

DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN EL SISTEMA DE PRODUCCIÓN DE CAFÉ PERGAMINO SECO DE CUATRO MUNICIPIOS DEL SUR DEL DEPARTAMENTO DEL HUILA (COLOMBIA)

DETERMINATION OF THE CARBON FOOTPRINT IN THE DRY COFFEE
PARCHMENT PRODUCTION SYSTEM OF FOUR MUNICIPALITIES
OF THE SOUTH OF THE DEPARTMENT OF HUILA (COLOMBIA)

Jhon Jaime Arias Hernández¹; Néstor Miguel Riaño herrera²

Ana María Riaño Becerra³; Walter Ariza Camacho⁴

Héctor Jairo Posada Suarez⁵; Jaime Valenzuela Andrade⁶

Milay Andrea Vega Cano⁷; Yolanda Patricia Murgueitio Cortes⁸

Juan Fernando Castro Chavez⁹

¹Mg. Sistemas de Producción Agropecuaria. Mild Coffee Company Huila (MCCH), Neiva, Huila, Colombia. ²PhD. Química de plantas. Mild Coffee Company Huila (MCCH), Neiva, Huila, Colombia. ³Administradora de empresas. Mild Coffee Company Huila (MCCH), Neiva, Huila, Colombia. ⁴MSc en Ingeniería Química. Mild Coffee Company Huila (MCCH), Neiva, Huila, Colombia. ⁵Esp. administración financiera. Mild Coffee Company Huila (MCCH), Neiva, Huila, Colombia. ⁶Esp. administración total de la calidad y la productividad. Mild Coffee Company Huila (MCCH), Neiva, Huila, Colombia. ⁷Profesional en Ciencias Ambientales. Mild Coffee Company Huila (MCCH), Neiva, Huila, Colombia. ⁸Lic. en Ciencias Sociales. Mild Coffee Company Huila (MCCH), Neiva, Huila, Colombia. ⁹Ingeniero agrícola. Mild Coffee Company Huila (MCCH), Neiva, Huila, Colombia.

¹jhonjaimearias@gmail.com, ²nestormriano@gmail.com; ³anamrb5994@gmail.com;

⁴ing.walca@gmail.com; ⁵jvalenzuela79@gmail.com; ⁶gerenciageneralmcch@gmail.com;

⁷vegamilay@gmail.com; ⁸yopamu@gmail.com; ⁹jcastroc@gmail.com

Resumen

La determinación de la huella de carbono (HC) se realizó con el fin de conocer el aporte de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por el sistema de producción cafetera y que este sirva como indicador para la toma de decisiones en el manejo integral de la producción de cafés especiales, para el sur del departamento del Huila. La metodología se basó en la Norma

Técnica Colombiana NTC – 5947 valorando la HC con base en las remociones y emisiones de GEI y su unidad funcional. Para las remociones se utilizó la cubicación como herramienta de medición, generando modelos no lineales con base en el tiempo cronológico y transformándolos a dióxido de carbono equivalente (CO_{2eq}). Las emisiones se obtuvieron por medio de un

instrumento de caracterización aplicado a 505 predios cafeteros de dieciséis asociaciones en la zona de estudio. Se midieron variables alométricas para evitar muestreos destructivos posteriores. Los resultados evidenciaron que la variable diámetro del tallo medido a 15 centímetros del suelo, muestra el mayor ajuste para predecir la biomasa de las plantas de café. Además, la HC con base en las remociones es de 11,94 kilogramos de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ capturado por cada kilogramo de café pergamino seco (c.p.s) producido y las emisiones de 2,17 kilogramos de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ emitido a la atmosfera por kilogramo de c.p.s producido. Las actividades con mayores emisiones de GEI fueron la fertilización nitrogenada, el transporte y el consumo de combustibles fósiles.

Palabras clave: Emisiones; gases efecto invernadero; remociones.

