



Estimación de la huella ecológica del minifundio en la vereda Pasquilla, Bogotá, Colombia*

Estimation of the Ecological Footprint of the Small Holdings in the Pasquilla Settlement, Bogotá, Colombia

Rafael Ernesto Valero-Vargas**, Julio Eduardo Beltrán-Vargas***

Recibido: 2016-03-15 // Aprobado: 2016-05-25 // Disponible en línea: 2016-06-30

Cómo citar este artículo: Valero Vargas, R. E. y Beltrán Vargas, J. E. (2016). Estimación de la huella ecológica del minifundio en la vereda Pasquilla, Bogotá, Colombia. *Ambiente y Desarrollo*, 20(39), 117-141. <http://dx.doi.org/10.11144/Javeriana.ayd20-39.ehem>
doi:10.11144/Javeriana.ayd20-39.ehem

Resumen

En la actualidad el país no cuenta con un instrumento de gestión ambiental que permita estimar la huella ecológica provocada por las actividades agropecuarias de los minifundios, lo que restringe la formulación de políticas públicas locales de desarrollo agropecuario. En 2014, se midió la huella ecológica de 27 minifundios en la vereda Pasquilla de Bogotá, Cundinamarca, Colombia. La información provino de los productores y fue complementada con revisiones secundarias de las publicaciones del sector agropecuario. En hectáreas globales, la huella ecológica per cápita coincidió con una cifra de 1,89, valor que fue desagregado en 0,67 para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*); 0,22 para el manejo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*); 0,37 para los bosques, y 0,38 para el consumo de energía eléctrica. En suma, el balance ecológico mostró un déficit de 0,59 hectáreas globales.

Palabras clave: actividades agropecuarias; huella ecológica; minifundios; Pasquilla

* Artículo de investigación original derivado del trabajo de grado titulado *Estimación de la huella ecológica del minifundio en la vereda Pasquilla, Bogotá, Cundinamarca – Colombia* para optar al título de Magister en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

** Magister en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental. Médico Veterinario y Zootencista, Universidad ECCI. Correo electrónico: rvalerov@ecc.edu.co

*** Doctor en Ciencias – Biología. Biólogo Marino. Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Correo electrónico: jebeltran@udistrital.edu.co

Abstract

Currently, the country does not have an environmental management tool that allows to estimate the ecological footprint caused by agricultural activities of smallholdings, which restricts the development of local public policies for agricultural development. In 2014, the ecological footprint of 27 smallholdings in the Pasquilla path of Bogota, Cundinamarca, Colombia, was measured. The information from producers was obtained and completed with secondary publications in the agricultural sector. In global hectares, the ecological footprint per capita was 1,89: it was broken down into 0,67 for potato crop (*Solanum tuberosum*); 0,22 for management of kikuyu grass (*Pennisetum clandestinum*); 0,37 for forests, and 0,38 for electric power consumption. The ecological balance showed a deficit of 0,59 global hectares.

Keywords: agricultural activities; ecological footprint; smallholdings; Pasquilla

superficie de huella indirecta de los ecosistemas de la cuenca hidrográfica Paso Colorado, que está cubierta por bosques utilizados para asimilar el CO₂ que generan los procesos de producción y consumo (Cerutti *et al.*, 2013; Bastianoni *et al.*, 2012; Cehn, 2010; Doménech, 2006; Wackernagel y Ress, 1996). Los datos que sirvieron de base para el estudio se obtuvieron directamente de los productores y se complementaron con información secundaria de instituciones públicas y privadas, tanto nacionales como internacionales, relacionadas con el sector agropecuario.

De acuerdo con los lineamientos de Tobasura y Sepúlveda (2001), se construyó una matriz de valoración cualitativa que evaluaba la importancia otorgada a los insumos de los procesos agroproductivos agrícolas, como semillas, abonos, correctores de acidez, insecticidas y fungicidas, y pecuarios, como fertilizantes nitrogenados (urea) y compuestos; al igual que ectoparasiticidas, endoparasiticidas, vacunas y alimentos concentrados. Se otorgó un peso de importancia a cada insumo según su influencia, cantidad y frecuencia de uso. La valoración y ponderación de cada insumo fue cualitativa, y se ordenó de acuerdo con su importancia, bien fuera esta alta, media o baja. Las asignaciones se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Matriz para interpretar la valoración de importancia de las tecnologías agropecuarias

<i>Resultado de la valoración</i>	<i>Ponderación</i>
Tres alta	1,0
Dos alta y una media	0,9
Dos alta y una baja	0,8
Dos media y una alta	0,7
Una alta, una media y una baja	0,6
Tres media	0,5
Dos media y una baja	0,4
Dos baja y una alta	0,3
Dos baja y una media	0,2
Tres baja	0,1

Fuente: adaptado de Tobasura y Sepúlveda (2001)

Por otra parte, la huella ecológica de los minifundios y la biocapacidad de la vereda Pasquilla fueron estudiadas a partir de los componentes principales, como se muestra en la tabla 2 expuesta a continuación.

Los valores de los factores de equivalencia de la energía fósil fueron tomados de Doménech (2006), y coinciden con los que fueron empleados por Torres *et al.* (2011) así como con los de las superficies de huella de Ewing *et al.* (2008). A continuación, en la tabla 3, se presentan los valores de los factores de equivalencia tomados para este estudio.

La figura 1 y la ecuación 1 presentan, por su parte, la forma como se estructuró la metodología para medir la huella ecológica de los minifundios con base en la revisión de la literatura.

Ecuación 1

$$HE_{\text{minifundio}} = \sum A * (Y_n / Y_w) * EQF + \sum \alpha * ((P_{\text{farming techn}} / Y_w) * EQF) + \sum HE_i$$

Los valores de la ecuación corresponden a los siguientes rubros: HE es la huella ecológica; A, la superficie en hectáreas empelada en las actividades agropecuarias; Y_n, el promedio nacional de la productividad de un determinado cultivo, obtenido a partir de la producción nacional y la superficie dedicada al cultivo; Y_w, el promedio de productividad mundial de un determinado cultivo; EQF, el

Tabla 2. Componentes y superficies de huella ecológica de los minifundios de Pasquilla

<i>Componente principal</i>	<i>Superficies ecológicamente productivas</i>	<i>Unidad de medida</i>	<i>Fuentes consultadas</i>
Agricultura	Hectáreas cultivadas con papa (<i>Solanum tuberosum</i>) en minifundios estudiados	Hectáreas reales y hectáreas globales	Avellaneda, Torres y León-Sicard, 2014; DANE, 2013; Minagricultura, 2013; Martínez <i>et al.</i> , 2005; Minagricultura, 2003; Fedepapa, 2010; Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009; UT Restaurar, 2009; Ewing <i>et al.</i> , 2008; Gómez, 2008; Ingeniería y Proyectos Regionales (Inpro), 1999; Machado <i>et al.</i> , 1995
	Sobreproducción de papa	Hectáreas globales	Minagricultura, 2013; Passeri <i>et al.</i> , 2013; Salazar, 2011; Ideam, 2010; Gómez, 2008; Garmendía <i>et al.</i> , 2005; Mamouni <i>et al.</i> , 2009; Martínez <i>et al.</i> , 2005; Lerdon, 2003; Forero, 2003; SAC-SENA, 2002
Ganadería	Hectáreas cubiertas con pasto kikuyo (<i>Penisetum clandestinum</i>) en minifundios estudiados	Hectáreas reales y hectáreas globales	CTA, 2015; Posada <i>et al.</i> , 2013; Cardona, Ríos y Peña, 2012; Hernández <i>et al.</i> , 2014; Ewing <i>et al.</i> , 2008; Machado, 2006; Forero, 2003; Machado <i>et al.</i> , 1995; Pinzón, s.f.
	Sobreproducción de pastos	Hectáreas globales	Cortés <i>et al.</i> , 2012; WinChing, Pérez y Salazar, 2011; Forero, 2003; Arias <i>et al.</i> , 1990
Bosques	Hectáreas asociadas al consumo de leña en minifundios estudiados	Mj/kg-ha y hectáreas globales	Prando, 2014; Ramírez y Taborda, 2014; Sierra <i>et al.</i> , 2011; Díaz, 2010; Doménech, 2006; Pinto, 2004; Wackernagel y Ress, 1996
Construcción	Hectáreas ocupadas por vías de comunicación de tercer y cuarto orden en Pasquilla	Hectáreas reales y hectáreas globales	Corantioquía, 1993; Semarnat, 2013; Salazar, 2011; CAR, 2007; Wackernagel y Ress, 1996
	Hectáreas ocupadas por la vivienda rural campesina e infraestructura sanitaria en los minifundios estudiados	Hectáreas reales y hectáreas globales	Corantioquía, 1993; Semarnat, 2013; Salazar, 2011; CAR, 2007; Wackernagel y Ress, 1996
	Hectáreas asociadas a la captación, tratamiento y distribución del agua para consumo humano y animal en los minifundios estudiados	Hectáreas per cápita y caudal en red m ³ /seg	Zúñiga y Zúñiga, 2013; Hernández, 2012; MADS, 2013; CAR, 2007; UT Restaurar, 2009; Nieto, 2002; Ewing <i>et al.</i> , 2008
Energía y captación de CO ₂	Hectáreas asociadas al consumo de gas licuado de propano (GLP) los en minifundios estudiados	Gj/ha y hectáreas globales	Sierra <i>et al.</i> , 2011; Doménech, 2006; UPME, 2005
	Hectáreas asociadas al consumo de energía eléctrica domiciliar en los minifundios estudiados	kWh y hectáreas globales	DANE, 2014; Muñoz <i>et al.</i> , 2012; Prias, 2010; UPME, 2010; Doménech, 2006; Machado, 2006
Biocapacidad	Proporción de hectáreas de bosques protectores, rondas de nacimientos y cuerpos de agua de Pasquilla disponibles para los minifundios estudiados	Hectáreas reales y hectáreas globales	GFN, 2014; Borucke <i>et al.</i> , 2013; Torres <i>et al.</i> , 2011; Salazar, 2011; UT Restaurar, 2009; Ewing <i>et al.</i> , 2008; Ideam, 2008; CAR, 2007; CAN, 2005; Bagliani <i>et al.</i> , 2003; Wackernagel y Ress, 1996

