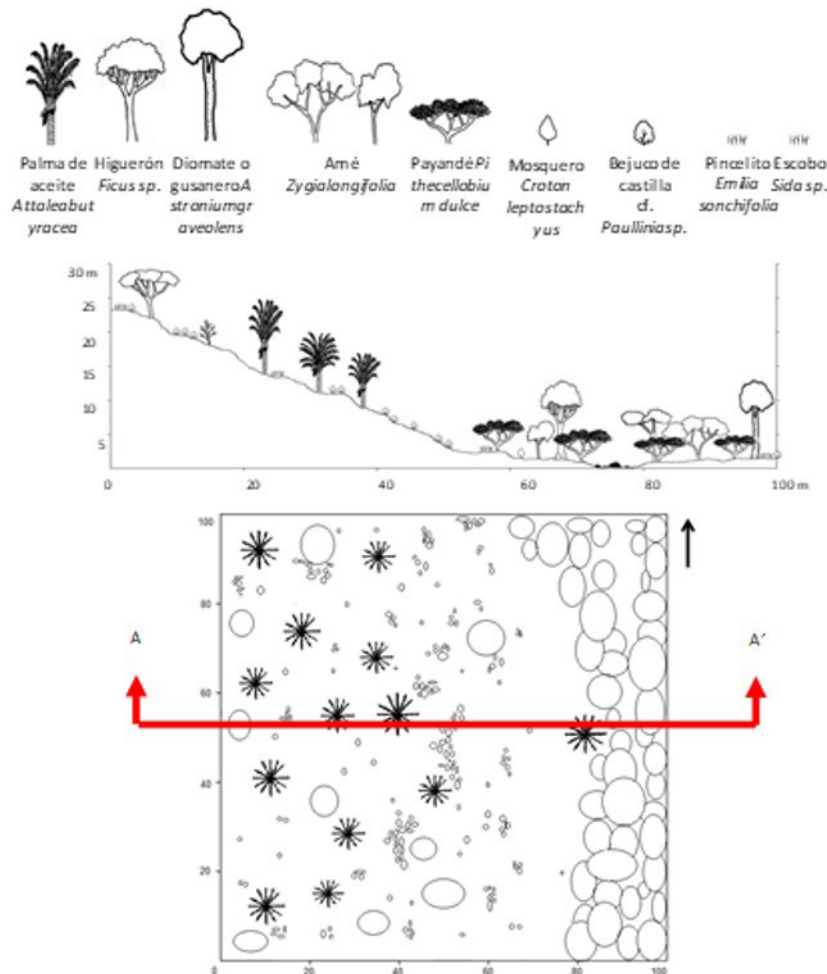




FIGURA 7.  
BALNEARIO DE LA QUEBRADA GUALANDAY. SE LOCALIZA EN EL GEOTOPO SERRANO DE VOCACIÓN TURÍSTICA. SE CONSTATÓ LA PÉRDIDA DE CAUDAL DE LA FUENTE DESDE LOS AÑOS DE 1950. FOTO: MONTES, 2012.



dicha parcela 45% de suelo sin cobertura vegetal, 10% de cobertura herbácea, 15% de cobertura arbustiva y 30% de cobertura arbórea. La resistencia de g2 se encuentra menos avanzada que en g1. El bosque de galería de las quebradas Barbona y Gualanday de g2 dan soporte a un alto potencial ecológico (Figura 7) (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

En p2, la especie dominante es el pincelito (*Emilia sonchifolia*) de la familia Asteraceae, y la subdominante es el escobo (*Sida sp.*) de la familia Malvaceae. El estrato herbáceo se encontró muy reducido, al parecer debido a la continua circulación de personas en los orillares de la quebrada Gualanday, la cual es utilizada como balneario. En cuanto a los arbustos, la especie dominante es el bejuco de castilla (*Cf. Paullinia sp.*) de la familia Sapindaceae, y la subdominante es el mosquero (*Croton leptostachyus* Kunth) de la familia Euphorbiaceae. Con relación a arbóreos, la especie dominante es el payandé (*Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth) de la familia Fabaceae, y la subdominante es el amé (*Zyglolongifolia* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) Britton & Rose), también de la familia Fabaceae. Se encontraron otras especies arbóreas de menor frecuencia como el diomate o gusanero (*Astronium graveolens* Jacq.), el cedrillo (*Trichilia sp.*), el higuero (*Ficus sp.*), el guamo rabo de mico (*Inga edulis* Mart.), el cedro macho (*Guarea trichilioides* L.) y carboneros (*Calliandra sp.*) (Montes y Martínez-Rivillas, 2012).

Respecto a la avifauna de g2, se registraron las siguientes especies dominantes: el garrapatero (*Crotophaga ani*), en preocupación menor (LC, en adelante todas tienen el mismo grado de amenaza se-

gún el IUCN, 2012), el periquito (*Brotogeris jugularis*), la tórtola (*Columbina talpacoti*) y el chulo (*Coragyps atratus*). Las especies de aves subdominantes en su orden son: el cascabelito (*Forpuscons picillatus*), la paloma arroyera (*Leptotila verreauxi*), el petirojo (*Pyrocephalus rubinus*), la codorniz crestada (*Colinus cristatus*), el carriqui pechiblanco (*Cyanocorax affinis*), el milvago (*Milvago chimachima*), la soledad (*Piaya cayana*), el mosquero común (*Todirostrum cinereum*), el jacamar (*Galbula ruficauda*), el jiriguelo (*Crotophaga ani*) y el carpintero (*Melanerpes rubricapillus*) (Montes y Martínez-Rivillas, 2012; Parra-Hernández et al., 2007).