Abstract

The determination of the carbon footprint (CF) was done in order to know the contributions of Greenhouse Gases (GHG) by the coffee production system, useful as indicator for decision-making in integrated management of the production of special coffees for the south of the department of Huila. The

methodology was based on the Colombian Technical Standard NTC-5947, it consists in the estimation of the HC through of removals and emissions of Greenhouse Gases (GHG) and their functional unit. For the removals, cubication was used as a measurement tool, generating nonlinear models based on chronological time and transforming them into carbon dioxide equivalent ($\text{CO}_{2\text{eq}}$). Emissions were obtained by a characterization instrument applied to 505 coffee farms of sixteen associations in the study area. Allometric variables were measured to avoid subsequent destructive assessment. The results showed that the allometric variable of the stem diameter measured at 15 centimeters of the soil had the greatest adjustment to predict the biomass of the coffee plants. In addition, CF based on the removals was 11.94 kilograms of $\text{CO}_{2\text{eq}}$ captured per kilogram of dry parchment coffee (d.p.c) produced and the emissions of 2,17 kilograms of $\text{CO}_{2\text{eq}}$ emitted to the atmosphere per kilogram of produced d.p.c. The activities with the highest GHG emissions were nitrogen fertilization, transport and the consumption of fossil fuels.

Keywords: Emissions; greenhouse gases; removals.

Introducción

Uno de los problemas que actualmente enfrenta el planeta es el calentamiento global debido al aumento del efecto invernadero causado por la acumulación de gases que atrapan el calor en la atmósfera (Soliva y Hess, 2007); entre los principales gases denominados Gases de Efecto Invernadero (GEI) están el dióxido de carbono (CO_2), el metano (CH_4) el óxido nitroso (N_2O) y los clorofluorocarbonos (FAO, 2009). Las concentraciones atmosféricas mundiales de estos gases han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde

1750 y son actualmente, muy superiores a los valores preindustriales (IPCC, 2006).

La preocupación mundial por la degradación del medio ambiente ha llevado a una intensa presión por parte de las comunidades, las Organizaciones no gubernamentales (ONG) y la opinión pública en general por los efectos de las actividades económicas sobre el entorno natural y sobre la sostenibilidad del desarrollo global. Se hace necesario entonces, considerar el impacto que sobre el medio ambiente tiene

la producción de diferentes artículos, materiales y servicios. Es decir, considerar todos los componentes involucrados desde la extracción de materia primas hasta la disposición de los productos. La extensa influencia humana sobre el cambio climático ha jugado un papel importante y ha sido ampliamente debatido, por ejemplo, la quema de combustibles fósiles es considerada como la causa de más del 75 % de las emisiones (Snyder, 2007).

En el año 2012, la Federación Nacional de Cafeteros reportó que el Huila desplazó en la producción nacional de café a los departamentos de Antioquia, Caldas, Quindío y Risaralda; para encabezar la lista de departamentos con mayor producción del grano en Colombia. Hoy los cafeteros huilenses además de ser los principales productores son los protagonistas y gestores del nuevo Eje Cafetero colombiano. Datos estadísticos entregados por la Federación Nacional de Cafeteros dan cuenta que, en 2016 el departamento del Huila ratificó su liderazgo en materia de producción, incluidos los cafés especiales considerados los mejores del mundo (Federación Nacional de Cafeteros, 2013b). El departamento del Huila, ubicado entre las cordilleras Central y Oriental en sur de Colombia, tiene una oferta ambiental apropiada para la producción de café durante todo el año, permitiendo una amplia diversidad de sabores en taza. En concordancia con el resto del territorio colombiano, en el Huila, el 94% de las áreas en café pertenecen a pequeños caficultores y es desarrollada en predios de menos de tres hectáreas. De igual manera, el Huila se ha consolidado como el primer departamento productor de cafés especiales de excelente calidad (Comité Departamental Cafeteros del Huila, 2008). Prueba de ello, el departamento ha ganado cuatro veces el Concurso La Taza de la Excelencia de las 10 versiones realizadas, certamen que premia a los mejores cafés especiales cultivados en el país.

Cada vez es más relevante la posibilidad de desarrollar modelos de caficultura eficientes en el uso del carbono que en el futuro puedan recibir beneficios económicos por concepto de servicios ambientales. Acorde a lo anterior y alineados con la preocupación acerca del cambio climático, el medio ambiente cafetero huilense puede contribuir activamente a la mitigación del incremento de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) a través de la reducción de las emisiones asociadas al proceso de producción de café pergamino seco. La determinación de la huella de carbono es el punto de partida para conocer las emisiones y capturas de GEI e identificar puntos críticos en las diferentes etapas del proceso de producción en finca. Aunque en la actualidad no existen restricciones y requerimientos en torno a disminuir la huella de carbono, producto de la producción de café; si existen mercados especializados en torno al componente "huella de carbono", que generan un valor agregado en la comercialización a quienes, de manera responsable y voluntaria, emprendan acciones al respecto.

