

La huella hídrica y la huella de carbono: herramientas para estimar el impacto de la ganadería bovina

Water Footprint and Carbon Footprint: Tools for Estimating Cattle Farming Effects

*Edwin Manuel Páez-Barón**

*Emma Sofía Corredor-Camargo***

*Jorge Armando Fonseca-Carreño****

Recepción: 7 de diciembre de 2017

Aprobación: 21 de febrero de 2018

Resumen

La producción ganadera bovina en Colombia representa un sector de gran importancia económica, que aporta cerca de un 64 % del producto interno bruto de tipo pecuario, y constituye, por lo tanto, un importante renglón para el desarrollo socioeconómico de las regiones. Con el objetivo de evaluar el impacto ambiental que tienen los sistemas de producción ganadera bovina, se han desarrollado diversas metodologías y herramientas que permiten medir los efectos de las unidades productivas sobre el medio. Dos de estas herramientas son la huella hídrica y la huella de carbono. La huella hídrica (HH) o del agua es un indicador del consumo y contaminación de agua dulce y contempla las dimensiones directa e indirecta. La huella de carbono (HdC) indica la totalidad de gases de efecto invernadero (GEI) que se emiten de manera directa o indirecta durante la fabricación de un producto. Las dos ofrecen orientación y constituyen indicadores de la sostenibilidad de un sistema.

Palabras clave: bovinos; producción; sostenibilidad.

* Ph.D. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD (Tunja-Boyacá, Colombia). <https://orcid.org/0000-0002-0237-2217>. edwin.paez@unad.edu.co.

** M.Sc. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD (Tunja-Boyacá, Colombia). <https://orcid.org/0000-0002-4214-7276>. emma.corredor@unad.edu.co.

*** M.Sc. Universidad Nacional Abierta y a Distancia-UNAD (Tunja-Boyacá, Colombia). <https://orcid.org/0000-0003-2755-8111>. jorge.fonseca@unad.edu.co.

Abstract

The cattle production in Colombia represents a sector of great economic importance, contributing nearly 64% of the Gross Domestic Product of livestock, constituting an important sector for the socioeconomic development of the regions. In order to evaluate the environmental impact of bovine livestock production systems, various methodologies and tools have been developed to measure the effects of productive units on the environment. Two of these tools are the water footprint and carbon footprint. The water footprint (WF) is an indicator of consumption and contamination of fresh water that includes the direct and indirect dimensions; the carbon footprint (CF) is the totality of greenhouse gases (GHG) that are emitted directly or indirectly during the production, both provide guidance and are indicators of the sustainability of a system.

Keywords: cattle; production; sustainability.

Introducción

En Colombia, la ganadería bovina representa la actividad de mayor importancia del sector agropecuario (Mahecha, Gallego & Peláez, 2002). Diversas publicaciones, señalan que este sector participa con cerca de 3,6 % del PIB nacional, un 27 % del PIB agropecuario y un 64 % de PIB pecuario (Vergara, 2010; Cuenca, Chavarro & Díaz, 2008). El DANE y la Encuesta Nacional Agropecuaria para el año 2012 revelan que la porción utilizada para la actividad pecuaria correspondió al 79,7 % del área total del uso del suelo, mientras que el sector agrícola utilizó el 7,9 %; el área restante estaba dedicada a bosques, otros usos y área perdida (12,5 %). Estos datos son corroborados por los resultados del Tercer Censo Nacional Agropecuario realizado en el 2014, donde se evidencia que la zona destinada a pastos es el 80 % del área utilizada por el sector agropecuario (DANE, 2015).

Lo anterior indica la importancia de la ganadería bovina en Colombia, pues representa uno de los sectores de mayor aporte a la economía agropecuaria. Sin embargo, este sistema se ha expandido alcanzando áreas que no tienen vocación pecuaria, causando en muchos casos afectación a los ecosistemas y dando lugar a la generación de problemáticas de índole ambiental que pueden poner en riesgo la sostenibilidad de los recursos naturales. Las actividades agrícolas y pecuarias son las que generan mayor consumo y contaminación del recurso hídrico, llegando a representar el 85 % del consumo mundial de agua dulce (Builes, 2013; Lardner et al., 2013).