Con relación a la herpetofauna, se registra la dominancia del basilisco (*Basiliscus basiliscus*), con amenaza NE (no evaluado en el IUCN), y la subdominancia del lagarto (*Ameiva sp.*), con amenaza NE (Montes y Martínez-Rivillas, 2012; Llano-Mejía, Cortés-Gómez y Castro-Herrera, 2010).

En la quebrada Barbona se registró contaminación con Coli (fecal UFC/100 ml de  $95 \times 10^2$  y total UFC/100 ml de  $11 \times 10^4$ ). Recurso que es consumido por algunas familias y turistas. La quebrada Gualanday también exhibe contaminación según los siguientes datos: 8,52 de pH, 6,25 mg/l de OD, 20 mg/l de SS, 8 mg/l de DQO y 4,6 mg/l de DBO<sub>5</sub>. Y la fuente que nace en la hacienda "La Arcadia" muestra resultados alarmantes: Coli fecal UFC/100 ml de  $16 \times 10^2$  y Coli total UFC/100 ml de  $79 \times 10^3$ , pues varias familias campesinas se abastecen de esa fuente. Por tanto, las anteriores fuentes ameritan el manejo inmediato de los residuos sólidos y líquidos, tanto de origen doméstico como agrícola (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

### Explotación biológica del geotopo turístico (g2)

El geotopo se despliega a lo largo de la quebrada Gualanday. Las áreas que presentan vegetación de gran porte corresponden a bosque ripario. Este ecosistema se encuentra en un estado de biostasia cuyo proceso geomorfológico natural no presiona cambios fuertes sobre su potencial biológico (Bertrand y Bertrand, 2006). La influencia antrópica corresponde a tres procesos: pérdida de cobertura vegetal para el mantenimiento del ganado, presión del turismo sobre los recursos naturales (incluyendo la descarga en Gualanday de aguas residuales domésticas), y extracción de material de construcción en los lechos y riberas de la quebrada Gualanday. Este último proceso propicia el desborde intempestivo de la quebrada en ciertas zonas, el incremento de la contaminación química y la turbidez del agua (lo que afecta la acuifera), y la pér-

didada de cobertura vegetal en los orillares (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

A pesar de estas perturbaciones, la presencia constante de agua y la vegetación presente permiten el establecimiento de poblaciones de aves y reptiles, los cuales aprovechan los recursos alimenticios que les brinda la fuente de agua y los frutos de los arbóreos. Los mamíferos también aprovechan los alimentos de este nicho. Varios individuos de basiliscos (*Basiliscus basiliscus*), reptil de gran tamaño, se encontraron en los bordes de la quebrada alimentándose de abundantes insectos. El higuero (*Ficus sp.*), el cedrillo (*Trichilia sp.*), el guamo rabo de mico (*Inga edulis* Mart.) y el cedro macho (*Guarea trichilioides* L.), se encontraban en producción de frutos, convirtiéndose en un recurso alimenticio importante para la avifauna (abundante en el lugar). El periquito (*Brotogeris jugularis*) y el carriquí pechiblanco (*Cyanocorax affinis*) fueron vistos aprovechando estos recursos (Lyles y Tatarko, 1986; Melo y Vargas, 2003; Montes y Martínez-Rivillas, 2012).

El bosque de galería de la quebrada Gualanday adquiere una gran relevancia para las políticas ambientales, en tanto que es un corredor biológico que le permite a distintas especies circular hasta lugares con mejores condiciones de conservación y/o protección. El g2 alberga ecosistemas poco intervenidos, acompañados de otros degradados con dinámicas regresivas, por lo cual, en términos generales, no hay modificaciones importantes del potencial ecológico (Montes y Martínez-Rivillas, 2012).

### Percepciones del paisaje de abanico bajo ganadería y turismo serranos

Las ganaderías serranas, que se encuentran establecidas en haciendas, principalmente, no se perciben con facilidad, pues apenas ocupan 2,6 has por cabeza de ganado. Los cerros cuentan con algunos arbóreos en casi 6.000 has, exceptuando las disecciones que canalizan varias fuentes de agua permanentes e intermitentes, en donde se desarrollan parches de bosque seco (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

Los adultos y adultos mayores entrevistados reconocen la pérdida considerable de bosques localizados en las microcuencas de las quebradas Gualanday y Barbona, y en distintos nacedores de agua y caños de drenajes. También se afirma que las haciendas y fincas medianas solían tener una cobertura boscosa mucho mayor, según testimonio de los primeros pobladores que llegaron a la vereda Briceño buscando agua para

consumo doméstico en 1959. Con los años se ha talado bosque para potrerizar en dichas propiedades. Se dice que las quebradas de Gualanday y Barbona, y el afloramiento de agua de la Hacienda La Arcadia, exhibían mayores caudales. Lo que queda bien constatado en campo (2012). Los entrevistados coinciden en la opinión de que las aguas de la quebrada Gualanday han sido “limpias” y tienen “propiedades medicinales”. Esta creencia se encuentra arraigada en algunos grupos de adultos mayores del Tolima y de otras regiones del país, lo que explica, en parte, la vocación turística de g2 (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