En consecuencia, medir los bienes y servicios ambientales eco-sistémicos como la huella de carbono (HC) en cuatro municipios del sur del departamento del Huila, es un primer paso para conocer índices concretos acerca de las remociones y emisiones de GEI en el sector cafetero y como se puede crear conciencia trabajando en mejorar la eficiencia energética de los diferentes procesos involucrados en la HC, además que conlleven a una mejora en la productividad y la competitividad del sector. De igual forma se contribuye a la mitigación y adaptación de los sistemas productivos cafeteros, aportando a su vez a los compromisos de Colombia frente a la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de la Naciones Unidas sobre el Cambio Climático – COP XXI de París, de reducir las emisiones de Gases de Efecto Invernadero en un 20% con relación a las proyectadas al año 2030, y en concordancia con la políticas públicas denominadas Estrategia

Colombiana de Desarrollo Bajo en Carbono y el Plan de Adaptación Sectorial Agropecuario de contribución a la mitigación nacional.

Materiales y métodos

La medición de la HC fue desarrollada para 505 Productores Cafeteros vinculados a 16 Asociaciones de 4 municipios del sur del departamento del Huila (Pitalito – San Agustín – San José de Isnos – Acevedo). El cálculo de la huella de carbono se desarrolló con base en la herramienta normativa NTC 5947, específica para el análisis de remociones y emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) de

productos, bienes y servicios. Para determinar las fijaciones o remociones y emisiones de GEI en el subsistema finca se define:

Unidad funcional: La unidad funcional fue un kilogramo de café pergamino seco (1 Kg cps), siendo ésta la forma convencional de venta del café para el sistema de café pergamino seco.

Mapas de procesos: Se elabora el mapa de procesos, con base en la identificación de las entradas, salidas, materiales, actividades y procesos que hacen parte de los ciclos de vida de los productos (Figura 1).

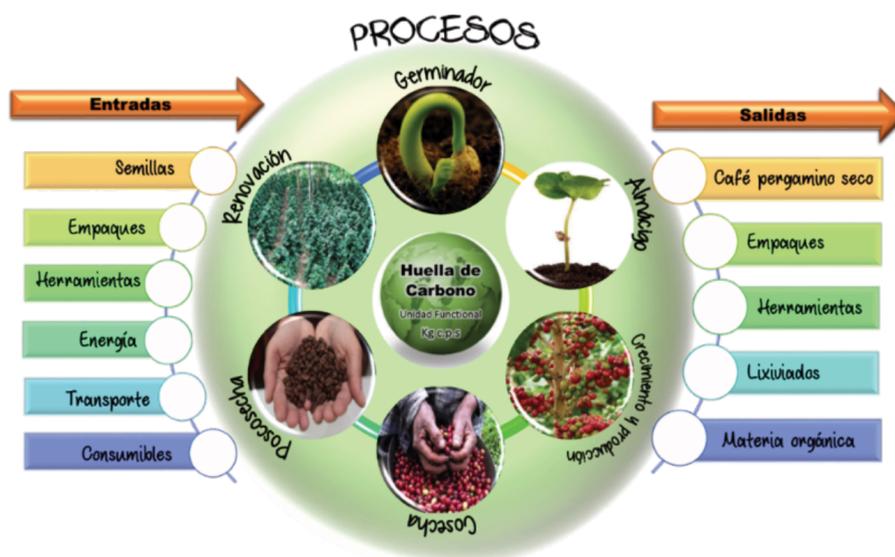


Figura 1. Mapa de procesos en el sistema finca.

Fuente: los autores

Límites del sistema: Los límites del sistema fueron definidos desde el ingreso de la semilla hasta la entrega del café pergamino seco en el punto de venta. Para el presente análisis solo se tienen en cuenta las remociones y emisiones referidas a la unidad funcional (un kilogramo de café pergamino seco) y todas las actividades relacionadas directamente con éste. El análisis de GEI en el sistema Finca es “de la cuna a la puerta” hasta que el producto de la finca es entregado en el punto de venta final.

Datos de la actividad: A partir de la información recolectada de los 505 predios cafeteros se determina la recopilación de la cantidad de combustible, energía, fertilizantes, fuentes de secado entre otros, consumidos y multiplicados por los factores de emisión de GEI. Esta información fue obtenida por medio de un instrumento de caracterización desarrollado para tal fin y aplicada a 505 fincas, de 16 asociaciones y cuatro municipios en el sur del departamento del Huila.

Factores de emisión: Para determinar las emisiones de GEI en cada una de las prácticas usadas en el cultivo del café, se requiere la aplicación de factores de emisión para cada una de las fuentes, como lo muestra la tabla 1. Dichos

factores, los cuales son en su mayoría oficialmente publicados y reconocidos tanto por la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME), como para el caso de Colombia y por el Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC).