Se han desarrollado diversas metodologías para estimar el impacto de la ganadería y evaluar su sustentabilidad, las cuales sirven para la toma de decisiones y el establecimiento de medidas correctivas con el fin de disminuir el impacto negativo que en

algunos casos puede representar el sistema de producción ganadero bovino para los ecosistemas. Es muy importante la estimación o la cuantificación de la sustentabilidad, ya que, como lo señalan Olmos y González (2013), es vital para la comprensión política de sus efectos y para la intervención próxima a la realidad de sus afectados, por lo anterior, pueden constituir una herramienta de gran utilidad en estos procesos de evaluación.

Materiales y métodos

Con el objetivo de tener una primera aproximación a la estimación de la huella de carbono, se desarrolló un estudio de tipo descriptivo, fundamentado en los métodos de observación y análisis, con un muestreo aleatorio para población finita con un 90 % de confianza, para un total de 55 unidades productivas analizadas. El área de investigación fue la ciudad de Tunja y su área rural, el tipo de producción está enfocado en la producción lechera. El procedimiento para el cálculo de la huella de carbono en el ámbito sectorial se realizó con base en la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV), acorde a lo planteado por la CAR (2013) y con base en las directrices y estándares internacionales (Páez, 2016), a través de los siguientes pasos:

- Paso 1: seleccionar los límites de análisis.
- Paso 2: identificar y clasificar las fuentes de emisión de gases efecto invernadero (GEI).
- Paso 3: recolectar los datos y escoger los factores de emisión.
- Paso 4: calcular la huella de carbono en el ámbito sectorial.
- Paso 5: interpretar los resultados.

Paso 1. Los límites de análisis se establecen según el alcance deseado para el cálculo. El *límite territorial* define el nivel que será incluido en el análisis: local, municipal o departamental (CAR, 2013). En este estudio el límite fue municipal: Tunja. Por otro lado, el *límite sectorial* define los niveles productivos que se incluirán en el análisis: institucional, transporte, industrial, agropecuario, residuos o uso de suelo (o ambos), cambio de uso de suelo y silvicultura. Este estudio se basó en el nivel agropecuario.

Paso 2. Las fuentes de emisión de GEI analizadas en el estudio fueron de dos tipos: *emisiones de GEI directas (alcance 1)*: fermentación entérica, consumo de combustibles fósiles, uso de fertilizantes sintéticos, quemadas de residuos agrícolas, manejo de estiércol y consumo de refrigerantes; y *emisiones de GEI indirectas (alcance 2)*: consumo de energía eléctrica.

Paso 3. La recolección de datos se hizo por medio de observación, toma de datos directa, y la aplicación del instrumento (encuesta) a los productores, teniendo en

cuenta las fuentes de emisión de GEI y las fuentes de información para los datos (Tabla 1).

Tabla 1. Fuentes de emisión de GEI y fuentes de información

ALCANCE	FUENTE DE EMISIÓN DE GEI	FUENTE DE INFORMACIÓN
1	Fermentación entérica	Cantidad de cabezas de ganado
	Consumo de combustibles fósiles	Registro de consumo
	Uso de fertilizantes sintéticos	Registros
	Quema de residuos agrícolas	Cantidad de biomasa
	Manejo de estiércol	Registros
	Consumo de refrigerantes (si aplica)	Registros
2	Consumo de energía eléctrica	Registro de consumo

Fuente: adaptado de CAR (2013).

Paso 4. El cálculo de la huella de carbono implica aplicar la siguiente fórmula para cada sector productivo (CAR, 2013):

$$\text{Carga ambiental} \times \text{factor de emisión} = \text{emisiones de GEI}$$

La carga ambiental está referida a: número de cabezas de ganado; cantidad de material producido, de fertilizante sintético usado, de residuos sólidos orgánicos dispuestos en tierra, de aguas residuales y lodos tratados; consumo de combustibles fósiles, de energía eléctrica, de refrigerantes (si aplica); y cantidad de área afectada (bosques y praderas).