Fuente: elaboración propia, 2015

Tabla 3. Factores de equivalencia de huella ecológica

<i>Categoría de uso del suelo</i>	<i>Factor de equivalencia</i>
Energía fósil	1,14
Suelo agrícola	2,51
Superficie en pastos	0,46
Superficie en bosques	1,26
Superficie construida	2,51
Superficies marinas	0,37

Fuentes: Ewing *et al.* (2008) y Doménech (2006)

factor de equivalencia del cultivo en estudio; α , el factor de productividad agrícola, ponderado con respecto al rendimiento máximo y mínimo para el sistema agrícola estudiado; $P_{\text{farming tech}}$, la producción lograda mediante una determinada técnica de manejo agrícola, y He_i , la proporción de huella ecológica apropiada por los bienes de consumo importados.

Para medir la huella ecológica de las actividades agropecuarias se tomó como guía el procedimiento recomendado por la literatura consultada (Chen *et al.*, 2010; Ewing *et al.*, 2008).

Descripción del área de estudio

Los minifundios de la vereda Pasquilla estudiados se localizan en la cuenca hidrográfica de la Quebrada Paso Colorado (Salazar, 2011), que corresponde a la subcuenca del río Tunjuelo. De acuerdo con la base de datos del Sistema de Información Geográfica (SIG) de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) (2007), la vereda Pasquilla tiene una superficie de 2.407,6 hectáreas; el centro poblado, 5,9 hectáreas, y el área rural 2.401,7. La figura 2 expuesta a continuación presenta la localización y los límites políticos de la vereda Pasquilla. El centro poblado de Pasquilla se sitúa a 13,3 km de Bogotá.

Las cotas de elevación máxima y mínima son, respectivamente, 3.736,2 y 2.782,2 msnm (CAR, 2007). Por su parte, el uso del suelo es compatible con el uso principal del Plan de Ordenamiento Territorial, que corresponde a su potencial agrícola y residencial campesino. Si bien la vereda Pasquilla fue calificada como un “área de alta productividad sostenible de alta capacidad” (Salazar, 2011), Hernández *et al.* (2014) encontraron que en la vereda Pasquilla el uso del suelo era ante todo pecuario.

Población y selección de la muestra

El muestreo aceptó como supuesto que en los minifundios de la vereda Pasquilla la superficie de los predios, los niveles de tecnología y los patrones de consumo eran relativamente homogéneos (Rodríguez, 2010; Fajardo, 2002; Machado *et al.*, 1995). Por otra parte, siguiendo los lineamientos

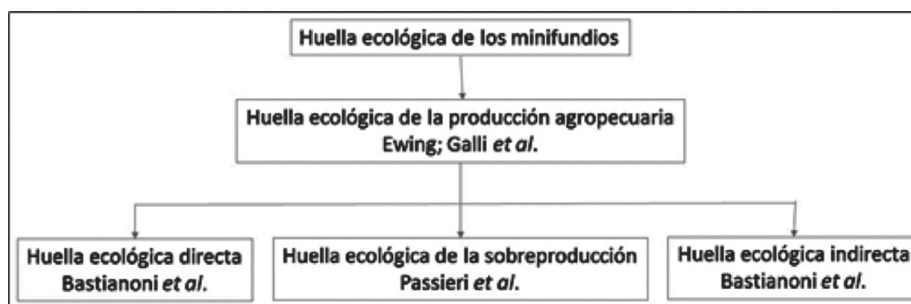


Figura 1. Metodología propuesta para valorar la huella ecológica de los minifundios

Fuente: elaboración propia con base en los autores consultados

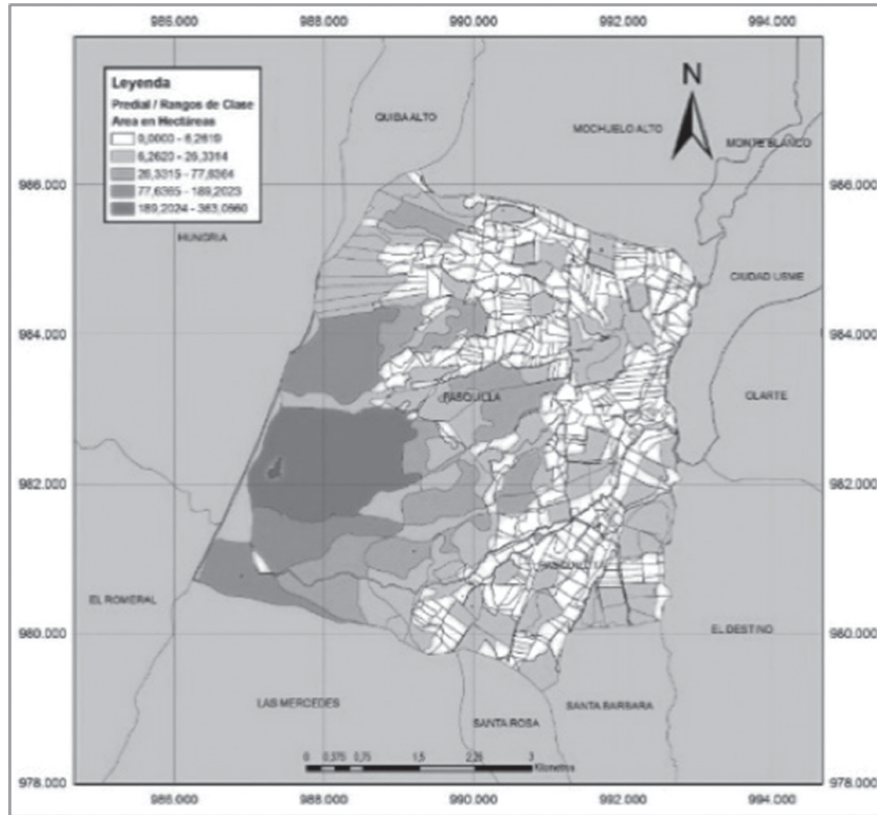


Figura 3. Distribución de los predios agropecuarios en la vereda Pasquilla
Fuente: CAR (2007)

de Ospina (2001), se asumió un 5% como margen de error y un 95% como margen de confiabilidad en la recolección de la información, con el fin de que los datos obtenidos reflejaran la huella ecológica ocasionada en los ecosistemas de la cuenca Paso Colorado. La figura 3 muestra, a continuación, la localización de los minifundios que conformaron la población bajo estudio.

Se realizó un muestreo aleatorio simple sin reemplazo para subpoblaciones previamente identificadas (k), adentro de una población finita “N” (Ospina, 2001). El investigador recomienda despejar S^2 cuando no se tiene el valor de la variabilidad, y asumir los criterios que se presentan a continuación para estimar el tamaño de la muestra:

- N_k fue el tamaño de la población: 104 minifundios.
- “n” fue el tamaño de la muestra: 60 minifundios.
- “z” el cuantil de la distribución normal estándar: 1,9613 para el margen de confiabilidad asumido.
- δ_k , fue el intervalo de confianza del 5%, establecido para la subpoblación “k”.

De acuerdo con Ewing *et al.* (2008), en el proceso de depuración de las encuestas se excluyó del análisis la información que no contaba con unidades de medida o que no concordaba con la realidad. La ecuación 2 muestra el modelo empleado para la selección de la muestra.