Los entrevistados de todas las edades refirieron la memoria ambiental de otros ejemplares de la fauna silvestre en los “Cerros de Gualanday” y los bosques riparios de las fuentes de Barbona y Gualanday. Poblaciones que han disminuido ostensiblemente. Se puede afirmar la presencia de las siguientes etnotaxonomías, no sin antes contrastar con estudios regionales previos. En cuando a mamíferos, se mencionaron: ñeque, boruga, gurre, venado, zorro y conejo. En avifauna se refirieron: guacharaca, perdiz, varias especies de loros, chilaco, canario, mirla, toche y azulejo. En herpetofauna, se presenciaron: mitao, lobón, iguana, sapo, lagartija, culebra toche, bejuca y coral. También se dice que, en la quebrada Gualanday de los años de 1980, se podían pescar cuchas, mojarras y bocachicos (Llano-Mejía *et al.*, 2010; Márquez *et al.*, 2005; Parra-Hernández *et al.*, 2007; Montes y Martínez-Rivillas, 2012).

Los entrevistados que dan testimonio de los usos agrarios serranos desde los años de 1950, refieren la existencia continua de la ganadería extensiva. También se da cuenta de la persistencia de cultivos de “pan coger” como plátano, banano, cachaco, cítricos y mamoncillo (Martínez-Rivillas y Montes, 2012).

### Análisis multicriterio geoambiental del paisaje de abanico de Ibagué

Con base en la información geográfica y biogeográfica anterior, se elaboró una matriz de criterios de medición de la salud ambiental de los agrosistemas/ecosistemas insertos en dos niveles escalares (Tabla 1): el geosistema (de abanico) y el geotopo (ganadero y turístico). El análisis a escala de geofacies queda implicado en la matriz, por lo que, para ver sus resultados, el lector solo debe agregar las mediciones normalizadas y corregidas de los dos geotopos de la Tabla 3. Los criterios seleccionados aseguran una visión integral de esta salud geoambiental en función de tres dimensiones: mesofauna conservada, agua superficial dis-

ponible y horizonte A del suelo en explotación agraria.

En el caso de los “mamíferos terrestres pequeños y medianos” ( $C_6$ ), se obtuvieron valores cero para g1 y g2, debido a que la prospección biogeográfica no pudo registrar ejemplares durante las 10 horas de recorridos. En cuanto al bosque primario ( $C_7$ ), se evidenció que su cobertura es casi inexistente en aquellos geotopos. Cabe aclarar que, la información de g1 y g2 relacionada en la Tabla 1, corresponde a la prospección de esta investigación, y la información de  $G_a$  es la síntesis de estudios previos y prospecciones de otros geotopos (Martínez-Rivillas, 2015).

Luego, se procedió a calcular los coeficientes de correlaciones de Pearson para las mediciones de los criterios  $C_n$ , a fin de establecer la pertinencia estadística de los datos de la matriz multicriterio anterior. Los

resultados de  $C_1$  a  $C_{10}$  reflejan correlaciones altas debido a que sus atributos biofísicos se refuerzan mutuamente en la medida que la conservación o biostasia de los ecosistemas se incrementa (Tabla 2). En cuanto a la contaminación del agua ( $C_{11}$  y  $C_{12}$ ), se constata su comportamiento antagonista respecto a la mejora de los criterios biofísicos.

En relación con los criterios de calidad del suelo ( $C_{13}$  y  $C_{14}$ ) se encontró una correlación muy débil, explicable por la acción destructiva de la erosión sobre la fertilidad del suelo. Respecto a  $C_{11}$  y  $C_{12}$  se tienen registros retroalimentadores, dado que estos dos criterios incrementan la contaminación. Las demás combinaciones tienen sentido empírico, y demuestran que los criterios seleccionados experimentan correlaciones no inanes, y con una exhaustividad aceptable de los atributos biofísicos.

TABLA 1.  
ANÁLISIS MULTICRITERIO GEOAMBIENTAL DEL PAISAJE DE ABANICO

Dimensiones	$C_n$	Criterios (iii)	Geosistema de abanico ( $G_a$ ) (386,53 km <sup>2</sup> )	Geotopo ganadero (g1) >60 km <sup>2</sup>	Geotopo turístico (g2) ±1 km <sup>2</sup>
Flora y fauna: $W_1 = 33,3\%$ ; $w_1 C_n = 4,2\%$					
Diversidad de especies dominantes y subdominantes (i y ii)	1	Herbáceas y arbustivos (especies o familias)	46 (0,12)	4 (0,07)	4 (4)
	2	Arbóreos	66 (0,17)	5 (0,08)	8 (8)
	3	Acuifauna	58 (0,15)	0 (0)	0 (0)
	4	Herpetos	62 (0,16)	0 (0)	2 (2)
	5	Aves	282 (0,73)	1 (0,02)	15 (15)
	6	Mamíferos terrestres pequeños y medianos	19 (0,05)	0	0
Cobertura de bosques (ii)	7	Bosque primario >80 años (km <sup>2</sup> )	0	0	0
	8	Bosque secundario 40-80 años (km <sup>2</sup> )	19,5 (0,05)	1,2 (0,02)	0,65 (0,65)
Agua: $W_2 = 33,3\%$ ; $w_2 C_n = 8,3\%$					
Disponibilidad de agua (ii)	9	Drenajes y/o riego (m3/s) para usos agrarios, turísticos y consumo humano	7,525 (0,02)	0	0,5 (0,5)
Contaminación del agua (i)	10	Oxígeno Disuelto en mg/l (mín. 5) (promedio de fuentes de usos agrícola y turístico)	33,7	0	6
	11	DBO <sub>5</sub> en mg/l (máx. 2) (promedio de fuentes de usos agrícola y turístico)	6	0	7,8
	12	Coli fecal UFC/100 ml (promedio de fuentes de consumo humano)	37x10 <sup>2</sup>	16x10 <sup>2</sup>	95x10 <sup>2</sup>
Suelo: $W_3 = 33,3\%$ ; $w_3 C_n = 16,6\%$					
Cobertura de la erosión (ii)	13	Erosión (km <sup>2</sup> )	5,21 (0,01)	5 (0,08)	0
Calidad del suelo en monocultivos (i)	14	Materia orgánica: Media (3,1-6%); Baja (1,6-3%); Muy baja (≤1,5%) (promedio de las muestras)	1,4	1,3	1,5