Paso 5. De acuerdo con la CAR (2013), los resultados pueden ser presentados tanto en tablas como en gráficas y con los siguientes niveles de detalle según la profundidad del estudio:

- Emisiones de GEI totales para cada sector productivo.
- Emisiones de GEI directas e indirectas para cada sector productivo.
- Emisiones de GEI por tipo de fuente de emisión para cada sector productivo.
- Emisiones de GEI por tipo de fuente de emisión y para todos los sectores productivos.

Lo anterior permite identificar las mayores fuentes de emisión de GEI en el territorio, sobre las cuales se deberán implementar medidas de mitigación para lograr la reducción de la huella de carbono sectorial (CAR, 2013).

Los gases que se estimaron en las unidades productivas analizadas fueron CO₂, CH₄ y N₂O. En referencia al potencial de calentamiento de esos gases se tuvieron en cuenta los coeficientes correspondientes para un lapso de cien años, proporcionado

por IPCC (2008) (Tabla 2). Como criterio de medición se utilizó la base másica de los diferentes gases emitidos durante los procesos, convertidos a CO_{2e} (dióxido de carbono equivalente) (Páez, 2016).

Tabla 2. Potencial de calentamiento global (PCG) para el lapso de cien años

NOMBRE	FÓRMULA	POTENCIAL DE CALENTAMIENTO PARA CIEN AÑOS
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	25
Óxido de nitrógeno	N ₂ O	298

Fuente: autor, adaptado de Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay (2013).

La fórmula aplicada para el cálculo de la emisión de los GEI de las unidades productivas fue la siguiente:

$$\text{Emisión total de gases} = \Sigma \text{PCG} \times m$$

Donde:

- PCG: potencial calentamiento global.
- m: kilogramos emitidos por cada gas durante el proceso productivo.

Resultados

La unidad funcional para las unidades productivas analizadas fue un litro de leche, teniendo en cuenta que todas las unidades desarrollan el proceso productivo de leche como fuente principal de ingreso. La metodología de cálculo de medición de GEI se realizó con base en las directrices del IPCC (2008), incluyendo la estimación de emisiones del alcance 2, que estuvo representada básicamente por la energía eléctrica que se utiliza para los sistemas de cercas eléctricas de los potreros de las fincas.

Los límites del sistema en las unidades productivas analizadas incluyeron las emisiones de los insumos utilizados en el proceso productivo para la obtención de leche hasta la puerta de la finca (unidad productiva), entre las cuales se incluyen (Figura 1):

Alcance 1:

- Emisiones de CH₄ en su equivalente a CO₂ procedentes de la fermentación entérica (digestión ruminal).
- Emisiones de CH₄ en su equivalente a CO₂ procedentes del manejo de excretas (estiércol y orina).

- Emisiones de N_2O en su equivalente a CO_2 procedentes del manejo de excretas (estiércol y orina).
- Emisiones de N_2O en su equivalente a CO_2 procedentes de la aplicación de fertilizantes sintéticos en forrajes y pasturas.
- Emisiones de CO_2 procedentes de la utilización de insumos y combustibles (fertilizantes, diésel para maquinaria) para la preparación de pasturas.

Alcance 2:

- Emisiones de CO_2 procedentes de la utilización de energía eléctrica.

Para el desarrollo del estudio se consideró como período base el año 2014.