Ecuación 2.

$$n = \frac{\frac{z_k^2 S_k^2}{\delta_k^2}}{1 + \frac{1}{N_k} \left(\frac{z_k^2 S_k^2}{\delta_k^2} \right)} = 60 = \frac{\frac{1,9613^2 * S^2}{0,05^2}}{1 + \frac{1}{104} \left(\frac{3,8416 * S^2}{0,0025} \right)}$$

$$S^2 = \frac{60}{650,12} = 0,092 \text{ y } S = 0,30$$

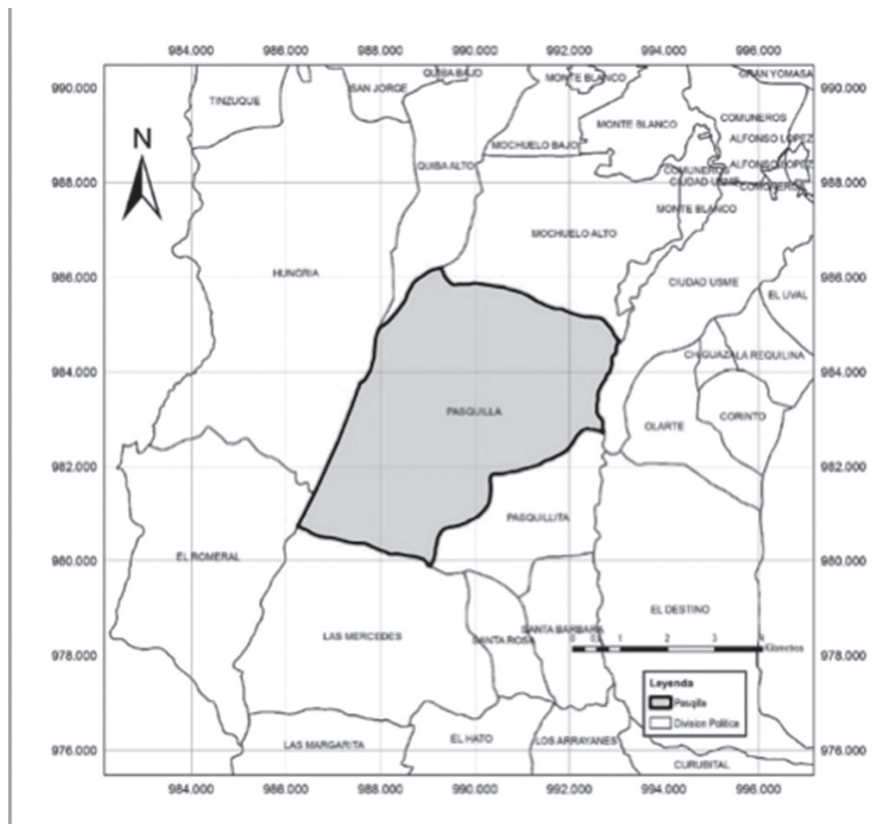


Figura 2. Localización y límites de la vereda Pasquilla

Fuente: CAR (2007)

Fase de recolección y análisis de la información

La recolección primaria de datos consistió en una encuesta aplicada a los minifundistas de la vereda Pasquilla en el primer semestre de 2014. La medición arrojó información cuantitativa y cualitativa sobre los bienes de consumo y los procesos productivos agropecuarios que se dieron en los minifundios a lo largo del año 2013. La información sobre la productividad agropecuaria del país en 2013 fue tomada de la Encuesta Nacional Agropecuaria del Departamento Nacional de Estadística (DANE) (2013).

Resultados

Huella ecológica de la papa (*Solanum tuberosum*)

Siguiendo la metodología de Ewing *et al.* (2008), para estimar la huella ecológica del cultivo de papa de los minifundios estudiados se remplazaron en la ecuación 3 los valores señalados en la Encuesta Nacional Agropecuaria del DANE (2013) para la producción nacional (Y_n) y para la producción de Cundinamarca (Y_c). La medición correspondió a dos ciclos productivos al año.

Ecuación 3.

$$HE_{Pastos} = A * \left(\frac{Y_c}{Y_n}\right) * EQF = 29,91 \text{ ha} * \left(\frac{0,08 \frac{\text{ton}}{\text{ha-año}} * 1.090.338 \text{ ha}}{0,10 \frac{\text{ton}}{\text{ha-año}} * 20.258.039 \text{ ha}}\right) * 0,46 = 0,22 \text{ gha}$$

Huella ecológica del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

Para esta parte de la medición se empleó la ecuación 4. En ella se estima que la producción nacional de pasto kikuyo fue de 80 a 100 kilogramos de materia seca por hectárea cada año (Cardona *et al.*,

2012). Asimismo, se tomaron los datos del DANE (2013) para la producción nacional (Yn) y para la producción local, los de Cundinamarca (Yc).

Ecuación 4.

$$HE_{pastos} = A * \left(\frac{Yc}{Yn}\right) * EQF = 29,91 \text{ ha} * \left(\frac{0,08 \frac{\text{ton}}{\text{ha-año}} * 1.090.338 \text{ ha}}{0,10 \frac{\text{ton}}{\text{ha-año}} * 20.258.039 \text{ ha}}\right) * 0,46 = 0,22 \text{ gha}$$

Sobreproducción del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*)

Con el objetivo de ponderar la sobreproducción de papa (*Solanum tuberosum*), se tuvieron en cuenta las consecuencias del uso intensivo de los insumos sobre los recursos naturales, suelos y agua, al igual que los efectos acumulados a lo largo del tiempo (Salazar, 2011; Garmendia *et al.*, 2006). La tabla 4 presenta los resultados del cálculo del factor alfa anual para dos ciclos de cultivo al año en los minifundios de la vereda Pasquilla.

Tabla 4. Valoración tecnológica de la actividad agrícola de Pasquilla

Insumo cultivo papa (<i>Solanum tuberosum</i>)	Pasquilla 2013	Valor de ponderación
Superficie explotada (ha)	50,71	-
Rendimiento máximo (Ton)	1.014,24	-
Rendimiento mínimo (Ton)	760,68	-
Semilla (Ton)	316,95	0,9
Abono inorgánico (Ton)	22.502,44	0,5
Abono orgánico (Ton)	101,42	0,4
Cal (Corrector de acidez) (Ton)	152,14	0,3
Insecticidas (Ton)	0,025	0,7
Total ponderación insumos (Wi)	-	2,8

Fuente: elaboración propia, basada en la encuesta

El factor alfa de la productividad agrícola fue estimado de acuerdo con lo señalado por Passeri *et al.* (2013) con respecto al rendimiento máximo y mínimo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*). Se asumió que en dos ciclos productivos al año los minifundios de la vereda Pasquilla estudiados tenían una producción máxima de 20 toneladas y una mínima de 15 toneladas por hectárea (Martínez *et al.*, 2005; Inpro, 1999). En la ecuación 5 presentada a continuación se muestra cómo se calculó el factor α del sistema de producción.

Ecuación 5.

$$\alpha_{papa} = \left(\frac{P_{farming\ techn} - P_{minimum\ input}}{P_{farming\ techn}}\right) = \left(\frac{1014,24 - 760,68}{1014,24}\right) = 0,25$$

A continuación, se presentan los resultados de la huella ecológica de la sobreproducción de papa (*Solanum tuberosum*) en los minifundios de la vereda Pasquilla. La medición de la huella de la sobreproducción se hizo por medio de la ecuación 6, con base en el resultado del factor alfa; la ponderación agregada de los insumos (Wi de la tabla 4); las superficies apropiadas por los sistemas de producción agrícola (tabla 4), y el factor de equivalencia del cultivo (tabla 3).

Ecuación 6.

$$HE_{sobreproduction\ papa} = \alpha * \left(\frac{Wi}{A}\right) * EQF = 0,25 * \left(\frac{2,8}{25,356*2}\right) * 2,51 = 0,03 \text{ gha}$$

Sobreproducción del cultivo de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*)

La sobreproducción del pasto kikuyo empleado para la crianza del ganado de doble propósito se calculó con base en los valores de la publicación de WinChing *et al.* (2008). De acuerdo con estos investigadores, cada hectárea de pastos es mantenida anualmente con 100 kg de nitrógeno, 30 kg de fosfato y 40 de cloruro de potasio (p. 89). En la tabla 5 se presentan los componentes principales para la valoración de los insumos utilizados en el manejo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) junto con su ponderación.

Tabla 5. Valoración tecnológica de la actividad pecuaria de Pasquilla

<i>Insumo cultivo pastos</i>	<i>Pasquilla 2013</i>	<i>Ponderación</i>
Superficie explotada (ha)	26,91	-
Rendimiento máximo (l/año)	279.718,0	-
Rendimiento mínimo (l/año)	113.168,0	-
Abono inorgánico (kg/año)	4.574,0	0,7
Manejo sanitario	Parasiticidas/vacunas	0,3
Suplemento nutricional	Vitaminas/minerales	0,3
Total de ponderación de insumos	-	1,3

Fuente: elaboración propia basada en la encuesta

A continuación se expone de qué forma la ecuación 7 permitió el cálculo del factor α del sistema de manejo del pasto kikuyo para los minifundios de la vereda Pasquilla.

Ecuación 7.

$$\alpha_{\text{pasto}} = \left(\frac{P_{\text{farming techn}} - P_{\text{minimum input}}}{P_{\text{farming techn}}} \right) = \left(\frac{169.743 - 68.675}{169.743} \right) = 0,60$$

La huella ecológica de las superficies apropiadas para el manejo del pasto kikuyo se calculó por medio de la ecuación 8, con base en el resultado del factor alfa. Además se tuvo en cuenta la ponderación que evalúa la importancia que tienen los insumos (tabla 5); las superficies apropiadas por los sistemas de producción pecuaria en estudio (tabla 5), y el factor de equivalencia EQF de 0,46 (tabla 3). Los resultados de la encuesta revelaron que, en 2013, se encontraron 71 cabezas de ganado bovino de doble propósito que fueron sostenidas en 26,91 hectáreas.