Tabla 1. Factores de emisión usados en la HC en el sistema finca.

Fuente de energía	Factor de emisión	Unidad	Referencia
Energía electrónica	0,19	Kg CO _{2eq} /kWh	UPME, 2016
Gasolina para equipos	2,33	Kg CO _{2eq} /L	UPME, 2016
Carros a gasolina	1,70	Kg CO _{2eq} /km C. pequeño	GHG protocol 2005
	2,20	Kg CO _{2eq} /km C. medianos	
	2,70	Kg CO _{2eq} /km C. grande	
Carros a Diesel	1,20	Kg CO _{2eq} /km C. pequeño	GHG protocol 2005
	1,30	Kg CO _{2eq} /km C. medianos	
	1,40	Kg CO _{2eq} /km C. grande	
ACPM para equipos	2,81	Kg CO _{2eq} /L	Aranda, 2011
Fertilizantes (fabricación y aplicación)	3,53	Kg CO _{2eq} /Kg de N	Kool <i>et al.</i> , 2012
Carbón genérico	2,53	Kg CO _{2eq} /Kg	UPME, 2016
Cisco de café	1,87	Kg CO _{2eq} /Kg	UPME, 2016

Variables alométricas: Se tomaron variables alométricas medidas antes de apear las plantas de café, con el fin predecir la biomasa en estudios posteriores. Las variables analizadas fueron altura de la planta, diámetro de copa y diámetro de tallo medido a 15 centímetros del suelo. Un ejemplo de trabajo similar fue realizado por Segura *et al.* (2012) y Andrade *et al.* (2014), donde usando este tipo de relaciones estiman el carbono almacenado en plantas de café.

Variables de remociones y emisiones:

Las variables evaluadas tanto para las remociones como para las emisiones se basaron en el mapa de procesos: fijaciones o remociones (evaluadas en plantas de café y arvenses), emisiones (aspersiones con equipos motorizados, fertilización nitrogenada, control de malezas con equipos motorizados, uso de motores

e iluminación en el proceso de beneficio, transporte con vehículos que usan combustibles fósiles y por último la mineralización de pulpa de café y arvenses).

Las fijaciones o remociones que se presentan en el cultivo del café, se dan por la acumulación de carbono en la biomasa de la planta a través del tiempo, siendo ésta la cantidad de dióxido de carbono (CO₂) tomado de la atmósfera e incorporado por el proceso fotosintético. Se determinaron por medio del método de cubicación, el cual consistió en la separación de los órganos de la planta de café: raíz, tallo, ramas, hojas y frutos; se seleccionaron dos variedades de café Caturra y Castillo respectivamente, en 6 edades para cada una de las variedades desde almácigo 1, 3, 4, 6 y 7 años; cada una con cinco repeticiones, para un total

de 60 plantas cubicadas. Después de obtener los pesos frescos y ser llevados a peso seco, en el laboratorio se determinaron los porcentajes de carbono para cada variedad. Para obtener el carbono de un material en estudio, se multiplicó la biomasa seca del material (modelo de crecimiento) por los porcentajes de carbono para cada variedad, luego se multiplicó este valor por 3.66 ($40/12=3.66$), siendo este el factor de conversión a dióxido de carbono equivalente ($\text{CO}_{2\text{eq}}$).

Variedad Castillo:

Remociones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ($\text{Kg CO}_{2\text{eq}}$) = Valor resultado del modelo $\times 0.44 \times 3.66 \times$ densidad de siembra \times edad del cultivo (años)

Variedad Caturra:

Remociones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ ($\text{Kg CO}_{2\text{eq}}$) = Valor resultado del modelo $\times 0.45 \times 3.66 \times$ densidad de siembra \times edad del cultivo (años)

Las emisiones fueron calculadas con base en cada una de las variables evaluadas multiplicando los datos de la actividad por el factor de emisión de cada una de ellas.

Emisiones ($\text{Kg CO}_{2\text{eq}}$) = Datos de la actividad (masa / volumen / kWh / Km) \times factor de emisión ($\text{CO}_{2\text{eq}}$ por unidad funcional)

Periodo de referencia para el análisis: El periodo de referencia para el cálculo de la huella de carbono en el cultivo del café en el Huila, se define a partir de la información obtenida en el momento de la visita a las fincas y de la recopilación de la información a través de la herramienta de caracterización. El estudio realizado se presenta como una

línea base en el sistema dinámico finca, lo cual indica que es el primer año de medición en el sistema. Los valores de la huella de carbono son el resultado de un análisis espacio - temporal, donde los datos obtenidos corresponden a un análisis desde el momento que se recoge la información en cada una de las fincas evaluadas.