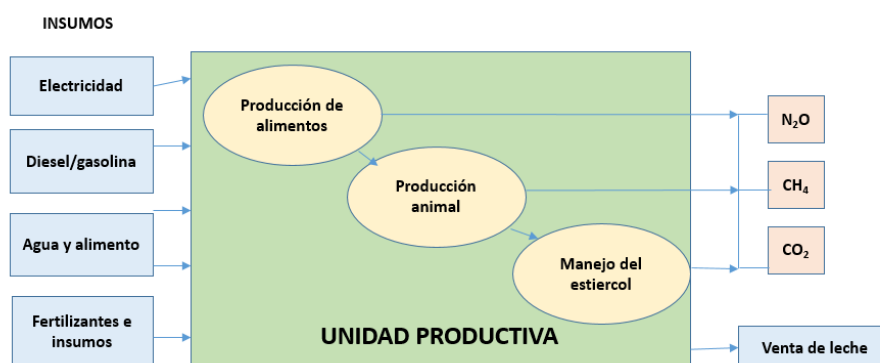


Figura 1. Flujos de recursos y de entrada en las unidades productivas analizadas.

Fuente: autores, adaptado de Rotz (2010) y de Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay (2013).

Luego del paso dos, se identificaron y clasificaron las fuentes de emisión de GEI así:

Factores de emisión de los GEI de origen animal: los factores de emisión para el caso de las unidades productivas analizadas y específicamente de la leche, están de acuerdo con los valores establecidos por defecto según el IPCC (2008).

- **Emisión de metano**

Fermentación ruminal: el cálculo de las emisiones de metano producto de la fermentación ruminal para el caso del ganado lechero coincide con el mencionado para ganado vacuno en general. De acuerdo con los valores establecidos para el ganado de tipo lechero, el factor de emisión establecido por el IPCC (2008) es de 1.425 ($kgCO_2/cabeza$) para el caso de Colombia. La producción de CH_4 en los bovinos ocurre principalmente como un subproducto del proceso de fermentación entérica.

Excretas (estiércol y orina): la descomposición de las excretas (estiércol y orina) da lugar a la generación de CH_4 . Las estimaciones de la producción de excretas son obtenidas usando el consumo de materia seca y la digestibilidad de alimentos, determinadas por el modelo de sistema productivo. En referencia a las unidades productivas que fundamentan su alimentación en el consumo de forrajes, se estima que la producción de un bovino adulto está alrededor del 8 % de su peso vivo, y para el caso de la región central de Boyacá el promedio de peso de los animales está en 600 kilogramos, obteniendo un estimado de 48 kilogramos de excretas (estiércol y orina) por día.

Para el caso del estudio, se encuentran sistemas productivos con pastoreo al aire libre durante todo el año, y el ordeño se realiza igualmente al aire libre; razón por la cual se asume que el 100 % del estiércol y orina se depositó en las pasturas. Las emisiones fueron determinadas usando un factor de emisión de 33,5 ($\text{kgCO}_2/\text{cabeza}$) para bovinos lecheros, de acuerdo con los datos que se establecen en el IPCC (CAR, 2013; INAP, 2011).

Según la ASABE (2005; citada por Pino et al., 2012), los volúmenes promedio de estiércol fresco generados cada día son 22 kg/bovino de engorda, 38 kg/vaca seca y 68 kg/vacas lactantes. Para el estudio se tomó el número total de animales en sus diferentes etapas productivas, se multiplicó por el peso total y se dividió en el peso promedio de un animal adulto, estimado en 600 kilogramos para la zona.

- **Emisión óxido de nitrógeno**

Emisiones directas: las estimaciones de emisiones directas de óxido de nitrógeno debidas a la aplicación de fertilizantes al suelo (fertilizante sintético) se estimaron usando los factores de emisión establecidos por defecto del IPCC (2008).

Emisiones indirectas: las emisiones indirectas de óxido de nitrógeno son producto de la volatilización del amoníaco (NH_3) y el lavado de nitratos (NO_3) resultante del estiércol y fertilizante que se deposita en el campo. Las emisiones fueron determinadas usando un factor de emisión de 3,35 ($\text{kgCO}_2/\text{cabeza}$) para bovinos lecheros, de acuerdo con los datos que se establecen en el IPCC (CAR, 2013; INAP, 2011).