Fuente: el autor con base en (i): Martínez-Rivillas y Montes, 2012; Montes y Martínez-Rivillas, 2012; (ii): Martínez-Rivillas, 2015; y (iii): Martínez-Rivillas, 2013; Munda, 2006; Munda, 2005; Munda, 1995.

TABLA 2.  
COEFICIENTES DE CORRELACIONES DE PEARSON DE LOS CRITERIOS DE I<sub>M</sub>

Coefficientes de correlaciones de Pearson	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	Herbáceas y arbustivos	Arbóreos	Peces	Herpetos	Aves	Mamíferos terrestres pequeños y medianos	Bosque primario	Bosque secundario	Drenajes y/o riego	Oxígeno Disuelto	DBO <sub>5</sub>	Coli fecal	Erosión	Materia orgánica
1	Herbáceas y arbustivos	1												
2	Arbóreos	0,9990	1											
3	Peces	0,9990	1											
4	Herpetos	0,9996	0,9996	1										
5	Aves	0,9990	0,9990	0,9999	1									
6	Mamíferos terrestres pequeños y medianos	0,9990	1,0000	0,9996	0,9990	1								
7	Bosque primario	0	0	0	0	0	1							
8	Bosque secundario	0,9997	0,9997	0,9985	0,9976	0,9997	0	1						
9	Drenajes y/o riego	0,9982	0,9999	0,9982	0,9995	0,9982	0	0,9964	1					
10	Oxígeno Disuelto	0,9860	0,9923	0,9860	0,9903	0,9860	0	0,9814	0,9942	1				
11	DBO <sub>5</sub>	0,2969	0,3382	0,2969	0,3238	0,2969	0	0,2723	0,3531	0,4521	1			
12	Coli fecal	-0,2610	-0,2187	-0,2610	-0,2335	-0,2610	0	-0,2857	-0,2032	-0,0963	0,8443	1		
13	Erosión	0,9999	0,9984	0,9999	0,9991	0,9999	0	0,9999	0,9973	0,9837	0,2840	-0,2739	1	
14	Materia orgánica	0	0,0436	0	0,0284	0	0	-0,0256	0,0594	0,1669	0,9549	0,9653	-0,0134	1

Fuente: el autor con base en Hernández, Fernández y Baptista, 2010.

**TABLA 3. NORMALIZACIONES, CORRECCIONES Y AGREGACIONES LINEALES PARA DETERMINAR EL INDICADOR MULTICRITERIO GEOAMBIENTAL ( $I_M$ ) DEL PAISAJE DE ABANICO**

	Normalización escalar de Ga mediante promedio, unidad de área, o unidad de volumen (a)	Normalización cardinal de 0 a 100 de Ga (b)	Corrección de la dirección de las mediciones de Ga según criterios (Cn) (c)	Normalización escalar de g1 mediante promedio, unidad de área, o unidad de volumen (a)	Normalización cardinal de 0 a 100 de g1 (b)	Corrección de la dirección de las mediciones de g1 según criterios (Cn) (c)	Normalización escalar de g2 mediante promedio, unidad de área, o unidad de volumen (a)	Normalización cardinal de 0 a 100 de g2 (b)	Corrección de la dirección de las mediciones de g2 según criterios (Cn) (c)
1	0,12	1,27	1,27	0,07	0	0	4	100	100
2	0,17	1,14	1,14	0,08	0	0	8	100	100
3	0,15	100	100	0	0	0	0	0	0
4	0,16	8,00	8,00	0	0	0	2	100	100
5	0,73	4,74	4,74	0,02	0	0	15	100	100
6	0,05	100	100	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0,05	4,76	4,76	0,02	0	0	0,65	100	100
	$W_1$		220			0			500
	33		9			0			21
9	0,02	4,00	4,00	0	0	0	0,5	100	100
10	33,7	100	100	0	0	0	6	18	18
11	6	76,92	23	0	0	0	7,8	100	0
12	3700	26,58	73,42	1600	0	100	9500	100	0
	$W_2$		200			100			118
	33		17			8			10
13	0,01	12,50	87,5	0,08	100	0	0	0	100
14	1,4	50	50	1,3	0	0	1,5	100	100
	$W_3$		138			0			200
	33		23			0			33
15	$I_M$	$I_M(Ga)$	48		$I_M(g1)$	8		$I_M(g2)$	63

Fuente: el autor con base en Munda, 2006; Munda, 2005; Funtowicz et al., 2002; Munda, 1995.