Ecuación 8.

$$HE_{\text{sobreproducción pasto}} = \alpha * \left(\frac{W_i}{A} * EQF \right) = 0,60 * \left(\frac{1,3}{26,91} * 0,46 \right) = 0,13$$

Huella ecológica del bosque

El consumo medio anual de leña de un pequeño productor en el bosque alto andino de Colombia corresponde a 1,3 Ton (Díaz, 2010, p. 241) en tanto que, según se calculó, los 66 habitantes de los minifundios en estudio consumieron 85.800 kg de leña seca al año. El contenido energético de la leña seca es de 20 MJ/kg (Prando, 2014). La energía contenida en la leña consumida fue calculada mediante la ecuación 9, que se muestra a continuación.

Ecuación 9.

$$\text{Contenido energético}_{\text{leña}} = 20 \frac{\text{Mj}}{\text{kg}} * 85.800 \text{ kg} = 1.716.000 \text{ Mj}$$

Con base en esta información y los lineamientos de Doménech (2006), la cuantía de la huella ecológica del consumo de leña (HE_{ep}) se obtuvo al remplazar los valores en la ecuación 10.

Ecuación 10.

$$HE_{Ef} = \frac{1.716.000}{71.000} \frac{Mj}{\frac{Mj}{ha \text{ año}}} = 24,17 \text{ gha} = 0,37 \text{ gha}$$

Huella ecológica de la construcción (vías y vivienda rural campesina)

Se incluyeron las superficies de la vereda Pasquilla apropiadas por los minifundios para la vivienda, los senderos y las instalaciones sanitarias, al igual que las vías de acceso que facilitan la comunicación interveredal, interregional y con Bogotá. De acuerdo con la base de datos del SIG de la cuenca del río Tunjuelo de la CAR (2007), la malla vial construida en la vereda Pasquilla ocupó una superficie de 29,99 hectáreas que se asignaron en una medida proporcional a los 27 minifundios estudiados, cuya extensión fue de 0,69 hectáreas. En la figura 4 dispuesta a continuación se compara la distribución espacial de las vías de comunicación de la vereda Pasquilla con la localización de los minifundios.

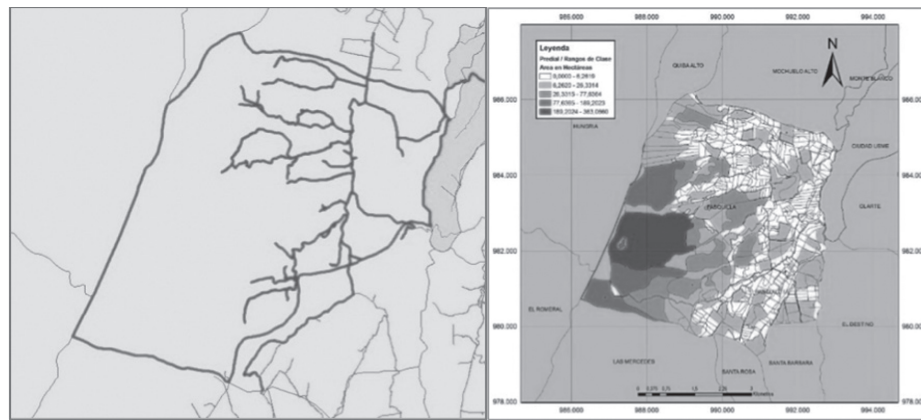


Figura 4. Superficies apropiadas por la construcción de vías en la vereda Pasquilla

Fuente: CAR (2007)

Con el fin de estimar la huella ecológica de la construcción se tomaron los valores medios de 33 m² por habitante; 144 m² para suministro de agua; 25 m² para el manejo de los residuos líquidos; 113 m² para manejo de residuos sólidos, y 63,5 m² para vías internas: en total 345,5 m² por vivienda (0,93 hectáreas para las 27 viviendas); datos que corresponden a los valores establecidos por Corantioquía (1993, p. 43). Asimismo, se definió que en los minifundios estudiados habitaban 66 personas que equivalían a 2,4 personas por vivienda, con lo que se puede estimar que un total de 0,22 hectáreas fueron apropiadas por las 27 viviendas. Como se muestra a continuación, la huella ecológica per cápita de la construcción en los minifundios corresponde al remplazo de los valores en la ecuación 11.

Ecuación 11.

$$HE_{Constr} = Superficie \text{ construida} * FEQ$$

$$= (0,69 \text{ ha} + 0,93 \text{ ha} + 0,22 \text{ ha}) * 2,51 = 1,84 = 0,07 \text{ gha}$$

Huella ecológica del consumo de agua en el minifundio

Siguiendo la metodología de Wackernagel *et al.* (1997), se calcularon las superficies apropiadas para la captación directa del agua (b₁); para la compensación de la pérdida de oportunidad de uso del recurso (b₂), y para la infraestructura y energía demandadas en su captación y suministro (b₃). Asimismo, según el Comunicado de la CAR 2003-0000-06866, la productividad media de los ecosistemas que abastecen a Bogotá fue de 2,5 * 10⁴ m³/s.ha. En ese contexto, el valor del componente b₁ corresponde a la superficie necesaria para el aprovechamiento

del agua por parte de todos los usuarios de los acueductos de la vereda Pasquilla. El caudal medio se obtiene a partir del estudio de Hernández (2012), según el que el caudal de captación corresponde a un valor de 1,557 l/s (0,001557 m³/s); medición que sirve para calcular la superficie apropiada por los sistemas de abasto de agua. Dicho estudio figura en la ecuación 12, que se muestra a continuación.

Ecuación 12.

$$b_{1\text{Total usuarios Pasquilla}} = \frac{(\text{Caudal medio } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} - \text{Agua tratada recircula } \frac{\text{m}^3}{\text{s}})}{\text{Productividad del ecosistema } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \text{ha}} = \text{ha}$$

$$= \frac{(0,001557 \text{ m}^3/\text{s} - 0 \text{ m}^3/\text{s})}{0,00025 \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \cdot \text{ha}} = 6,23 \text{ ha}$$

Como lo indican Wackernagel *et al.* (1997), para estimar la huella ecológica per cápita b_1 de los minifundios en estudio, se tuvo en cuenta el anterior valor y se distribuyó entre los 2.511 usuarios del recurso y el censo de ganado bovino. Se implementó la ecuación 13 que se muestra a continuación.

Ecuación 13.

$$b_{1\ 27\ \text{minifundios}} = \frac{b_{1\ \text{total usuarios ha}}}{(\text{total usuarios} + \text{bovinos})} * (\text{usuarios} + \text{bovinos bajo estudio})$$

$$b_{1\ 27\ \text{minifundios}} = \frac{6,23 \text{ ha}}{(2511 + 710)} * (66 + 71) = 0,26 \text{ gha per cápita}$$

La estimación de la superficie apropiada por los minifundios de Pasquilla para el componente b_2 se calculó a partir del valor adimensional dp (disminución de la productividad) de 0,65: cifra que corresponde al porcentaje del cauce aprovechado y que fue determinada por Wackernagel *et al.* (1997). Como se muestra en la ecuación 14 expuesta a continuación, la superficie se estimó primero para todos los usuarios de la vereda Pasquilla.

Ecuación 14.

$$b_{2\ \text{Total usuarios Pasquilla}} = b_1 \text{ ha} * \text{Porcentaje cauce aprovechado} = \text{ha}$$

$$b_{2\ \text{Total usuarios Pasquilla}} = 6,23 \text{ ha} * 0,65 = 4,05 \text{ gha}$$

El mismo procedimiento que se utilizó para estimar b_1 fue empleado para estimar el valor de b_2 para los 27 minifundios en estudio. Así se presenta en la ecuación 15.

Ecuación 15.

$$b_{2\ 27\ \text{minifundios}} = \frac{b_{2\ \text{Total usuarios Pasquilla ha}}}{(\text{total usuarios} + \text{total bovinos})} * (\text{usuarios} + \text{bovinos bajo estudio})$$

$$b_{2\ 27\ \text{minifundios}} = \frac{4,05 \text{ ha}}{(2511 + 710)} * (66 + 71) = 0,17 \text{ gha per cápita}$$

El componente b_3 se estimó a partir del área requerida para la elaboración de los materiales utilizados en la construcción de la infraestructura de los acueductos; valor que, de acuerdo con Wackernagel *et al.* (1997), corresponde a cero aproximadamente. Según estos investigadores, la energía necesaria para suministrar mediante la fuerza de gravedad un volumen anual de 122.038,8 m³ de agua hasta los puntos de entrega fue de 0,00013 GJ/año en el 2013. La forma de estimar la superficie en hectáreas que corresponde a los usuarios de Pasquilla es presentada en la ecuación 16.