En este punto se tienen en cuenta los valores estimados por la FAO (2013) y el Banco Mundial (2013), que establecen el consumo promedio de fertilizantes (kilogramos por hectárea de tierra cultivable). Los productos fertilizantes abarcan los fertilizantes sintéticos nitrogenados, el abono potásico y los fertilizantes fosfatados, no se incluyen los nutrientes tradicionales (abono animal y vegetal). Para el caso de Colombia, se establece que el promedio de consumo de fertilizantes para el año 2010 fue de 584,9 kg/ha ; para el 2011, de 745,3 kg/ha , y para el año 2012 fue de 744,3 kg/ha . En ese sentido, el diario *Portafolio* de Colombia señala que en el caso del nivel de fertiliza-

ción de los suelos, donde Colombia bate récord con un volumen de 744,3 kg/ha para el año 2012 (Banco Mundial, 2013), se observa un nivel elevado de incorporación de fertilizantes en las actividades agropecuarias, en contraste con Nigeria, que tiene la más baja aplicación, de apenas medio kilo por hectárea. En América Latina, el promedio de aplicaciones de fertilizantes es de 148 kg/ha; en Asia, 85 kilos; en el Norte de África, 157, y en África al sur del Sahara, 10 kilos, en promedio (Portafolio, 2012).

• Emisiones de dióxido de carbono

En las unidades productivas analizadas, la electricidad se usa principalmente para las plantas o unidades eléctricas de control de cuerdas para potreros; en razón a su característica de unidades productivas pequeñas no se utilizan los sistemas de ordeño mecánico que generan el gasto energético adicional. Igualmente, la leche es recogida en la finca por los compradores (camión recolector), lo cual no implica la refrigeración o el almacenamiento de la leche a largo plazo. Para todas las unidades productivas, las emisiones de CO₂ durante la producción de electricidad se asumió como factor de emisión 0,138 kg CO_{2e}/kWh de acuerdo con lo establecido por el IPCC (CAR, 2013; Castillo et al. 2013).

La maquinaria empleada está asociada principalmente a los sistemas agropecuarios analizados, y se encuentra representada especialmente por el uso del tractor para labores de preparación del suelo y establecimiento de praderas. Asimismo, algunas unidades productivas utilizan medios de transporte internos para las labores propias del sistema productivo. El factor de emisión para combustibles fue obtenido a partir de los datos del IPCC (2006), donde se tiene establecido en 10,15 kg CO_{2e}/gal de diésel y para la gasolina en 8,15 kg CO_{2e}/gal. (CAR, 2013).

Luego de desarrollar el paso tres, se obtuvieron datos de fuentes de emisión de GEI de las unidades productivas.

En la Tabla 3 se señalan las diferentes fuentes de emisión que se tuvieron en cuenta en la investigación. Se resalta que las principales fuentes de emisión estuvieron representadas por la fermentación entérica y el manejo de excretas en las unidades.

Tabla 3. Identificación de fuentes de emisión de GEI de las unidades productivas analizadas

ACTIVIDAD GENERADORA	FUENTE DE EMISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA EMISIÓN	GEI GENERADO
Fermentación entérica	Bovinos.	Digestión de los bovinos	CH ₄
Manejo de excretas (estiércol y orina)	Bovinos.	Disposición de excretas directamente en las praderas	CH ₄ y N ₂ O

ACTIVIDAD GENERADORA	FUENTE DE EMISIÓN	DESCRIPCIÓN DE LA EMISIÓN	GEI GENERADO
Preparación de suelos y manejo de praderas.	Maquinaria	Uso de combustibles para el funcionamiento de maquinaria especializada y para vehículos de desplazamiento interno en las unidades productivas.	CH ₄ y N ₂ O
Fertilizantes	Fertilizantes	Emisiones de fertilizantes nitrogenados.	N ₂ O

Al realizar el paso cuatro se estimaron datos de la huella de carbono de las unidades productivas analizadas y se obtuvo una HdC que varió entre 1670,11 kg CO_{2e} y 55979,42 kg CO_{2e} (Figura 2). La variación entre el valor mínimo y máximo puede estar representada por las diferencias en las actividades productivas, tales como labores de preparación de suelos y establecimiento de las pasturas, labores de fertilización, e incorporación de maquinaria especializada (tractores o vehículos para desplazamiento al interior de la unidad productiva), lo cual genera incremento en las emisiones de GEI provenientes de algunas de las unidades productivas del estudio.