Una vez superadas las pruebas de correlaciones, se procedió a construir el indicador geoambiental ( $I_M$ ) de  $G_a$ ,  $g1$  y  $g2$ . Así pues, se realizaron las normalizaciones, correcciones y agregaciones lineales de los datos obtenidos para los 14 criterios (Tabla 3). En la dimensión de fauna y flora, el indicador geoambiental parcial arrojó un valor de 21 puntos para  $g2$  frente a 9 puntos de  $G_a$ , lo que es consistente con el mejor estado de conservación de  $g2$ .

En cuanto a la dimensión del agua, se evaluó  $G_a$  con 17 puntos y  $g2$  con 10 puntos, lo que es constatable por la alta presión turística y agrícola que recibe un área reducida como la de este geotopo. Respecto al suelo, se encontró una valoración de 23 puntos para  $G_a$  y de 33 puntos para  $g2$ . Este último valor es explicable por la poca intervención antrópica del suelo del bosque ripario en la zona turística y la poca labranza de su entorno.

Finalmente, se obtuvo en el balance general un resultado con  $I_M(g2) > I_M(Ga) > I_M(g1)$ , lo que corresponde a una valoración de la salud ambiental de los ecosistemas/agrosistemas de cada unidad espacial razonablemente consistente con sus atributos biofísicos. De este modo, se prueba también la utilidad del indicador geoambiental para realizar valoraciones transescalares de las zonas rurales de Colombia, y de otras regiones agrarias del mundo.

### Discusión sobre la pertinencia del indicador multicriterio geoambiental ( $I_M$ )

En Colombia no hay indicadores implementados para evaluar la salud ambiental de los paisajes agrarios a diferentes escalas. Se han aplicado indicadores de evaluación de la sostenibilidad ambiental con enfoques urbanos, o indicadores de biodiversidad y estudios de fragmentación de bosques con enfoques uniescalares (SIB, 2019; Quiroga-C., Roa-R., Melo, y Fernández-M., 2019; Martínez-Rivillas y Carrión, 2009).

En Latinoamérica, no existen antecedentes de estudios multicriterio de paisajes agrarios. Recientemente, se está incursionando en estudios integrados de problemas sanitarios, bajo el rótulo “análisis multicriterio para la toma de decisiones” (MCDA) y, en algunos casos, asociados al uso de la herramienta SIG (Cobos, Solano, Vera y Juan, 2017). En Colombia, los que han abordado su metodología, se han concentrado en realizar reflexiones generales sobre su versatilidad para la toma de decisiones en gestión ambiental (Grajales-Quintero, Serrano-Moya y Hahn, 2013; Martínez-Rivi-

llas, 2012), en la gestión empresarial (Acosta, Díaz y Anaya, 2009), o en el manejo del agua en el cultivo de arroz (Lozano Chamorro y Cortés González, 2017).

Los estudios geoambientales de G. Bertrand se han desarrollado a nivel de ecología del paisaje, especialmente. Pero, las perspectivas económicas y culturales del espacio, inherentes a la teoría del GTP, están por desarrollarse en profundidad (Frolova, 2003). Asimismo, los enfoques de evaluación geoambiental transescalares, empleando los principios del GTP, tampoco se han aplicado a estudios de caso. En Colombia, apenas se han realizado algunos avances en estrategias de gestión ambiental sobre la base del GTP (Fonseca, 2012).

Asimismo, en el departamento del Tolima no existen precedentes de la aplicación de indicadores geoambientales de agrosistemas, por lo que no es posible realizar un balance crítico de la pertinencia metodológica entre dos o más enfoques evaluativos. Las evaluaciones de tierras, realizadas recientemente en la región por el Ministerio de Agricultura de Colombia, han sido uniescalares, dejaron de lado cualquier evaluación de la salud de los agrosistemas, no consideraron los niveles escalares detallados o semidetallados, y no incluyeron indicadores de biodiversidad. De hecho, se enfocaron en la zonificación de aptitudes de uso agropecuario, y la escala de recomendaciones es tan general (más allá del geosistema) que no pueden sugerir usos de tierras a nivel predial, veredal y corregimental (Cf. UPRA, 2013).

### CONCLUSIONES

El indicador  $I_M$  es sensible, multiescalarmente, a la presión antrópica sobre la biodiversidad en los bordes silvoagrarios. Esto permite una comparación transescalar del estado de biostasia de los agrosistemas. Su evaluación cuantitativa refleja bien el impacto de la erosión y la disponibilidad de agua superficial, pues el indicador castiga su influencia en la salud de los agrosistemas a escala del geosistema y del geotopo. Por otro lado, el criterio de la materia orgánica del suelo logra condensar otros criterios de fertilidad, y muestra su utilidad a nivel de geotopos al menos.

El  $I_M$  debe ser complementado con estudios de microfauna del suelo, fisicoquímica y topografía del suelo, distribución de la precipitación y la radiación solar, y accesibilidad a riego y vías, pero a escala predial, si se quieren fortalecer las evaluaciones ambientales de los agrosistemas. Asimismo, el indicador podría no ser sensible a la comparación entre los paisajes de monta-

ña y los paisajes de abanico, de cara a la de evaluación ambiental de escala predial, por lo cual requeriría de criterios más refinados, como degradación del suelo de ladera asociada a precipitaciones, tipos de suelos y relieve, y técnicas agrícolas.