Ecuación 16.

$$b_{3\ \text{Total usuarios Pasquilla}} = \text{materia} + \text{energía}$$

$$= \text{materia} + (\text{energía de abasto} * \text{caudal medio } \frac{\text{m}^3}{\text{s}} * \text{dotación } \frac{\text{m}^3}{\text{Pasquilla}} = \text{gha}$$

$$b_{3\ \text{Total usuarios Pasquilla}} = 0,0 + (0,00013 \text{ GJ/m}^3 * 0,001557 \text{ m}^3/\text{s} * 122.038,8085 \text{ m}^3/\text{año}) = 0,025 \text{ gha}$$

A partir del resultado de la ecuación 16, se estimó en hectáreas globales per cápita la superficie de b_3 que corresponde a los minifundios en estudio. Lo anterior se muestra en la ecuación 17.

Ecuación 17.

$$b_{3\ 27\ minifundios} = \frac{b_3\ Total\ usuarios\ Pasquilla\ ha}{(total\ usuarios + total\ bovinos)} * (usuarios + bovinos\ bajo\ estudio)$$

$$b_{3\ 27\ minifundios} = \frac{0,025\ ha}{(2511 + 710)} * (66 + 71) = 0,001\ gha\ per\ cápita$$

La huella ecológica del agua para los minifundios estudiados se obtuvo al sumar los valores previamente calculados de las superficies b_1 , b_2 y b_3 ; valor que correspondió a 0,438 hectáreas para los minifundios en estudio y a 0,007 hectáreas per cápita.

Huella ecológica del consumo de gas licuado de propano (GLP)

El consumo mensual de GLP de los hogares rurales de Usme fue de 0,47 cilindros de 40 libras (Sierra *et al.*, 2011, p. 36). Dado que una libra de GLP equivale a 0,00045 toneladas métricas, se estima que cada hogar rural consume 5,64 cilindros de GLP de 40 libras al año, que corresponden a 225,6 libras o 0,10152 toneladas métricas anuales. En tanto, el contenido energético del GLP es de 40 GJ/ton y tiene una productividad energética anual de 93 GJ/ha (Doménech, 2006, p. 12). En suma, los 27 minifundios consumieron 2,74 toneladas métricas de GLP al año, con un contenido energético de 109,64 GJ. Como se muestra en la ecuación 18 expuesta a continuación, estos valores fueron reemplazados para estimar la huella ecológica del GLP.

Ecuación 18.

$$HE_{GLP} = \frac{Consumo\ energético\ total\ GJ}{Productividad\ energética\ GJ\ ha} = \frac{109,64\ GJ}{93\ GJ\ ha} = 1,18\ gha = 0,02\ gha\ per\ cápita$$

Huella ecológica del consumo anual de energía eléctrica

En primer lugar, los kWh consumidos se convirtieron a Julios al multiplicar el valor por 3.600.000. Después, se determinó el consumo anual en GJ, al multiplicar el consumo en Julios por el valor de intensidad energética. Este valor se dividió entre la productividad energética anual de 15.000 GJ/ha, que corresponde a las hidroeléctricas localizadas en la alta montaña (Doménech, 2006, p. 8). De acuerdo con la información del DANE (2014), el Producto Interno Bruto (PIB) del 2013 fue de 254.162.000 millones de pesos (p. 11). En ese sentido, debe destacarse que la intensidad energética corresponde a la relación que existe entre el consumo energético y el Producto Interno Bruto (PIB) de un país (Unidad de Planeación Minero Energética-UPME, 2010). En tanto, el consumo per cápita de energía eléctrica en Colombia fue de 38 kWh por mes (Muñoz *et al.*, 2012, p. 2). Estos valores permitieron la estimación de la intensidad energética que figura en ecuación 19 que se presenta a continuación.

Ecuación 19.

$$Intens\ energét = \frac{Consumo\ electricidad\ \frac{kWh}{año}}{PIB} = \frac{38\ \frac{kWh}{año}}{254.162.000}$$

$$= 1,49511 * 10^{-7}$$

La superficie de huella de la energía eléctrica consumida, anualmente, en GJ por hectárea, se estimó según lo indicado por Doménech (2006). Dicho valor se obtuvo al computar la energía anual consumida por los aparatos eléctricos y electrónicos de los minifundios estudiados con un valor de 655803,1452 kWh ($2,36089 * 10^{12}$ Julios); producto que se multiplicó por la intensidad energética del año en estudio. El procedimiento se muestra en la ecuación 20.

Ecuación 20.

$$\begin{aligned} \text{Consumo anual energ eléctrica}_{Gj} &= \text{Energ consumida en Julios} * \text{Intens energé} \\ &= 2,36089 * 10^{12} \text{ Julios} * 1,49511 * 10^{-7} = 352.979,09 \text{ Gj} \end{aligned}$$

La ecuación 21 expone cómo se estimó la huella ecológica del consumo de energía eléctrica a partir del consumo anual de la población en estudio, en Gj. La cifra fue dividida entre la productividad energética en Gj/ha y la huella ecológica per cápita. La cifra definitiva se concluyó al dividir este último valor entre la cantidad de minifundistas que integraban los predios estudiados.

Ecuación 21.

$$\begin{aligned} \text{HE enegía eléctrica} &= \frac{\text{Consumo anual Gj}}{\text{Productividad energética Gj/ha}} = \text{gha} \\ &= \frac{352.979,09 \text{ Gj}}{15000 \text{ Gj}_{ha}} = 23,53 \text{ gha} = 0,36 \text{ gha per cápita} \end{aligned}$$

En la base de datos del SIG de la CAR (2007), se encontró que en la vereda Pasquilla existían 187 predios rurales que ocupaban 2.282,5 hectáreas; extensiones que correspondían a una superficie promedio de 12,2 hectáreas. De ellos, 104 (55,6%) eran minifundios, que ocupaban 245,2 hectáreas (10,7% de la superficie de la vereda) cada uno. Los predios contaban con superficies promedio de 2,6 hectáreas.

En la tabla 6 se presentan los resultados de la encuesta aplicada a los productores sobre las superficies apropiadas para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y el manejo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*).

De acuerdo con los resultados de la encuesta, la leña fue utilizada para la cocción de los alimentos en 11 de los 27 minifundios (40,74%). En 17 minifundios (62,92%) se empleó la energía primaria del bosque para la preparación de alimentos en la vivienda rural campesina. Enseguida, en la tabla 7 se resumen los resultados de la huella ecológica estimada.

Las superficies que más participan de la huella ecológica del minifundio en la vereda Pasquilla fueron las empeladas para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*); el manejo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*); los bosques, y el consumo de energía eléctrica.

Biocapacidad

La vereda Pasquilla tiene siete áreas protegidas cuyos ecosistemas soportan las actividades agropecuarias de las cuencas hidrográficas de la quebrada Paso Colorado y del río Tunjuelo (CAR, 2007). Las áreas de protección de la vereda están cobijadas por las figuras jurídicas de Reserva Forestal Distrital (RFD), Parque Urbano de Recreación Pasiva (PURP) y Parque Ecológico Distrital Salazar (2011). Dicha información es presentada en la tabla 8.

Las áreas protegidas de la quebrada Paso Colorado dan soporte a las actividades de los 187 sistemas agropecuarios existentes en 2.282,51 hectáreas de la vereda Pasquilla. Estas superficies se encuentran definidas en el decreto 619 de 2002 como *áreas forestales distritales* (Salazar, 2011). Esta situación es expuesta a continuación en la figura 5.

Tabla 6. Superficies agropecuarias de los minifundios de Pasquilla estudiados

<i>Actividad agropecuaria</i>	<i>Superficie total (ha)</i>	<i>Porcentaje (%)</i>	<i>Superficie promedio (ha)</i>
Manejo de pastos	26,91	51,5	1,00
Cultivo de papa	25,36	48,5	0,94
Total	52,26	100	1,94

Fuente: elaboración propia, con base en los datos tabulados de la encuesta

Tabla 7. Huella ecológica estimada en los minifundios de la vereda Pasquilla (2013)

<i>Superficie de huella</i>	<i>HE local</i>	<i>HE per cápita</i>
Papa	43,92	0,67
Pastos	14,34	0,22
Sobreproducción papa	0,94	0,03
Sobreproducción pastos	3,64	0,13
Bosques	24,17	0,37
Construcción	1,89	0,07
Agua	0,44	0,01
GLP	1,18	0,02
Electricidad	25,39	0,38
HE Total	115,91	1,89

Fuente: elaboración propia, basada en los cálculos para la estimación de las superficies de huella

Tabla 8. Superficies del sistema de áreas protegidas de la vereda Pasquilla

<i>Nombre del área de protección</i>	<i>Superficie de la cuenca del Río Tunjuelo (ha)</i>	<i>Superficie de la cuenca de la Quebrada Paso Colorado (ha)</i>
RFD Corredor de restauración de la microcuenca del Río Paso Colorado	650,18	557,33
RFD Corredor de restauración Encenillales de Pasquilla	17,62	16,34
RFD Páramo las Mercedes de Pasquilla	1.279,44	399,80
RFD Encenillales de Pasquilla	280,57	204,47
PURP Parque Ronda del Río Tunjuelo	1.068,71	12,82
Parque Ecológico Distrital Peña Blanca	66,98	30,35
Superficie total de las áreas protegidas	3.363,50	1.217,06

Fuente: CAR (2007)