Estos datos son similares a los obtenidos por Arguedas (2012), quien hizo un estudio para estimar las emisiones de GEI del Instituto Tecnológico de Costa Rica (ITCR), según los lineamientos del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC). En dicho estudio se obtuvo que el ITCR durante el período 2007–2009 emitió en promedio 2.541 t/año de CO_{2e}, para un total de 651.94 hectáreas, lo cual equivale a un total de 3,89 t/año de CO_{2e} (Páez, 2016).

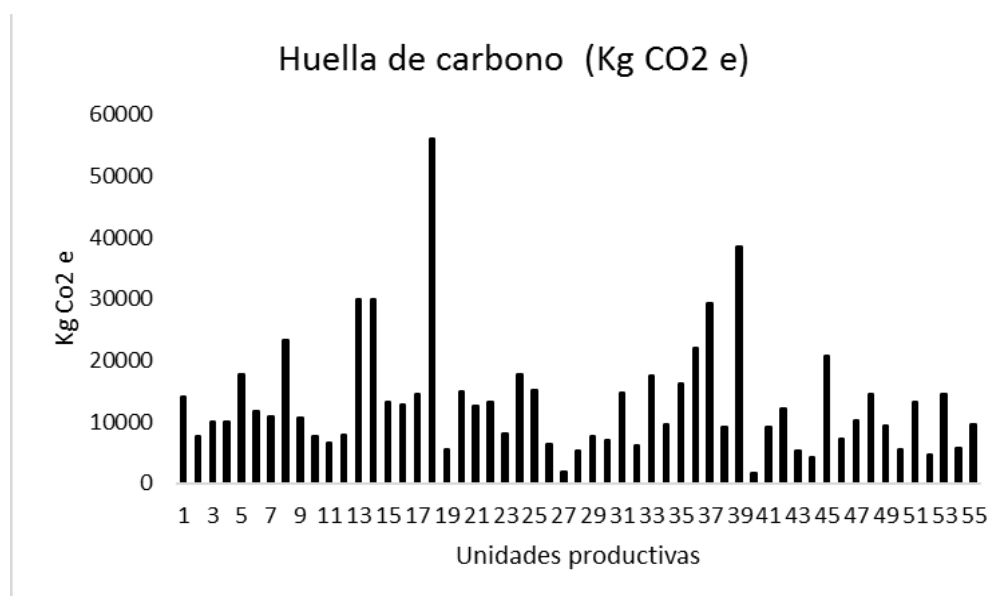


Figura 2. Variación de la huella de carbono estimada en kg CO_{2e} para cada unidad productiva.

Discusión y conclusiones

De acuerdo con los datos obtenidos en las unidades productivas, se estima que por cada litro de leche producida se obtienen valores que van desde 0,3276 kg de CO_{2e} hasta 9,021 kg de CO_{2e}. Estos datos se encuentran dentro de los hallados en otros estudios, como el realizado por Pirlo, Terzano, Pacelli, Abeni y Carè (2014), quienes evaluaron la HdC de una producción bufalina mediante la metodología de un ACV simplificado. La unidad funcional del proyecto fue de 1 kg de leche grasa y proteína corregida (FPCM). En dicho estudio se estimó que la huella de carbono de 1 kg de FPCM fue 3,75 kg CO_{2e}. Sin embargo, es necesario señalar que los dos estudios difieren en algunos aspectos y coinciden en otros; en primer lugar, difieren en referencia a las características propias de las explotaciones evaluadas, ya que las de este último se caracterizan por altos niveles de insumos, como alimentos concentrados balanceados, superficie media cultivada de 53,2 hectáreas, y elevado suministro de alimentos especializados como el ensilaje de maíz, seguido por raigrás italiano y/o ensilado de cereales; asimismo difieren en el tamaño promedio del rebaño, que fue de 360 animales. Coinciden en el elevado uso de fertilizantes químicos y combustibles fósiles, como el observado en algunas unidades productivas del estudio realizado.