Las aves registradas en esta investigación tienen algún grado de amenaza. Los mamíferos terrestres medianos reportados también han perdido población desde los años de 1950. Lo anterior amerita una medida de protección del bosque ripario y la reforestación en sus bordes. Igualmente, se requiere una evaluación de la amenaza de los herpetos de la geofacies de cerros de Ibagué.

Los herbicidas e insecticidas aplicados en el abanico de Ibagué han producido una contaminación histórica de las fuentes de agua precipitadas. Pues, sus haciendas incorporaron cultivos de arroz con tecnologías de mecanización y aspersión aérea, y el uso extensivo de la ganadería, lo que implicó el manejo agresivo de “malezas” y la deforestación del bosque seco (Martínez-Rivillas, 2015). Por tanto, se requiere el establecimiento de proyectos agroecológicos en el paisaje de abanico, y la conversión de la ganadería serrana a aprovechamientos ecoturísticos de bajo impacto, dada la enorme diversidad de aves y herpetos, y la posibilidad de una pesca deportiva controlada.

#### AGRADECIMIENTOS

Extiendo mi profunda gratitud al grupo de investigadores y laboratoristas del proyecto de investigación que aportaron desde distintas disciplinas el material empírico que hizo posible este artículo, especialmente a Jaqueline Chica, Andrés Montes, Gabriel Puin y Héctor Penagos.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta, M., Díaz, R. y Anaya, A. (2009). Revisión de técnicas de análisis de decisión multicriterio (multiple criteria decision analysis-MCDA) como soporte a problemas complejos: pronósticos de demanda, *Revista científica Guillermo de Ockham, Universidad de San Buenaventura*, 7(2).

Ballard, H. L., Robinson, L. D., Young, A. N., Pauly, G. B., Higgins, L. M., Johnson, R. F. & Tweddle, J. C. (2017). Contributions to conservation outcomes by natural history museum-led citizen science: Examining evidence and next steps. *Biological Conservation*, 208, 87-97. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.08.040>

Bertrand, G. (2008). Un paisaje más profundo. De la epistemología al método, *Cuadernos Geográficos*, 43(2), 17-27.

Bertrand, G. y Bertrand, C. (2006). *Geografía del Medio Ambiente. El sistema GTP: Geosistema, Territorio y Paisaje*. Granada, España: Universidad de Granada.

Cantonwine, E.; Nienow, J.; Blackmore, M.; Griffin, B.; Bergstrom, B.; Bechler, D.; Henkel, T... Lee, G. (2019). Results of a Fall and Spring BioBlitz at Grassy Pond Recreational Area, Lowndes County, Georgia. *Georgia Journal of Science*, 77(2). Recuperado de <https://digitalcommons.gaacademy.org/gjs/vol77/iss2/17>

Cobos, S., Solano, J., Vera, A. y Juan, M. (2017). *Análisis multicriterio basado en GIS para identificar potenciales áreas de emplazamiento de un relleno sanitario mancomunado en la provincia del Azuay*, ConFibSIG, Ecuador: Universidad del Azuay.

Etter, A y Villa, A. (2000). Andean forests and farming systems in part of the eastern cordillera (Colombia), *Mountain Research and Development*, 20(3), 236-245.

Etter, A y Wyngaarden, V. (2000). Patterns of landscape transformation in Colombia with emphasis in the andean region, *Royal Swedish Academy of Sciences*, 29(7), 432-439.

Etter, A. (1990). *Introducción a la ecología del paisaje un marco de integración para los levantamientos rurales*, Bogotá, Colombia: Instituto Geográfico Agustín Codazzi.

Frolova, M. (2003). Bertrand, Claude et Georges. Une géographie traversière: L'environnement à travers territoires et temporalités. Biblio 3W, *Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, Universidad de Barcelona, VIII(432).

Fonseca, F. (2012). Diseño metodológico para la definición de determinantes ambientales regionales basadas en el sistema GTP en la jurisdicción de CORPOCHIVOR. *Perspectiva Geográfica*, 1(16), 55-82. <https://revistas.uptc.edu.co/index.php/perspectiva/article/view/1750/1745>

Funtowicz, S. O. y Ravetz, J. R. (1994). The Worth of a Songbird: Ecological Economics as a Post-Normal Science, *Ecological Economics*, 10.

Funtowicz, S. O., Martínez-Alier, J., Munda, G., y Ravetz, J. (1999). Information Tools for Environmental Policy under Conditions of Complexity, European Environmental Agency, Experts' Corner, *Environmental Issues Series*, 9(15).