Exclusiones: Para el análisis del cálculo de la HC, se excluyen las emisiones de GEI relacionadas con la entrada de energía humana a los procesos, igualmente se excluyen las emisiones generadas por la producción de bienes capital, debido a la vida larga de utilidad de los mismos. En el sistema Finca, la utilización de empaques de fique y sintéticos son comúnmente reutilizados, por lo que no son una fuente de emisión en esta etapa. Las emisiones indirectas no se contabilizaron debido a que no son controladas directamente por el productor, por tal razón solo se trabajó con el alcance tipo uno y emisiones directas.

Resultados y discusión

Desarrollo de ecuaciones y modelos alométricos: Las ecuaciones alométricas (ecuación 1) relacionan variables estructurales (que se pueden medir fácilmente), con el peso (biomasa seca) de un árbol o sus órganos. Como se determinó en la metodología, antes de apearse el árbol, se midieron variables alométricas como altura del árbol (m), diámetro de copa (m) y diámetro de tallo medido a 15 centímetros del suelo. La tabla 2 muestra los resultados de dichas variables. Para todas las variables, los parámetros arrojaron un valor de pendiente $p > 0.001$.

$$f = Y_0 a^X \quad (\text{Ecuación 1})$$

Tabla 2. Parámetros de ecuaciones alométricas para dos variedades de café.

Variedad	Parámetro	Altura Vs Peso seco	Diámetro de tallo vs Peso seco	Diámetro copa vs Peso seco
Caturra	Y ₀	-1.3677	-0.6791	-1.5801
	A	2.5698	134.3809	3.5759
	R ²	0.73	0.85	0.85
Castillo	Y ₀	-0.9882	-0.7183	-1.8883
	A	2.591	110.1382	4.2398
	R ²	0.71	0.78	0.77

f = biomasa (Kg), x = variable alométrica; Y = parámetro de la ecuación; a = parámetro de la ecuación

Con el desarrollo de los modelos de regresión lineal para cada una de las variables, como resultado se obtiene que, para la variedad caturra el diámetro del tallo y diámetro de la copa son las variables que presentan mejor ajuste, mientras que para la variedad castillo es el diámetro de tallo la variable seleccionada. Con las ecuaciones anteriores se puede estimar la biomasa de las plantas de café sin tener nuevamente que apelar las plantas en trabajos posteriores.

Modelos de crecimiento y desarrollo en plantas de café: Para determinar las fijaciones o remociones de carbono que se presentan en el crecimiento de las plantas de café, por el método de cubicación se desarrollaron los modelos de crecimiento y desarrollo para cada una de las variedades evaluadas, esto con el fin de obtener la acumulación de carbono en la biomasa de la planta a través del tiempo. La tabla 3 muestra los modelos desarrollados para las variedades caturra y castillo.

Tabla 3. Parámetros para modelos de crecimiento en las variedades caturra y castillo.

Variedad	Modelo		Parámetros			
			a	B	x0	R ²
Caturra	Sigmoidal	$f = a / (1 + \exp(-(x-x_0)/b))$	7.5265	1.1897	4.1198	0.95
Castillo	Sigmoidal	$f = a / (1 + \exp(-(x-x_0)/b))$	5.5547	0.736	2.5402	0.80

f = Biomasa seca (Kg/planta), x = edad del cultivo en años

Los cálculos realizados con las tasas de fijación en las dos variedades evaluadas de café indican que dicho cultivo puede remover por hectárea entre 45,7 y 61 toneladas por hectárea, contando con una densidad de siembra de 5.000 plantas por hectárea y una edad máxima de crecimiento de 8 años.

Caracterización de 505 predios cafeteros: La totalidad de las 505 fincas evaluadas para la construcción de la línea base de emisiones y remociones para el cálculo de la huella de carbono, se localizan en 129 de las 371 veredas existentes en los cuatro municipios objeto de la medición, lo que corresponde al 34%.

De dichas veredas, 85 pertenecen al municipio de Pitalito, abarcando 64% de los predios incluidos, el municipio de Acevedo con 18% de los predios distribuidos en 15 veredas, San Agustín y San José de Isnos con 9%.