Se puede encontrar que existe una amplia variación en referencia a la HdC por unidad del producto. En este sentido, la HdC para las 55 unidades productivas analizadas estuvo entre el 0,3276 kg de CO_{2e} hasta 9,021 kg de CO_{2e} por cada litro de leche producida, lo cual demuestra una variabilidad entre las diversas unidades productivas. Las unidades analizadas están constituidas en su gran mayoría por predios menores a 10 hectáreas y, como tales, constituyen pequeños sistemas productivos, caracterizados por un bajo nivel de incorporación tecnológica, la cual se traduce en baja productividad por hectárea. El valor de la HdC de la leche calculada en esta investigación se encuentra aproximadamente en el mismo rango que la HdC presentada en otros estudios de sistemas productivos lecheros, como el realizado por Lizarralde (2013) en Uruguay, quien llevó a cabo una investigación para establecer la relación entre la HdC y las prácticas de manejo de predios lecheros de Uruguay. En ese estudio se evaluaron los animales de 24 predios, con un sistema de pastoreo todo el año y con suplementación de alimentos concentrados; los resultados fueron de 0,99 kg CO_{2e}/kg LCGP (± 10 %). Se nota una elevada productividad y eficiencia del sistema productivo en los predios mencionados.

Robert, Menzel y Bahrs (2015), desarrollaron una investigación para evaluar la integración de los servicios ecosistémicos y estimar la HdC en granjas lecheras localizadas en el sur de Alemania; siguieron la metodología de ACV para evaluar un total de 113 explotaciones lecheras. Los resultados obtenidos indicaron una HdC en promedio de 1,99 kg CO_{2e}/kg de leche grasa y proteína corregida (FPCM). Si bien estos resultados coinciden con algunas de las HdC halladas en la investigación realizada, hay otras

unidades productivas que se encuentran muy por encima de estos valores normales. Sin embargo, hay que mencionar que la dinámica productiva de cada una de las unidades varía muchísimo, lo cual puede explicar en parte la diferencia significativa del estudio realizado en la región.

Los diversos estudios difieren en aspectos metodológicos, así como en las características propias de las unidades o sistemas productivos analizados. Los estudios llevados a cabo hasta el momento, en su mayor parte corresponden a países industrializados con sistemas productivos de tipo intensivo, con elevado nivel de tecnificación e incorporación tecnológica al proceso y con un gran número de individuos que constituyen el sistema. Y se diferencian en gran manera de los sistemas productivos que se tuvieron en cuenta en esta investigación, los cuales están constituidos por pequeños sistemas, con un número bajo de individuos y con bajo nivel tecnológico en el proceso productivo. Por lo anterior, puede ser difícil hacer un análisis comparativo certero considerando estas grandes diferencias en la dinámica de cada unidad.