- Funtowicz, S. O., Martínez-Alier, J., Munda, G., y Ravetz, J. (2002). Multicriteria-Based Environmental Policy, En: H. Abaza y A. Baranzini (eds.), *Implementing Sustainable Development*, Cheltenham: UNEP, Edward Elgar.
- Funtowicz, S. O., Munda, G. y Paruccini, M. (1990): The Aggregation of Environmental Data Using Multicriteria Methods, *Environmetrics*, 1(4).
- González, L. (2005). *Caracterización y ecodinámica de las unidades de paisaje en la cuenca del río San Marcos* (Tesis de Ph.D.), Universidad de Sevilla, España.
- Grajales-Quintero, A., Serrano-Moya, E. y Hahn, C. (2013). Los métodos y procesos multicriterio para la evaluación, *Luna Azul, Universidad de Caldas*, 36.
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, M. (2010). *Metodología de la investigación*, 5ª Edición, México: McGrawHill.
- Hsu, L., Hutchison, V.B., Langseth, M.L., y Wheeler, B. (2018). U.S. Geological Survey Community for Data Integration 2017 Workshop Proceedings, *U.S. Geological Survey Open-File Report 2018-1081*, Recuperado de <https://doi.org/10.3133/ofr20181081>
- IDEAM. (2001). *El medio ambiente en Colombia*, Bogotá, Colombia: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- ISD. (2001). *Indicators of Sustainable Development (ISD): framework and methodologies*. Background paper No. 3. Prepared by: Division for Sustainable Development Department of Economic and Social Affairs, Ninth Session, 16-27, April, New York, USA: Commission on Sustainable Development, UN.
- IUCN. (2012). *Red list of threatened species, versión 2012.1*. Recuperado de <http://www.iucnredlist.org>
- Llano-Mejía J., Cortés-Gómez A. y Castro-Herrera F. (2010). Lista de anfibios y reptiles del Departamento del Tolima, Colombia, *Biota Colombiana*, 11(1 y 2).
- Lozano Chamorro, D., y Cortés González, N. (2017). Evaluación de la huella hídrica del proceso productivo del arroz (*oryza sativa*) en el municipio del Espinal – Tolima y su incidencia ambiental en el área de influencia. Recuperado de [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/383](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/383)
- Lyles, L. y Tatarko, J. (1986). Wind erosion effects on soil texture and organic matter, *Soil/Water Conserv.*, 41(3), 191-193.
- Márquez, C., Bechard, M., Gast, F. y Vanegas, V. (2005). *Aves rapaces diurnas de Colombia*, Bogotá, Colombia: Instituto de Investigaciones de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt.
- Martínez-Alier, J. (2008). Decrecimiento Sostenible, *Ecología Política*, 35, Barcelona: Icaria Editorial.
- Martínez-Rivillas, A. (2015). *Procesos ambientales, socioeconómicos y socioculturales de Ibagué rural. Un estudio desde la geografía híbrida* (Tesis de Ph.D.), Programa de Estudios de Posgrado en Geografía (EPG), Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia (UPTC) e Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), Bogotá, Colombia.
- Martínez-Rivillas, A. (2012). Los problemas ambientales: un nuevo llamado a la vida activa de la filosofía, *Luna Azul, Universidad de Caldas*, 35.
- Martínez-Rivillas, A. (2013). Geografía y sostenibilidad fuerte: conceptos e indicadores, *UD y la Geomática, Universidad Distrital FIDC*, 7, 87-98.
- Martínez-Rivillas, A. y Carrión, G. A. (2009). *Estudio crítico para el desarrollo territorial de regiones estratégicas colombianas, en el marco de un modelo de sostenibilidad integral*, Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (MAVDT), Programa de Apoyo Ambiental de los Países Bajos, Bogotá, Colombia. Recuperado de [https://www.researchgate.net/publication/335589305\\_ESTUDIO\\_CRITICO\\_PARA\\_EL\\_DESARROLLO\\_TERRITORIAL\\_DE\\_REGIONES ESTRATEGICAS\\_COLOMBIANAS\\_EN\\_EL\\_MARCO\\_DE\\_UN\\_MODELO\\_DE\\_SOSTENIBILIDAD\\_INTEGRAL](https://www.researchgate.net/publication/335589305_ESTUDIO_CRITICO_PARA_EL_DESARROLLO_TERRITORIAL_DE_REGIONES ESTRATEGICAS_COLOMBIANAS_EN_EL_MARCO_DE_UN_MODELO_DE_SOSTENIBILIDAD_INTEGRAL)
- Martínez-Rivillas, A. y Montes, A. (2012). Informes de levantamientos de geotopos en Hacienda Gascoña, Briceño, Ambalá parte Alta, El Rubí, Villarrestrepo, La Linda, El Guaico, El Rancho, Toche y El Totumo”, En: *Informe del proyecto de investigación de la Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia: Determinación de la línea base socio-ambiental del territorio rural de Ibagué, cuenca mayor del río Coello, Tolima, Colombia, 2012-2015*, Código: 180112.
- Massiris, Á. (2012). *Gestión territorial y desarrollo. Hacia una política de desarrollo territorial sostenible en América Latina*, Tunja, Colombia: UPTC.
- Mateo, J. M. y Da Silva, E. V. (2007). La geología del paisaje, como fundamento para el análisis am-