Los predios cafeteros incorporados para la determinación de la huella de carbono pertenecen principalmente al tipo de economía campesina, es decir, los llamados medianos caficultores que cuentan con áreas en sus fincas entre 1.6 ha y 10 ha (83.4%). En esta distribución sigue la categoría minifundista, que incluye a caficultores agrémiales entre 0.5 ha y 1.5 ha en café (12.3%). Los caficultores correspondientes a la categoría empresarial (predios con áreas mayores a 10 ha en café) constituyen la menor proporción medida, correspondiente al 4.4%. Sin embargo, es relevante mencionar que, para el conjunto de la categoría empresarial se agrupan 299 ha en área sembrada con cafetos, seguida de la economía campesina con 161 ha. De otra parte, se muestra que el promedio de área en los predios de economía campesina es de 5.1 ha y para la empresarial es 21.4 ha, siendo este último un grupo más heterogéneo en los datos de área. De los 505 predios incluidos en la medición de la línea de base de cálculo de la huella de carbono, se encuentra que la mayor proporción se localizan en el municipio de Pitalito y de estos 30% se agrupan principalmente en tres asociaciones, Rivera de los Guachicos, Coomagro y Caney.

Huella de carbono para el cultivo del café en cuatro municipios del sur del departamento

del Huila: Los valores de remociones de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ para el contexto general de los cuatro municipios del sur del Huila y los 505 predios cafeteros evaluados, muestran un índice general de fijaciones o remociones de 11,94 kilogramos de dióxido de carbono equivalente capturado por cada kilogramo de café pergamino seco producido; de igual manera el reporte de emisiones, indica que se tiene un valor de 2,17 kilogramos de dióxido de carbono equivalente emitido a la atmósfera por cada kilogramo de café pergamino seco producido en el sistema.

Los anteriores resultados de fijaciones o remociones se encuentran próximos a los rangos reportados por Segura *et al.* (2012), quienes afirman que las fijaciones se encuentran entre 5,0 y 17,6 ton/ha, en coherencia con esta investigación que reporta valores de 17,8 ton/ha, teniendo en cuenta una densidad de 5000 plantas por hectárea y una edad promedio de 4 años en los cultivos. Para efecto de las emisiones, de igual manera se visualizan valores cercanos a los reportados por Segura *et al.* (2012) que muestra valores máximos de emisiones de 1,1 kg de $\text{CO}_{2\text{eq}}$ por Kg de café verde, mientras que en este estudio se tienen valores de 1,71 kg $\text{CO}_{2\text{eq}}$ por kg de café verde.

Siguiendo la metodología de cálculo propuesta y los objetivos del proyecto, se logró calcular la huella de carbono para cada una de las unidades productivas (Tabla 4), indicando los resultados de la huella de carbono por asociación y municipio.

Tabla 4. Huella de carbono evaluada por municipio y asociación de productores de café.

Municipio	Asociación	Remociones (kg CO _{2eq} / kg c.p.s)	Emisiones (kg CO _{2eq} / kg c.p.s)
Acevedo	Ascebar	10.56	2.06
	Asoprocop	13.32	2.14
Pitalito	Apai	14.03	1.75
	Apecafé	11.79	2.55
	Ashulcafé	19.02	3.56
	Asoprocagua	13.90	1.47
	Caney	13.11	2.53
	Coomagro	13.23	2.27
	Emprendedores	15.09	3.15
	Palmar de Criollo	12.56	2.26
	Rivera del Guachicos	12.30	2.54
	San Agustín	El progreso	15.44
Horticultores		14.60	1.59
Muralla del Macizo		15.23	2.38
San José de Isnos	Amigos de Betania	12.81	1.53
	Cascada de Bordones	12.91	1.05

Tomando las asignaciones de las emisiones de CO₂ como la identificación de los puntos críticos dentro de los procesos asociados tanto a la producción como a la pos-cosecha de café (Figura 2). Muestra que hay cuatro actividades o procesos dentro del sistema de producción de café pergamino seco, que responden por 98% de las emisiones en el proceso de producción, cosecha y pos-cosecha. El primer proceso es el relacionado con la fertilización nitrogenada en el cultivo del café, siendo responsable del 84%

del total de las emisiones calculadas, mientras el consumo de combustibles en el transporte y el uso de equipos motorizados para el control de las malezas y fitosanitario responden por el restante 14%. Los demás procesos únicamente responden por 2% de las emisiones. La información obtenida en otros estudios (Segura *et al.*, 2012) de igual manera identifica la fertilización nitrogenada como uno de los principales procesos de emisión de CO₂ a la atmósfera con un porcentaje del 82%.