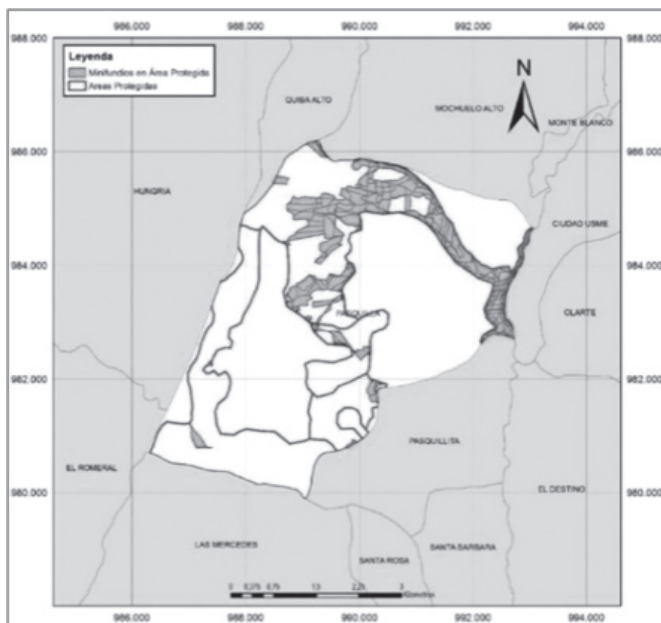


Figura 5. Apropiación de ecosistemas por minifundios de la vereda Pasquilla

Fuente: CAR (2007)

En la tabla 9 se presentan las longitudes en kilómetros de las principales subcuencas de la Quebrada Paso Colorado y la superficie de ronda calculada. Además, en la figura 6 se muestra la localización geográfica de los principales cuerpos de agua corriente superficiales y los puntos de captación de acueductos de la vereda Pasquilla.

Con base en los datos del SIG de la cuenca del río Tunjuelo CAR (2007), se calculó la proporción de superficies de áreas forestales protectoras apropiadas en la vereda Pasquilla, cuyas categorías son presentadas en la tabla 10.

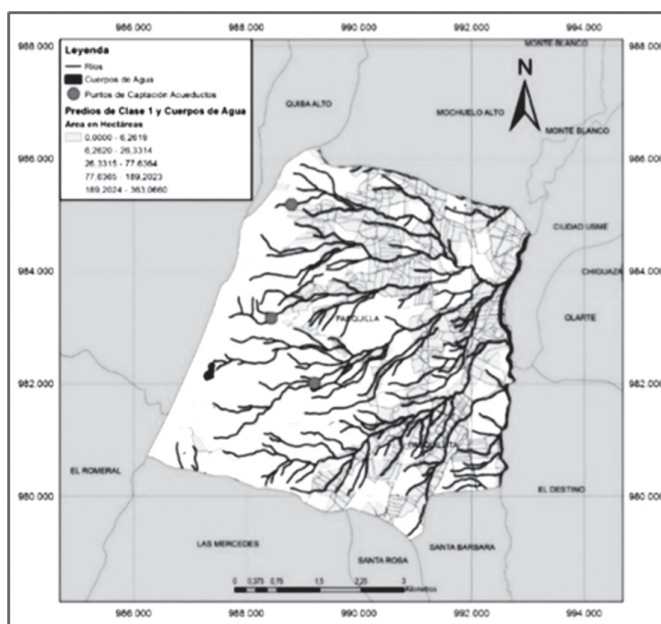


Figura 6. Principales aguas corrientes de la vereda Pasquilla

Fuente: CAR (2007)

Tabla 9. Microcuencas de la Quebrada Paso Colorado

<i>Quebrada</i>	<i>Longitud (km)</i>	<i>Ronda calculada</i>
Quebrada Paso Colorado	11,551	0,693
Quebrada El Baúl	5,952	0,357
Quebrada de La Horqueta	3,500	0,210
Quebrada Los Bobos	11,302	0,678
Quebrada Paso Negro ^a	5,100	0,306
Quebrada Santander ^a	2,200	0,132
Quebrada del Saltonal ^a	5,500	0,330
Quebrada de Pasquillal	29,679	1,781
Quebrada Las Mangrias	1,680	0,101
Total de la longitud de las corrientes de agua	76,464	4,588

Fuente: CAR (2007)

Tabla 10. Distribución de áreas forestales protectoras de la vereda Pasquilla

<i>Superficies de la cuenca Paso Colorado</i>	<i>Área (ha)</i>	<i>Minifundios en Pasquilla</i>	<i>Minifundios estudiados</i>
Sistema de áreas protegidas	1.217,06	130,75	27,87
Ronda de cauces	4,59	0,49	0,11
Ronda de nacimientos	0,90	0,10	0,02
Lagunas	2,79	0,30	0,06
Ronda de lagunas	0,01	0,00	0,00
Total	1.225,35	131,64	28,06
Porcentaje	100	10,74	2,29

Fuente: CAR (2007)

Se calculó que un total de 1.225,35 hectáreas de zonas forestales y de áreas de protección de cuerpos de agua dan sustento a las actividades agropecuarias, económicas y culturales de los 187 sistemas de producción de la vereda Pasquilla. De dicha extensión, 131,7 hectáreas (10,74%) fueron apropiadas por 104 minifundios y 28,1 hectáreas (2,29%) soportan la huella ecológica provocada por las actividades agropecuarias de los 27 minifundios.

En tanto, mediante la ecuación 22 se estimó la bioproductividad de los ecosistemas de la vereda Pasquilla, que corresponde a los 27 sistemas de producción agropecuaria estudiada. El cálculo consistió en multiplicar la superficie forestal protectora de 28,06 hectáreas por el factor de equivalencia de 2,51 y el factor de producción (FP) de 0,5; valor que es empleado por Torres *et al.* (2011) en su estudio sobre la productividad de los ecosistemas de alta montaña (p. 136).

Ecuación 22.

$$Bioproductividad = ha protectoras * EQF * FP = 28,06 has * 2,51 * 0,5 = 35,21 gha$$

$$Bioproductividad per cápita = \frac{35,21}{66} = 1,30 gha$$

El balance ecológico per cápita medido en hectáreas globales se efectuó por medio del remplazo de los valores respectivos en la ecuación 23, por sustracción del valor de la huella ecológica que fue estimada a partir de las superficies bioproductivas. Como se muestra a continuación, el resultado corresponde a -0,59 hectáreas globales.

Ecuación 23.

$$\text{Balance ecológico gha} = \text{bioproductividad} - \text{huella ecológica}$$

$$\text{Balance ecológico gha} = 1,30 - 1,97 = -0,59 \text{ gha}$$

En los minifundios de la vereda Pasquilla estudiados se encontró un déficit ecológico de 0,59 hectáreas globales per cápita. Eso significa que las hectáreas globales necesarias para satisfacer el consumo de recursos naturales demandados —por las actividades agropecuarias de los minifundios de la cuenca hidrográfica Paso Colorado— son inferiores a las hectáreas disponibles y/o el tiempo requerido para que los ecosistemas de la cuenca restablezcan sus capacidades para absorber los residuos descargados. Esa estimación incluye, además, el lapso necesario para suministrar los bienes y servicios ecológicos demandados, que corresponde a 7 meses aproximadamente.

De acuerdo con la Comunidad Andina de Naciones (CAN) (2005), la huella ecológica per cápita en Colombia se mantuvo de manera prácticamente inalterada desde 1961. Sin embargo, con el paso del tiempo la bioproductividad ha disminuido.

Discusión

Según Tobasura (2008), cuando la información requerida para la medición de la huella ecológica no existe en los sitios de producción, se encuentra dispersa en las instituciones públicas o no es confiable, se incurre habitualmente en errores de cálculo. En ese sentido, vale la pena destacar que la mayor parte de instituciones y minifundios vinculados al sector agropecuario del país carecen de datos detallados sobre sus actividades (Forero 2003; Machado *et al.* 1995).

Hace casi dos décadas Machado *et al.* (1995) encontraron que los minifundios de Colombia ocupaban una superficie promedio de 1,83 hectáreas y que los usos principales del suelo rural en los minifundios correspondían con adecuaciones para pastos (52,6%) y cultivos (28,7%); los demás suelos se aprovechaban en bosques, estaban en condiciones de degradación o, en otros casos, ya no se empleaban en labores agropecuarias (p. 58). Los minifundios de la vereda Pasquilla estudiados ocuparon en promedio 0,11 hectáreas más que los de la fuente citada. En términos relativos, se puede afirmar que los minifundios mantienen su tamaño a lo largo del tiempo. Es posible que las condiciones de pobreza imperantes en el minifundio junto con las amenazas de la expansión urbana de Bogotá impidieran ampliar su extensión.

De acuerdo con el promedio establecido, la mayoría de la superficie de los minifundios bajo estudio estuvo apropiada para el manejo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*). En tanto, $0,99 \pm 0,91$ hectáreas fueron destinadas a la crianza del ganado de doble propósito, extensión que fue seguida de la apropiación de suelos para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) que correspondió, por su parte, a $0,94 \pm 0,79$ hectáreas. Los resultados de este estudio se acercan a los encontrados por Hernández *et al.* (2014) y reflejan, de manera similar, lo advertido por Ewing *et al.* (2008) con respecto a la apropiación local de las superficies del suelo rural con vocación agrícola para actividades pecuarias. No obstante, el cultivo de papa presentó una huella ecológica tres veces superior a la del manejo del pasto kikuyo.