- biental, *Revista electrónica do Prodema, Fortaleza*, 1(1), 77-98.
- Melo, O. y Vargas, R. (2003). *Evaluación ecológica y silvicultural de ecosistemas boscosos*, Ibagué, Colombia: Universidad del Tolima-CRQ-CARDER-CORPOCALDAS-CORTOLIMA.
- MGC, 2007. *Mapa Geológico de Colombia*, Bogotá, Colombia: Ingeominas.
- Montes, A. y Martínez-Rivillas, A. (2012). Prospección y caracterización de flora y fauna de parcelas en Hacienda Gascoña, Briceño, Ambalá parte Alta, El Rubí, Villarrestrepo, La Linda, El Guaico, El Rancho, Toche y El Totumo, En: *Informe del proyecto de investigación de la Universidad del Tolima, Ibagué, Colombia: Determinación de la línea base socio-ambiental del territorio rural de Ibagué, cuenca mayor del río Coello, Tolima, Colombia, 2012-2015*, Código: 180112.
- Munda, G. (1995). *Multicriteria Evaluation in a Fuzzy Environment*, Series Contributions to Economics, Heidelberg: Physica-Verlag.
- Munda, G. (2005). Measuring Sustainability: A Multi-Criterion Framework. *Environment, Development and Sustainability*, Kluwer Academic Publishers, 7(1), 117-134.
- Munda, G. (2006). Social multi-criteria evaluation for urban sustainability policies, *Land Use Policy*, 23(1).
- Munda, G. y Nardo, M. (2003). *Mathematical Modeling of Composite Indicators for Ranking Countries*. Proceedings of the First OECD/JRC Workshop on Composite Indicators of Country Performance: JRC, Ispra.
- Munda, G., Nijkamp, P., y Rietveld, P. (1995). Qualitative Multicriteria Methods for Fuzzy Evaluation Problems. *European Journal of Operational Research*, 82.
- Nicolai A, Guernion M, Guillocheau S, Hoeffner K, Le Gouar P, Ménard N... Piscart C. (2020). Transdisciplinary Bioblitz: Rapid biotic and abiotic inventory allows studying environmental changes over 60 years at the Biological Field Station of Paimpont (Brittany, France) and opens new interdisciplinary research opportunities. *Biodiversity Data Journal* 8: e50451. <https://doi.org/10.3897/BDJ.8.e50451>
- Ortiz, A. P. (1989). *Sombríos y Caturrales del Líbano-Tolima: Transformación y crisis ecológica de un paisaje cafetero*, Análisis metodológico y cartografía integrada, *Análisis Geográficos*, 13, Bogotá, Colombia: IGAC.
- Özkaynak, B., Devine, P. y Rigby, D. (2004). Operationalising Strong Sustainability: Definitions, Methodologies and Outcomes. *Environmental Values*, 13, 279-303.
- Parker, S. S., Pauly, G. B., Moore, J., Fraga, N. S., Knapp, J. J., Principe, Z., Brown... Wake, T. A. (2018). Adapting the bioblitz to meet conservation needs. *Conservation Biology*, 32(5). <https://doi.org/10.1111/cobi.13103>
- Parra-Hernández, R., Carantón-Ayala D., Sanabria-Mejía J., Barrera Rodríguez L., Sierra-Sierra, A., Moreno-Palacios, M., Yate-Molina, W., Figueroa-Martínez, W., Díaz-Jaramillo, C., Florez-Delgado, V., Certuche-Cubillos, J., Loaiza-Hernández, H. y Florido-Cuellar, B. (2007). Aves del Municipio de Ibagué, Tolima, Colombia, *Biota Colombiana*, 8(2), 199-220.
- Pollock, N. B., Howe, N., Irizarry, I., Lorusso, N., Kruger, A., Himmler, K. & Struwe, L. (2015). Personal BioBlitz: A New Way to Encourage Biodiversity Discovery and Knowledge in K-99 Education and Outreach. *BioScience*, 65(12), 1154-1164. <https://doi.org/10.1093/biosci/biv140>
- Postles, M. & Bartlett, M. (2018). The rise of BioBlitz: Evaluating a popular event format for public engagement and wildlife recording in the United Kingdom. *Applied Environmental Education and Communication*, 17(4), 365-379. <https://doi.org/10.1080/1533015X.2018.1427010>
- Quiroga-C., J.A., Roa-R., H.Y., Melo, O. y Fernández-M., F. (2019). Estructura de fragmentos de bosque seco tropical en el sur del departamento del Tolima, Colombia. *Bol. Cient. Mus. Hist. Nat. U. de Caldas*, 23(1), 31-51. <https://revistasoj.s.ucaldas.edu.co/index.php/boletincentifico/article/view/2460>
- SIAT. (2019). *Sistema de Información de Alertas Tempranas. Tremarctos Colombia 2.0. Conservación Internacional Colombia*. Recuperado de <http://200.32.81.75/repo-tremarctos-integrado/>
- SIB. (2019). *Sistema de Información Biológico de Colombia. Indicadores territoriales de conocimiento de la biodiversidad*. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado de <http://datos.biodiversidad.co/geografic/explorer>
- Sureda, B., De Felipe, J. J. y Xercavins, J. (2002). *Hacia la valoración de la sostenibilidad de una región teniendo en*

*cuenta su capacidad de carga y sus aspectos sociales, según los diferentes criterios de sostenibilidad.* VI Congreso Nacional del Medio Ambiente, Comunicaciones técnicas, 1-22, España: Colegio Oficial de Físicos.

UPRA. (2013). *Evaluación de tierras para la zonificación con fines agropecuarios. Caso sur del departamento del Tolima*, Bogotá, Colombia: UPRA, Ministerio de Agricultura.

Zhou, X., Robinson, J., Geraci, C., Parker, C., Flint, O., et. al. (2011). Accelerated construction of a regional DNA-barcode reference library: caddisflies (Trichoptera) in the Great Smoky Mountains National Park Source, *Journal of the North American Benthological Society*, 30(1), 131-162. <https://doi.org/10.1899/10-010.1>