Referencias

- Arguedas, M. (2012). La huella de carbono del Instituto Tecnológico de Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 9 (22), 51-59. DOI: <https://doi.org/10.18845/rfmk.v9i22.369>.
- Banco Mundial (2013). *Datos de consumo de fertilizantes a nivel mundial*. Recuperado de: <http://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS>
- Builes, E.D. (2013). *Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce*. Medellín, Colombia: Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Minas, Departamento de Geociencias y Medio Ambiente.
- CAR (2013). *Guía metodológica para el cálculo de la huella de carbono corporativa a nivel sectorial*. Bogotá, D.C.: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca –CAR–, Corporación Ambiental Empresarial -CAEM-, Cámara de Comercio de Bogotá.
- Castillo Meza L. & Luzardo Briceño M. (2013). Evaluación del manejo de residuos sólidos en la Universidad Pontificia Bolivariana, seccional Bucaramanga. *Revista Facultad de Ingeniería*, 22(34), 71-84. DOI: <https://doi.org/10.19053/01211129.2220>.
- Cuenca, N., Chavarro, F. & Díaz, O. (2008). El sector de ganadería bovina en Colombia. Aplicación de modelos de series de tiempo al inventario ganadero. *Rev.fac.cienc.econ.*, 16(1), 165-177.
- DANE (2012). *La ganadería Colombiana y la cadena láctea y cárnica*. Departamento Administrativo Nacional de Estadística. Bogotá, Colombia.
- DANE (2015). *Tercer Censo Nacional Agropecuario*. Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-MADR-, Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE-.
- FAO (2013). *Evapotranspiración de referencia (ET₀)*. *Evapotranspiración del cultivo*. Recuperado de: <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/x0490s/x0490s01.pdf>.
- Flores-Mancheno, L., García-Hernández, Y., Proaño-Ortiz, F., & Caicedo-Quinche, W. (2015). Three doses evaluation of a microbial preparation obtained in Ecuador, in the productive and sanitary response of post-weaning pigs. *Ciencia y Agricultura*, 12(2), 59-70. <https://doi.org/10.19053/01228420.4392>.
- INAP (2011). *Determinación de los factores de emisión para los Alcances 1 y 2 de la estimación de la huella de carbono*. Chile: Programa de Estudios e Investigaciones en Energía para la División de Desarrollo Sustentable, Subsecretaría de Energía.

- IPPC (2008). IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007. En *Intergovernmental Panel on Climate Change*.
- Lardner, H.A., Brault, L., Schwartzkopf-Genswein, K., Schwan-Lardner, K., Damiran, D. & Darambazar, E. (2013, Nov.). Consumption and Drinking Behavior of Beef Cattle Offered a Choice of Several Water Types. *Livestock Science*, 157(2-3), 577-585.
- Lizarralde, C.A. (2013). *Relación entre la huella de carbono y las prácticas de manejo de predios lecheros de Uruguay*. (Tesis de Maestría). Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Agronomía.
- Mahecha, L., Gallego, L.A. & Peláez, F.J. (2002). Situación actual de la ganadería de carne en Colombia y alternativas para impulsar su competitividad y sostenibilidad. *Rev Col Cienc Pec.*, 15(2), 213-225.
- Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca de Uruguay (2013). *Primer estudio de la huella de carbono de tres cadenas agroexportadoras del Uruguay: carne vacuna, láctea y arroceras*. Uruguay: Universidad de la República.
- Olmos, M. & González, W. (2013, ene.-jun.). El valor de la sustentabilidad. *Ciencia y Agricultura*, 10(1), 91-100. DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.2831>.
- Páez, E. (2016). *Medición de huellas ambientales como indicadores de sostenibilidad en unidades de producción ganadera bovina en la región centro del departamento de Boyacá, Colombia*. Ávila, España: Universidad Católica Santa Teresa de Jesús –UCAV.
- Pino, J.M., García, J.C., Peña, J.A., Rendón, J.A., González, C. & Patiño, F. (2012, mayo-junio). Impactos y regulaciones ambientales del estiércol generado por los sistemas ganaderos de algunos países de América. *Agrociencia*, 46(4), 359-370.
- Pirlo, G., Terzano, G., Pacelli, C., Abeni, F. & Carè, S. (2014). Carbon Footprint of Milk Produced at Italian Buffalo Farms. *Livestock Science*, 161, 176-184. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2013.12.007>.
- Portafolio. (2012). *Elevado uso de fertilizantes en Colombia*. Recuperado de: <http://www.portafolio.co/negocios/elevado-uso-fertilizantes-colombia>.
- Robert, L., Menzel, F. & Bahrs, E. (2015). Integration of Ecosystem Services into the Carbon Footprint of Milk of South German Dairy Farms. *Journal of Environmental Management*, 152, 11-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.017>.
- Rotz, C.A, Montes, F. & Chianese, D. (2010). The carbon footprint of dairy production systems through partial life cycle assessment. *Journal of Dairy Science*, 93 (3), 1266-1282. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2162>.
- Vergara, W. (2010). La ganadería extensiva y el problema agrario. El reto de un modelo de desarrollo rural sustentable para Colombia. *Rev. Ciencia Animal*, (3), 45-53.