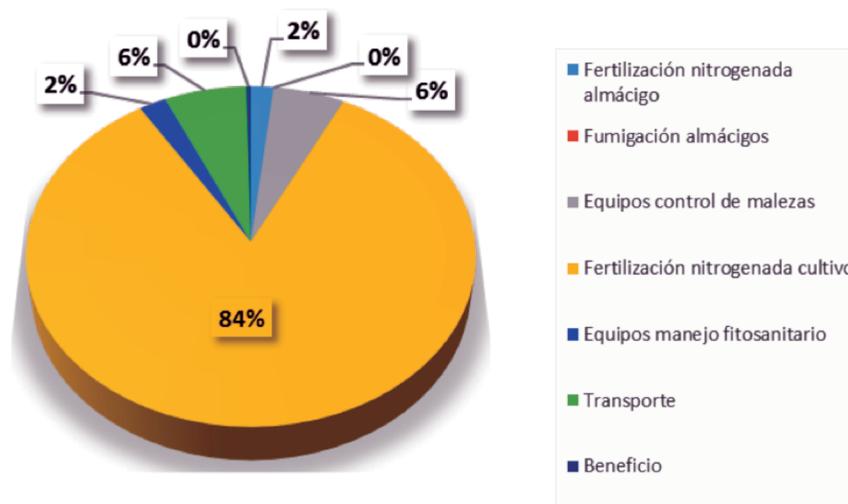


Figura 2. Puntos críticos y asignación de emisiones de CO_{2eq} en el sistema de producción de café pergamino seco.

Conclusiones y Recomendaciones

En este estudio se identificaron puntos críticos (procesos), como la fertilización nitrogenada y el uso de combustibles fósiles, donde se debe comenzar a trabajar en medidas de mitigación, creando un plan de manejo en las 16 asociaciones objeto del proyecto y así fomentar una caficultura carbono-eficiente que apunte a las metas de mitigación de Colombia, en coherencia con el compromiso de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero del país en un 20%, con relación a las emisiones proyectadas para el año 2030, formalizado en la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP21).

Siendo la fertilización nitrogenada el factor más incidente en las emisiones de GEI, se debe comenzar a concientizar a los caficultores en la necesidad de aplicar las dosis recomendadas en el cultivo, usando la herramienta de los análisis de suelos y basándose en las recomendaciones técnicas diseñadas para este cultivo.

De igual manera, los resultados muestran que las tasas de fijación para las variedades de café Castillo y Caturra se encuentran entre 45,7 y 61 toneladas por hectárea, teniendo en cuenta una densidad de siembra de 5.000 plantas por hectárea y una edad máxima de crecimiento de 8 años. Lo anterior, refleja que los sistemas de producción de café podrían llegar a convertirse en proyectos de pago por servicios ambientales, generando ingresos extras a los caficultores y contribuyendo a mitigar el cambio climático.

La información obtenida en esta investigación es útil para aplicar metodologías en sistemas dinámicos cafeteros, lo cual puede dilucidar el comportamiento de la caficultura en el sur del departamento del Huila y su contribución al calentamiento global.

Una de las preocupaciones principales de las evaluaciones de la huella de carbono son los factores de emisión que son utilizados para valorar las emisiones de GEI, por esta razón se recomienda realizar estudios detallados para encontrar factores de emisión de GEI propios para el país o la región cafetera en particular.

Agradecimientos

A la Gobernación del Huila que bajo el convenio Especial de Cooperación No.241 de 2014 hizo posible la investigación "Determinación de las huellas ambientales como indicador en la toma de decisiones en el marco integral de la producción de cafés especiales en el sur del departamento del Huila"; a la empresa operadora Mild Coffee Company Huila y los aliados estratégicos Universidad Surcolombiana, Universidad Cooperativa de Colombia sede Neiva, Servicio Nacional de Aprendizaje y las empresas The Mild Coffee Company N.V. y A. Van Welly B.V.