Se observa que los minifundios de la vereda Pasquilla dedicados al cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) se localizan en zonas de páramo y subpáramo que corresponden a suelos de topografía quebrada y ondulada que se sitúan entre los 2.780,2 y los 3.270,6 msnm; resultados semejantes a los encontrados por Avellaneda *et al.* (2014), Martínez *et al.* (2005) y Machado *et al.* (1995) (los 2.500 y

3.500 msnm). Estos datos sugieren que, gracias a la experiencia y el saber del minifundista, la actividad agrícola se ha desarrollado por mucho tiempo en la vereda Pasquilla sin modificaciones significativas.

Los cálculos de la huella ecológica se realizaron para dos cosechas al año; un ciclo similar al reportado por Minagricultura (2013). La producción de papa de los minifundistas de Pasquilla se practica sobre $0,94 \pm 0,79$ hectáreas en promedio, en tanto que Fedepapa reportó en 2010 que dicha práctica se desarrolló en predios con extensiones inferiores a una hectárea. Este tamaño de superficie es posiblemente un reflejo de la situación que viven los minifundios del país en general. Por otra parte, en Ciudad Bolívar la productividad de la papa osciló entre 14 y 20 toneladas por hectárea (Inpro, 1999), en tanto que para los cálculos de la huella ecológica se utilizaron producciones que oscilaban entre 15 y 20 toneladas, debido a la carencia de registros de producción en el minifundio. Esto posiblemente ocasiona una subestimación de la huella ecológica de los minifundios estudiados. En todo caso se reconoce que el estilo de producción de papa imperante que se ha adelantado en el minifundio, da cuenta de su valoración en los sentidos histórico, económico y cultural; en consecuencia, arrojó una huella ecológica per cápita de 0,66 gha, casi la tercera parte de la huella ecológica total estimada.

El valor de la huella ecológica per cápita del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) corresponde a la valoración de los insumos y la capacidad de carga con que se manejan las praderas en los minifundios de la vereda Pasquilla estudiados. La medición se atiene a un valor de 2,64 reses por hectárea; medida similar a la reportada por el *Sistema de toma de decisión para la selección de especies forrajeras* de Corpoica, que es de 1,5 a 3 animales por hectárea (Pinzón, s.f.). Aunque no son muchos los pequeños productores que recurren al uso de insumos pecuarios en el país, su sobreproducción fue ponderada con el fin de incluirlos conceptualmente como unos de los elementos a considerar cuando se toman decisiones políticas locales que conciernen al desarrollo agropecuario. En ese sentido, se estima que la huella ecológica de los sistemas de producción agropecuaria de los minifundios es afectada por la huella de los insumos. En concordancia, se debe estimar el impacto de las tecnologías empleadas en los procesos productivos, en cuanto este disminuye en la medida en que se adelanten acciones que contribuyan al mejoramiento de la resiliencia y la sostenibilidad en el largo plazo de los ecosistemas presentes, por lo menos en el predio y la cuenca hidrográfica. Dicho concepto corresponde a lo que Doménech (2006) denomina “contrahuella”.

El consumo de leña en los minifundios estudiados está directamente relacionado con el número de habitantes del hogar. En los minifundios de la vereda Pasquilla estudiados el dato corresponde a 2,4 personas por vivienda. Dicho consumo también se asocia con los hábitos alimenticios culturalmente imperantes (Díaz, 2010). En ese sentido, debe considerarse que la demanda de leña per cápita anual para las zonas rurales de América Latina situadas por encima de los 1.800 msnm oscila entre los 18 y los 23 Gj (Pinto, 2004, p. 112). En comparación, la leña consumida por los minifundios de la vereda Pasquilla en estudio fue de 0,026 Gj. Este valor indica una disminución significativa en el consumo de leña del bosque a lo largo de casi 10 años, lo cual podría deberse al bajo número de habitantes por predio; al incremento en el uso del GLP; y a un uso más eficiente de la energía eléctrica para la preparación de los alimentos. No obstante, los hallazgos de Sierra *et al.* (2011) apuntan a que la leña recolectada del suelo o tomada de las ramas de los árboles secos adentro y afuera del predio es la alternativa energética más empleada en los hogares rurales, debido a las limitaciones físicas y económicas que impiden que el campesino acceda a otras fuentes energéticas. El promedio calculado del consumo de leña de cada hogar rural para el 2011 fue de 156,6 kilogramos al mes (p. 36); resultados muy similares a los obtenidos por Díaz (2010) en su estudio de otras zonas rurales del país. En el presente estudio se asumió que el consumo de leña correspondió a 108 kg cada 30 días. En suma, como lo explican Ramírez y Taborda (2014), el alto consumo de leña puede deberse a la ineficiencia de las estufas y al bajo número de personas que integran el núcleo familiar (p. 111).

Para el estudio de la huella ecológica de la construcción —vías y viviendas rurales campesinas— se evitó la doble contabilidad de las superficies destinadas al manejo de los residuos sólidos y líquidos; situación advertida previamente por Kitzes *et al.* (2009), Ewing *et al.* (2008) y Wackernagel y Ress

(1996). En ese contexto, la superficie apropiada para las vías de comunicación supone una ocupación definitiva del suelo que se sustrae de los ecosistemas de la vereda Pasquilla y que sirve de apoyo para las actividades económicas, sociales y culturales de los lugareños. En ese sentido, no solo se privilegian los intereses de los minifundistas, causa de que su distribución sea proporcional a la superficie de los predios rurales de la vereda. Con todo, ni el estado de las vías, ni los costos asociados al mantenimiento, ampliación, optimización o mejora de la malla vial, ni los costos de salud, fueron tenidos en cuenta en este estudio de estimación de la huella ecológica de la construcción, dada la carencia de datos pertinentes. Resulta destacable que la huella ecológica originada a partir de la apropiación y el uso de las vías construidas en la vereda Pasquilla, facilite la comunicación y el comercio a nivel local y regional; uso que, a su vez, coincide con el reportado por Semarnat (2013). En suma, la estimación del tamaño de esta superficie no interviene en las decisiones que toman los minifundistas, pero los beneficia en cuanto les permite adelantar sus procesos productivos, comerciales y culturales.

El uso del suelo para vivienda campesina en la vereda Pasquilla es compatible con el que se consagra en el Plan de Ordenamiento Territorial. Además, la vivienda es parte del hábitat requerido para el mantenimiento, sustento y reunión de la familia campesina y/o de los trabajadores permanentes o temporales, que constante e indirectamente sirven de apoyo para la producción primaria del minifundio. La comprensión de este tema puede ampliarse con la revisión de las leyes 99 de 1993, 160 de 1994 y 388 de 1997, así como del decreto 97 de 2006 y la Sentencia C-006 de 2002 de la Corte Constitucional. Sin embargo, la huella ecológica de la construcción queda subestimada, dado que no se establecieron los valores correspondientes a las superficies destinadas a los servicios de saneamiento.

En el Título J de la Resolución 1096 de 2010, Alternativas Tecnológicas en Agua Potable y Saneamiento para el Sector Rural del Reglamento Técnico del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico, se señala que la dotación típica per cápita diaria para los habitantes de una vivienda campesina dispersa de clima frío corresponde a 150 litros (p. 166). Esa estimación concuerda con una demanda anual de 3.832.500 litros de agua que son indispensables para satisfacer las necesidades de los minifundios estudiados. Este valor es inferior al calculado con las máximas dotaciones de Hernández (2012), que corresponden a los 3.449.250 litros que fueron tomados como referentes para la estimación de la huella ecológica del consumo de agua en los minifundios de la vereda Pasquilla. Quizás este fue un error que se pudo corregir consultando el consumo de agua potable con los administradores de los acueductos veredales; sin embargo, dicha información no fue contemplada en el diseño metodológico del proyecto, de modo que vale la pena considerarla para futuras exploraciones de la huella ecológica del consumo de agua del sector agropecuario.

Los resultados de la encuesta que se realizó en los minifundios de Pasquilla estudiados, indican que 18 (66,67%) de los 27 minifundios utilizan el GLP para la cocción de sus alimentos. El producto de la medición concuerda con el de la UPME (2005), según el que el GLP es el combustible más empleado en las zonas rurales de Colombia. La huella ecológica del consumo anual de energía eléctrica se derivó del consumo en kWh/mes de los aparatos eléctricos y electrónicos existentes en los minifundios en estudio. Se tuvieron en cuenta el valor mensual reportado por Muñoz *et al.* (2012); las horas promedio de uso diario y la cantidad media de electrodomésticos existentes en los minifundios: datos que fueron tomados de la encuesta. Si bien la información del sondeo no se enfocó en los valores cuantitativos del consumo de energía y combustibles, su análisis cualitativo y su ponderación —estimados con información secundaria— dan a notar la importancia de incluir esta variable en próximas investigaciones, adentro del componente de la huella ecológica virtual de los minifundios del país.

En cuanto al aspecto de la biocapacidad se puede afirmar que la superficie ocupada por los ecosistemas de la cuenca hidrográfica Paso Colorado supera los linderos de la vereda Pasquilla. La diferencia que hay entre la superficie dedicada a las actividades agropecuarias y el sistema de áreas protegidas es de 1.065,45 hectáreas. Dicho valor indica que para dar soporte a la producción agropecuaria sin salirse de los límites veredales, se requiere la apropiación de superficies de los ecosistemas que pertenecen al *sistema de áreas protegidas* de la quebrada Paso Colorado. Este resultado indica que se presenta un conflicto a escala local así como una competencia por el uso del suelo que no ha recibido suficiente atención y que contribuye

de los minifundios; la superficie biológicamente productiva de los bosques protectores que soportan las actividades agrícolas de los minifundios estudiados, y la superficie productiva apropiada por los minifundios bajo estudio para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*).

Se estimó que las actividades agropecuarias de los 27 minifundios estudiados en la vereda Pasquilla que más generaron huella ecológica durante 2013 fueron el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) y el manejo del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum*) para la alimentación del ganado de doble propósito (cruces de Bos taururus por Bos indicus). Ambas estuvieron asociadas con el empleo de tecnologías agropecuarias (como el uso intensivo del suelo y de los agroinsumos para el control de plagas y enfermedades).

Se concluyó que las hectáreas globales necesarias para satisfacer el consumo de recursos naturales demandados por las actividades agropecuarias de los minifundios de la cuenca hidrográfica Paso Colorado superan las hectáreas requeridas y/o el tiempo necesario para que los ecosistemas de la cuenca restablezcan su capacidad para absorber los residuos descargados. En ese sentido, los recursos disponibles son insuficientes para suministrar los bienes y servicios ecológicos demandados por los sistemas agropecuarios en estudio.

Asimismo, estimados los bienes y servicios de los ecosistemas de la cuenca hidrográfica Paso Colorado que soportan las actividades agropecuarias de los minifundios de la vereda Pasquilla, estos han sido declarados áreas de protección especial por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Especialmente se hace referencia a la Reserva Forestal Protectora Encenillales de Pasquilla, al Páramo de Las Mercedes y al Corredor de Restauración de la Microcuenca Paso Colorado, al igual que a las superficies protectoras de las aguas corrientes, las lagunas y sus afluentes: en particular a la Laguna El Alar y a la Laguna del Alar.

Referencias

- Alcaldía Mayor de Bogotá (2004). *Recorriendo Tunjuelito: Diagnóstico físico y socioeconómico de las localidades de Bogotá, D.C. Vol. 1*. Bogotá: Secretaría de Hacienda de Bogotá.
- Avellaneda, L. M., Torres, E. y León-Sicard, T. E. (2014). Agricultura y vida en el páramo: una mirada desde la vereda El Bosque (Parque Nacional Natural de Los Nevados). *Cuadernos de desarrollo rural*, 11(73), 105-128.
- Bastianoni, S., Niccolucci, V., Pulselli, R. M. y Marchettini, N. (2012). Indicator and indicandum: “Sustainable way” vs “prevailing conditions” in the ecological footprint. *Ecological Indicators* (16), 47-50.
- CAR (2007). *Sistema de Información Geográfica cuenca río Tunjuelo*. Bogotá: Corporación Autónoma Regional Cundinamarca.
- Cardona, E. M., Rios, L. A. y Peña, J. D. (2012). Availability of Grasses and Forages as Potential Lignocellulosic Materials for Bioethanol Production in Colombia. *Información Tecnológica*, 23(6), 87-96. Recuperado de http://www.scielo.cl/scielo.php?pid=S0718-07642012000600010&script=sci_arttext
- Cerutti, A., Beccaro, G., Bagliani, M., Donno, D. y Bounous, G. (2013). Multifunctional ecological footprint analysis for assessing: a case study of fruit production systems in Northern Italy. *Journal of Cleaner Production*, 108-117.
- Chen, D., Gao, W., Chen, Y. y Zhang, Q. (2010). Ecological footprint of food consumption of rural residents in China in the last 30 years. *Agriculture and Agricultural Science*, 106-115.
- Comunidad Andina de Naciones (2005). *Huella ecológica y biocapacidad en la Comunidad Andina*. Recuperado de <http://www.slideshare.net/kariprins20/huella-ecologica-2943611>
- Corantioquía (1993). *Densidades máximas y normas generales para vivienda, en el suelo rural*. Medellín: Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia. Recuperado de <http://www.corantioquia.gov.co/docs/densidad/doctecnico.pdf>

- Murgueitio, E. (2003). Impacto ambiental de la ganadería de leche en Colombia y alternativas de solución. *Livestock Research for Rural Development*, 10(15). Recuperado de <https://www.hitpages.com/doc/5808953199951872/1#pageTop>
- Osorio, J. A. (2007). *El río Tunjuelo en la historia de Bogotá, 1900-1990*. Bogotá: D'Vinni S. A.
- Ospina, D. (2001). *Introducción al muestreo*. Bogotá: Universidad Nacional.
- Passeri, N., Borucke, M., Blasi, E., Franco, S. y Lazarus, E. (2013). The influence of Farming Technique on Cropland: A New Approach for the Ecological Footprint. *Ecological Indicators*, 1-5.
- Pinto, F. (2004). Energías renovables y desarrollo sostenible en zonas rurales de Colombia. El caso de la vereda Carrizal en Sutramerchan. *Cuadernos de Desarrollo Rural* (53), 103-132. Recuperado de file:///C:/Users/rafaelvalero/Downloads/ArticuloRevistaDesarrolloRural.pdf
- Pinzón, E. (s.f.). *Kikuyo Pennisetum Clandestinum*. Bogotá: Corpoica.
- Prando, R. R. (2014). *Energías renovables en la industria de procesos*. Montevideo: Universidad de la República - Facultad de Ingeniería Química. Recuperado de <http://www.fing.edu.uy/iq/cursos/qica/industria/EERR-Biomasa.pdf>
- Ramírez, A. (2009). Análisis de los conflictos ambientales en interfaces urbano-rurales: Generalidades desde dos territorios de Bogotá. *Revista Nodo*, 3(6), 71-96.
- Ramírez, J. F. y Taborda, A. L. (2014). Consumo de leña en fogones tradicionales en familias campesinas del oriente antioqueño. *Producción + Limpia*, 9(1), 99-114.
- Rodríguez, P. C. (2010). *Aproximaciones teóricas y metodológicas para evaluar parcial e integralmente las transformaciones ambientales en el Páramo de Guerrero*. Bogotá: IDEEA - Universidad Nacional de Colombia.
- Salazar, A. D. (2011). *Caracterización del componente social de un área de la vereda Pasquilla*. Bogotá: Alcaldía Mayor de Bogotá - Jardín Botánico de Bogotá. Recuperado de file:///C:/Users/rafaelvalero/Desktop/Rafael%20Valero/Maestr%C3%ADaUD/Salazar%20Andr%C3%A9s%20Componente%20Social%20Pasquilla.pdf
- Semarnat (2013). *Huella ecológica, datos y rostros*. Tlalpan: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales - Centro de Educación y Capacitación para el Desarrollo Sustentable. Recuperado de http://www.semarnat.gob.mx/sites/default/files/documentos/educacionambiental/publicaciones/cda_huella_ecologica.pdf
- Sierra, F. E., Mejía, F. B. y Guerrero, C. A. (2011). La leña como combustible doméstico en zonas rurales de Usme, Bogotá. *Informador Técnico* (75), 30-39. Recuperado de file:///C:/Users/rafaelvalero/Downloads/Dialnet-LenaComoCombustibleDomesticoEnZonasRuralesDeUsmeBo-3898548.pdf
- Tobasura, I. (2008). Huella ecológica y biocapacidad: Indicadores biofísicos para la gestión ambiental. El caso de Manizales, Colombia. *Revista Luna Azul* (26), 119-136.
- Tobasura, I. y Sepúlveda, L. E. (2001). *Proyectos ambientales escolares: estrategia para la formación ambiental*. Bogotá: Magisterio.
- Torres, S., López, A., Moreno, M. y Restrepo, L. Á. (2011). Metodología para la determinación de la huella ecológica en el área de exhibiciones del Zoológico de Cali. *Revista S&T*, 10(20), 51-68.
- UPME (2005). *La cadena del gas licuado del petróleo en Colombia*. Bogotá: Minenergía - UPME. Recuperado de http://www.upme.gov.co/Docs/Glp_web.pdf
- UPME (2010). *Proyección de la demanda de energía en Colombia*. Minenergía. Bogotá: Minenergía - UPME. Recuperado de http://www.upme.gov.co/Docs/Energia/PROYECC_DEMANDA_ENERGIA_OCTUBRE_2010.pdf
- UT Restaurar (2009). *Fortalecimiento a proyectos de mitigación del impacto ambiental negativo en áreas ambientales estratégicas y/o deterioradas de la Localidad de Ciudad Bolívar*. Bogotá: OAB. Recuperado de oab.ambientebogota.gov.co