Literatura Citada

- Andrade, Hernán J.; Marín, Lina M.; Pachón, Diana P. 2014. Fijación de carbono y porcentaje de sombra en sistemas de producción de café (*Coffea arabica* L.) en el Líbano, Tolima, Colombia. Nota técnica. Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado. Barquisimeto, Venezuela. Revista Bioagro. Vol. 26, N° 2, mayo-agosto, 2014, pp. 127-132.
- Bouwman, A. F. (1994) Direct Emission of Nitrous Oxide from Agricultural Soils (Report No. 773004004, National Institute of Public Health and Environmental protection, Bilthoven, the Netherlands).
- Comité Departamental de Cafeteros del Huila. 2008. En: Informes de Comités de Cafeteros 2008. <https://www.federaciondefcafeteros.org/static/files/Huila4.pdf>
- Dumas Y., Dadomo M., Di Lucca G., Grolier P. (2003) Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes, J. Sci. Food Agric. 83, 369–382.
- FAO. 2009. "La larga sombra del ganado. Problemas ambientales y opciones. ." Pp. 86-139, edited by H. Steinfeld, P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, and C. de Haan. Roma: FAO.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). 2013. Huila, eje del nuevo mapa cafetero colombiano. https://www.federaciondefcafeteros.org/particulares/es/buenas_noticias/huila_eje_del_nuevo_mapa_cafetero_colombiano/
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (FNC). 2014. Café de Huila (DOP), uno de los más reconocidos orígenes de alta calidad. En: *Detrás del Café de Colombia. Perspectiva desde el Origen*. Ed. No. 14. Julio de 2014. Enlace http://www.cafedecolombia.com/cci-fnc-es/index.php/comments/cafe_de_huila_dop_uno_de_los_mas_reconocidos_origenes_de_alta_calidad/
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). 2006. Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol. Capítulo 10.
- Kimball B.A., Kobayashi K., Bindi M. (2002) Responses of agricultural crops to free-air CO₂ enrichment, *Adv. Agron.* 77, 293–368.
- Kirchmann H., Johnston A. E. J., Bergström L. F. (2002) Possibilities for reducing nitrate leaching from agricultural land, *Ambio* 31, 404–408
- Kool, A.; Marinussen, M.; Blonk, H. 2012, LCI data for the calculation tool feedprint for greenhouse gas emissions of feed production and utilization. GHG Emissions of N, P and K fertilizer production. Blonk Consultants. Gravin Beatrixstraat 34 2805 PJ Gouda the Netherlands. Email: info@blonkconsultants.nl Internet: www.blonkconsultants.nl.
- Protocolo de gases Efecto Invernadero. Calculating CO₂ Emissions from Mobile Sources. [En línea]. U.S.A., Suiza. 2005. Disponible en Internet: <http://www.ghgprotocol.org/calculation-tool/downloads/calcs/CO2-mobile.pdf>
- Segura, M.A., Andrade, H.J. 2012. Huella de carbono en cadenas productivas de café (*coffea arabica* l.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. Universidad de Caldas. Revista luna azul. 35: 60-77
- Snyder C.S., Bruulsema T.W., Jensen, T.L. Greenhouse gas emissions from cropping systems and the influence of fertilizer management. International Plant Nutrition Institute (IPNI). A literature review, [En línea]. U.S.A. Diciembre, 2007. Pag.14
- Soliva, C. R., and H. D. Hess. (2007). "Measuring methane emission of ruminants by in vitro and in vivo techniques." Pp. 15-31 in *Measuring Methane Production from Ruminants*, edited by Harinder P.S.; Vercoe Makkar, Philip E. (Eds.). Vienna, Austria: Springer.

Steudle E., Peterson C. (1998) How does water get through roots? *J. Exp. Bot* 49, 775-788.

UNESA, (2005). Forestación y Reforestación. Sumideros de Carbono. En: Metodologías para la Implementación de los Mecanismos flexibles de Kioto – Mecanismo de Desarrollo Limpio en Latinoamérica. Rivero Torre, Pedro, León, Gonzalo, Eichhamer, Wolfgang, Deputy, Gázquez Mateos, José Luis, González Santaló, José Miguel, Ferrando Bravo, Gerardo, Cisneros Gárate, Pablo, Pérez Pallarés, Diego. Capítulo 8.

Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). 2016. Factores de emisión de los combustibles

Colombianos. [En línea]. Bogotá, 2003. Consultado Agosto 2016. Disponible en internet: http://www.upme.gov.co/Calculadora_Emisiones/aplicacion/calculadora.html.

Walkley A., Black I.A. 1934. An examination of Degtjnreff method for determining soil organic matter and e proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil science* 37: 29-38.

Watson, R. T., L. G. Meiro Filho, E. Sanhueza, A. Janetos, (1992) in *Climate Change 1992—The Supplementary Report to the Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment* (Cambridge Univ. Press, New York, 1992), pp. 25–46.

Conflicto de Intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses