



Universidad Nacional
Abierta y a Distancia

Sello Editorial

DETERMINACIÓN DE HUELLAS AMBIENTALES, PRÁCTICAS Y ESTRATEGIAS INTEGRADAS DE MANEJO EN SISTEMAS GANADEROS DE TRÓPICO ALTO

Edwin Manuel Páez Barón
Maly Johanna Puerto López
Jorge Armando Fonseca Carreño
Emma Sofía Corredor Camargo

Grupo de Investigación
GIGASS



DETERMINACIÓN DE HUELLAS AMBIENTALES, PRÁCTICAS Y ESTRATEGIAS INTEGRADAS DE MANEJO EN SISTEMAS GANADEROS DE TRÓPICO ALTO

Autores:

Edwin Manuel Páez Barón

Maly Johanna Puerto López

Jorge Armando Fonseca Carreño

Emma Sofía Corredor Camargo

Grupo de Investigación: GIGASS

UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)

Jaime Alberto Leal Afanador

Rector

Constanza Abadía García

Vicerrectora académica y de investigación

Leonardo Yunda Perlaza

Vicerrector de medios y mediaciones pedagógicas

Edgar Guillermo Rodríguez Díaz

Vicerrector de servicios a aspirantes, estudiantes y egresados

Julialba Ángel Osorio

Vicerrectora de inclusión social para el desarrollo regional y la proyección comunitaria

Leonardo Evemeleth Sánchez Torres

Vicerrector de relaciones intersistémicas e internacionales

Myriam Leonor Torres

Decana Escuela de Ciencias de la Salud

Clara Esperanza Pedraza Goyeneche

Decana Escuela de Ciencias de la Educación

Alba Luz Serrano Rubiano

Decana Escuela de Ciencias Jurídicas y Políticas

Martha Viviana Vargas Galindo

Decana Escuela de Ciencias Sociales, Artes y Humanidades

Claudio Camilo González Clavijo

Decano Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Jordano Salamanca Bastidas

Decano Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

Sandra Rocío Mondragón

Decana Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios

Determinación de huellas ambientales, prácticas y estrategias integradas de manejo en sistemas ganaderos de trópico alto

Autores:

Edwin Manuel Páez Barón
Maly Johanna Puerto López
Jorge Armando Fonseca Carreño
Emma Sofía Corredor Camargo

Grupo de Investigación: GIGASS

**333.71
P127**

Páez Barón, Edwin Manuel
Determinación de huellas ambientales, prácticas y estrategias integradas de manejo en sistemas ganaderos de trópico alto / Edwin Manuel Páez Barón, Maly Johanna Puerto López, Jorge Armando Fonseca Carreño, ... [et al.] -- [1.a. ed.]. Bogotá: Sello Editorial UNAD/2021. (Grupo de investigación: GIGAS - Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente -ECAPMA-)

ISBN: 978-958-651-796-6

e-ISBN: 978-958-651-797-3

1. Huella ambiental 2. Desarrollo sostenible 3. Buenas prácticas ganaderas 4. Sistemas silvopastoriles I. Páez Barón, Edwin Manuel II. Puerto López, Maly Johanna III. Fonseca Carreño, Jorge Armando IV. Corredor Camargo, Emma Sofía

ISBN: 978-958-651-796-6

e-ISBN: 978-958-651-797-3

Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente

©Editorial
Sello Editorial UNAD
Universidad Nacional Abierta y a Distancia
Calle 14 sur No. 14-23
Bogotá D.C

Mayo de 2021

Corrección de textos: Gloria Hoyos
Diseño de portada: Paula Cubillos Gómez
Diagramación: Paula Cubillos Gómez
Impresión: Hipertexto - Netizen

Esta obra está bajo una licencia Creative Commons - Atribución – No comercial – Sin Derivar 4.0 internacional.
https://co.creativecommons.org/?page_id=13.



RESEÑA DEL LIBRO

Más que en cualquier otra época de la historia de la humanidad, la actual generación se enfrenta a diversas coyunturas en temas sociales, económicos y ambientales, pues no ha logrado establecer sus prioridades sobre el planeta. Por un lado, trae el pesado lastre de un modelo económico netamente extractivista, energéticamente dependiente de recursos no renovables, que en su cadena de obtención, transformación y uso dejan una profunda huella ambiental en el planeta, en el mismo sentido, su modelo agroalimentario riñe con los principios básicos de sustentabilidad, pues los dominantes modelos agrícolas de revolución verde, han demostrado alta inequidad en la provisión alimentaria en contraste con los daños que se causan al suelo, al agua y a la biodiversidad. Por otro lado, la actual generación debe dar respuesta a las crecientes voces que, desde diferentes sectores de la sociedad, urgen para que dichos modelos económico, industrial y alimentario, migren hacia tener como principios fundamentales la recuperación y/o preservación de la capacidad natural del planeta, para proveer el sustento en cantidad, calidad y oportunidad para todos sus habitantes. En ese sentido, es prioridad que las fuerzas vivas de la sociedad encaminen sus esfuerzos para transformar sus hábitos, costumbres y quehacer diario por acciones, que redunden en el enfriamiento del planeta, la “descarbonización” de la economía y la solidaridad intercultural.

El sector agropecuario ha avanzado tímidamente en transformar sus prácticas productivas, incorporando principios agroecológicos que lo lleven hacia una agricultura y ganadería adaptada al clima, para lo cual es indispensable reconocer y valorar la huella ambiental de cada subsector de la producción que permita su rediseño. En tal sentido, el Grupo de investigación GIGASS, de la Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD), trabaja con comunidades rurales en proyectos para generar, evaluar e incorporar prácticas de manejo de la ganadería familiar campesina que aporten a la productividad, sustentabilidad y equidad..

Fruto de estos trabajos de investigación e interacción con comunidades campesinas se presenta este libro, el cual, en su Capítulo I, aborda conceptual y metodológicamente las huellas ambientales y su importancia, como indicadores para promover procesos ecológicos. En el Capítulo II, se presenta la contextualización de los siste-

mas silvopastoriles, sus principios y estrategias productivas, además, se hacen recomendaciones para el establecimiento de estos sistemas en trópico alto, a partir de experiencias y trabajos de investigación con agricultores y ganaderos. El Capítulo III presenta, desde la óptica normativa y empírica, los conceptos de las buenas prácticas ganaderas (BPG), su importancia para la disminución del impacto ambiental de este subsector y recomendaciones para su implementación en agroecosistemas ganaderos. Finalmente, en el Capítulo IV, se exponen los resultados de investigación sobre cálculo de la huella ambiental de sistemas ganaderos de trópico alto y se hace recomendaciones para su elaboración.

RESEÑA DE LOS AUTORES

Edwin Manuel Páez Barón

Médico veterinario zootecnista, especialista en Sanidad Animal, magíster en Educación, magíster en Ciencias Veterinarias, doctor en Desarrollo Sostenible. Docente de carrera, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Investigador Junior del grupo GIGASS.

Maly Johanna Puerto López

Ingeniera Ambiental e Ingeniera Química, auditora en Medio Ambiente, especialista en huellas ambientales, con nueve años de experiencia. Asesoró a empresas de lácteos, agrícolas y de producción de agroquímicos en evaluación de huella de agua, según el estándar ISO 14046:2014, en el marco del proyecto de cooperación suiza “El Agua nos Une”.

Jorge Armando Fonseca Carreño

Ingeniero Agrónomo, especialista en Finanzas, especialista en Evaluación Pedagógica, magíster en Ciencias Agrarias, candidato a doctor en Ciencias biológicas y ambientales. Docente de carrera, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Investigador Asociado y Líder del grupo GIGASS.

Emma Sofía Corredor Camargo

Médica veterinaria y zootecnista, especialista en Sanidad Animal y magíster en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente. Docente ocasional, Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Investigadora Junior de grupo GIGASS.

CONTENIDO

Capítulo 1

Huellas ambientales	17
Resumen	18
Introducción	18
1.1 Historia	19
1.2 Conceptos y generalidades	26
1.2.1 Asignación	33
1.3 Huella de carbono	34
1.3.1 Pecuarias	36
1.3.2 Agrícolas	42
1.3.3 Indirectas	45
1.3.4 Índices de Potencial de Calentamiento Global (GWP)	45
1.4 Huella hídrica	46
1.5 Huella ecológica	47
1.6 Huellas según el enfoque de Análisis de Ciclo de Vida	49
1.6.1 Bases de datos	51
1.6.2 Marcos metodológicos	54
1.6.3 Evaluación de huella ambiental de producto PEF de la Unión Europea	56
Conclusiones	59
Referencias bibliográficas	60

Capítulo 2

Los sistemas agrosilvopastoriles de trópico alto	67
Resumen	68
Introducción	68
2.1 Los sistemas agroforestales	69
2.2 Los sistemas silvopastoriles (SSP)	74
2.3 Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi).	80
2.4 Sistemas silvopastoriles intensivos de trópico alto.	84
2.4.1 El tilo (<i>sambucus peruviana</i>) en los SSPi de trópico alto	87

Conclusiones	96
Referencias bibliográficas	97

Capítulo 3

Buenas prácticas ganaderas	103
Resumen	104
Introducción	104
3.1 Los sistemas de producción bovina de leche en Colombia y en Boyacá	105
3.1.1 Sistemas de producción bovina de leche en Colombia	105
3.1.2 Sistemas de producción bovina de leche en Boyacá	107
3.2 Conceptualización de las Buenas prácticas ganaderas	111
3.2.1 Definición y proceso de certificación	111
3.2.2 Beneficios de las BPG	114
3.2.3 Normatividad	118
Conclusiones	128
Referencias bibliográficas	130

Capítulo 4

Caso práctico de huellas ambientales en unidades productivas agropecuarias de alta montaña	137
Resumen	138
Introducción	138
4.1 Objetivo y alcance del estudio	139
4.2 Caracterización de sistemas de producción lechera en la zona central de Boyacá	139
4.2.1 Descripción de la muestra	139
4.2.2 Descripción técnica de los sistemas productivos	140
4.2.3 Descripción parámetros productivos y reproductivos	144
4.3 Datos de inventario para las huellas ambientales	146
4.4 Resultados de huellas directas y análisis	152
4.4.1 Huella ecológica	152
4.4.2 Huella de carbono	154
4.4.3 Huella hídrica	155
4.4.4 Huellas de un litro de leche	158
Conclusiones	161
Referencias bibliográficas	163

LISTA DE TABLAS

CAPÍTULO 1

Tabla 1.1.1. Factor de conversión de la energía en metano para diferentes tipos de ganado (Hatfield et al., 2006).	37
Tabla 1.1.2. Factores de emisión para diferentes tipos de gestión de estiércol (Hatfield et al., 2006).	39
Tabla 1.1.3. Porcentajes de volatización de nitrógeno desde diferentes sistemas de gestión de estiércol (Hatfield et al., 2006).	41
Tabla 1.1.4. Factores de equivalencia de huella ecológica para diferentes tipos de uso del suelo (Global Footprint Network, 2009)	48
Tabla 1.1.5. Categorías de impacto, metodologías e indicadores de punto medio usados en el cálculo de un perfil de huella ambiental PEF (European Commission, 2013)	56

CAPÍTULO 3

Tabla 3.1. Predios con certificación en BPG en Colombia	110
Tabla 3.2. Buenas prácticas para la gestión socioeconómica	115
Tabla 3.3. Buenas prácticas para la gestión ambiental	117
Tabla 3.4. Normatividad internacional relacionada con las BPG	118
Tabla 3.5. Normatividad nacional relacionada con las BPG	120

CAPÍTULO 4

Tabla 4.1. Composición de la ganadería	142
Tabla 4.2. Fuentes de agua	144
Tabla 4.3. Producción de leche	145
Tabla 4.4. Costo de producción, precio de venta y ganancia	145
Tabla 4.5. Inventario anual para una unidad productiva promedio	147
Tabla 4.6. Datos de propiedades de alimentación usadas	150
Tabla 4.7. Datos asociados a la zona y cuencas para cálculo de huellas	151

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1.1. Línea de tiempo de las huellas ambientales	23
Figura 1.2. Relación entre diferentes enfoques de una huella	27
Figura 1.3. Etapas en un estudio de huella	28
Figura 1.4. Diagrama simplificado de los procesos que hacen parte del ciclo de vida de un producto	29
Figura 1.5. Procedimiento usual para el cálculo de indicadores de huella	30
Figura 1.6. Ciclo de vida de un producto agrícola	31
Figura 1.7. Ciclo de vida de un producto pecuario	32
Figura 1.8. Alcances de la huella de carbono para organizaciones.	34
Figura 1.9. Principales fuentes de emisiones de GEI en unidades de producción agropecuarias basadas en bovinos	35
Figura 1.10. Base de datos de la IPCC	45
Figura 1.11. Evaluación de la huella hídrica	46
Figura 1.12. Análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica	47
Figura 1.13. Relaciones uso de recurso y causa en huella ecológica	49
Figura 1.14. Modelo de causa y efecto	49
Figura 1.15. Categorías de impacto y áreas de daño en ACV	50
Figura 1.16. Usetox	51
Figura 1.17. Modelo de causa y efecto según el modelo USEtox para las categorías de impacto asociadas a toxicidad	52
Figura 1.18. Algunas bases de datos relevantes para ACV	53
Figura 1.19. Algunos programas de cálculo relevantes para ACV	54

CAPÍTULO 2

Figura 2.1. Sistemas forestales	69
Figura 2.2. Sistemas agroforestales	70
Figura 2.3. Cobertura del suelo en sistemas agroforestales	71
Figura 2.4. Sistema silvopastoril de trópico bajo	73
Figura 2.5. Ganadería integrada a un SSP de trópico bajo	74
Figura 2.6. Sistema silvopastoril con <i>Leucaena</i> (<i>Leucaena leucocephala</i>)	75
Figura 2.7. Estratos en los sistemas silvopastoriles	78
Figura 2.8. Modelo de SSPi con Botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)	81
Figura 2.9. Detalle de un SSPi con Botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)	83
Figura 2.10. Sistemas agrosilvopastoriles en trópico alto	84
Figura 2.11. Composición del sistema agrosilvopastoril intensivo	85

Figura 2.12. Botón de oro (<i>Tithonia diversifolia</i>)	86
Figura 2.13. Semilla de Tilo (<i>Sambucus peruviana</i>)	88
Figura 2.14. Estructuras reproductivas de Tilo (<i>Sambucus peruviana</i>)	89
Figura 2.15. Estacas para reproducción vegetativa de Tilo	90
Figura 2.16. Diseño de cerca viva	91
Figura 2.17. Siembra de plántulas de Tilo (<i>Sambucus peruviana</i>)	92
Figura 2.18. Diseño de seto forrajero	93
Figura 2.19. Establecimiento de bancos forrajero	94

CAPÍTULO 3

Figura 3.1. Número de predios bovinos por departamento 2019	107
Figura 3.2. Sistemas productivos ganaderos de Boyacá	108
Figura 3.3. Criterios para la certificación de BPG	112
Figura 3.4. Requisitos para la certificación de BPG	113

CAPÍTULO 4

Figura 4.1. Mapa de municipios con unidades productivas evaluadas	140
Figura 4.2. Distribución del área	141
Figura 4.3. Forraje y carga animal	143
Figura 4.4. Diagrama de flujos y procesos en una unidad productiva típica	146
Figura 4.5. Cuencas de las unidades productivas asociadas al estudio	151
Figura 4.6. Huella ecológica anual directa	152
Figura 4.7. Huella ecológica anual directa sin secuestro de carbono	153
Figura 4.8. Huella de carbono anual directa	154
Figura 4.9. Huella hídrica directa	155
Figura 4.10. Huellas directas por litro de leche	156
Figura 4.11. Huellas directas por litro de leche	158
Figura 4.12. Comparación de huellas de este estudio con otras fuentes	159
Figura 4.13. Comparación de huellas por litro de leche de seis de las fincas seleccionadas	160



CAPÍTULO



HUELLAS AMBIENTALES



RESUMEN

En el presente capítulo se tratará la historia de las huellas ambientales desde las diferentes comunidades científicas, que han desarrollado metodológicamente el concepto; en segundo lugar, se tratarán los conceptos básicos asociados a los estudios de huella; y, por último, se revisarán las principales metodologías de cálculo. Estas últimas secciones estarán enfocadas en el sector agrícola y pecuario.

INTRODUCCIÓN

Las huellas, como indicadores ambientales, son uno de los conceptos que ha cobrado más fuerza tanto a nivel mediático, como en el desarrollo de metodologías científicas desde hace aproximadamente treinta años. Su principal aporte, es proveer datos cuantificados del impacto sobre el medio ambiente, para poder tomar decisiones que tengan en cuenta, no solamente los impactos de lo que se puede ver, sino también aquellos “escondidos” en los insumos y energía, que no se observa a simple vista. Las huellas son métricas que ayudan a medir el avance en los objetivos de desarrollo sostenible, particularmente en el objetivo doce (12) de producción y consumo sostenible, tanto a nivel de país, como a nivel de organizaciones y personas. El objetivo de este capítulo es presentar un panorama de qué significan las huellas ambientales y cuáles son las principales características a la hora de realizar su cálculo.

Las huellas son métricas que ayudan a medir el avance en los objetivos de desarrollo sostenible, particularmente en el objetivo doce (12) de producción y consumo sostenible, tanto a nivel de país, como a nivel de organizaciones y personas.

1.1 HISTORIA

La primera vez que se utilizó el concepto de “huella”, como una carga ambiental en un análisis de impactos al medio, fue en 1965, en la descripción de una propuesta de un comité de energía del senado estadounidense, que se refería a la “huella ambiental” que personas y edificios causaban en un valle (The New York Times, 2008). Entre las comunidades científicas que utilizan este término, la **comunidad de Análisis de Ciclo de Vida (ACV)** es la más antigua, pero no lo acuñó como parte de su metodología sino hasta mucho después. Los primeros enfoques desde el Análisis de Ciclo de Vida se remontan a 1960 y 1970, y se basaban en análisis de materiales y energía utilizados en el ciclo de vida de producción. Durante los 90 y 2000 se publicaron guías y estándares desde la Sociedad Ambiental de Toxicología Química (SETAC, por sus siglas en inglés), en alianza con la Organización Internacional de Estandarización (ISO) (Guinée et al., 2011). El más importante, es el estándar en Análisis de Ciclo de Vida ISO14040 (ISO, 2006a) y sus documentos asociados. En esta comunidad, y aproximadamente desde los años 2000, se produjeron diferentes estudios que acuñaban el término “huella” en diferentes categorías, como “huella de carbono”, “huella de agua” y “huella de uso del suelo”, entre otras; y la combinación de todas, que es la “huella ambiental”. Las huellas, desde el análisis de ciclo de vida, están enfocadas en productos y servicios, pero también pueden ser calculadas para organizaciones y empresas.



La primera vez que se utilizó el concepto de “huella”, como una carga ambiental en un análisis de impactos al medio, fue en 1965, en la descripción de una propuesta de un comité de energía del senado estadounidense, que se refería a la “huella ambiental”.

Por otro lado, la primera comunidad científica que apropió y desarrolló el término, como una metodología de indicador ambiental, fue la **comunidad de Huella Ecológica (HE)**, que, a principios de los 90, presentó su primera publicación, por William E. Rees y Mathis Wackernagel (Rees, 1992). Esta comunidad fue la pionera en desarrollar un estándar asociado al término y es muy conocida porque su indicador es utilizado en el informe planeta vivo del Fondo Mundial para la Naturaleza WWF (WWF, 2018). La huella ecológica es utilizada principalmente para evaluar el impacto de comunidades de una zona geográfica, por ejemplo, si toda la población del mundo tuviera la huella ecológica de Colombia, utilizaría los recursos disponibles de 1,2 planetas tierras (Global Footprint Network, s. f. -b). También es frecuentemente calculada para personas, a partir de sus datos de consumo de productos y servicios (Global Footprint Network, s. f. -a). La huella ecológica tiene puntos en común con una de las huellas de la comunidad de ciclo de vida, que es la “huella del uso del suelo”, pero no es la misma metodología (Agri-Footprint, s. f.).

De manera paralela, la **comunidad de Huella de Carbono (HC)** se ha desarrollado como una de las más dinámicas y que tiene más vertientes. La huella de carbono puede hacer parte de los indicadores de análisis de ciclo de vida y se usa en el análisis de huella ecológica, pues esta última la tiene en cuenta para calcular su indicador. La huella de carbono para personas y comunidades en zonas geográficas cobra mucha importancia, gracias a la conciencia global sobre los efectos del cambio climático en el planeta tierra y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Sobre este interés pueden resaltarse algunos hitos principales: en 1988, el programa de las Naciones Unidas funda el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) para combatir este problema. Más adelante, el Protocolo de Kyoto, dirigido por las Naciones Unidas en 1998, priorizó seis gases como los mayores aportantes al cambio climático global y se establecieron metas de reducción de sus emisiones a nivel de país. Gracias a este protocolo, se estandarizaron las emisiones de gases de efecto invernadero-GEI y se generaron reportes por países. Mas recientemente, en 2015, se celebró la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático COP21, en París, donde se estableció un marco global de lucha contra el cambio climático, cuyo principal objetivo es reducir el calentamiento global a menos del 1.5 °C (UNFCCC, 2015).

Actualmente existen diferentes estándares de huella de carbono enfocados en organizaciones y productos, que también pueden ser usados para el cálculo de personas y comunidades, al considerar la producción o consumo de bienes y servicios asociados a estos. La comunidad de ACV ha producido estándares, en conjunto con la Organización Internacional de Estándares-ISO, los principales son: ISO14040 (ISO, 2006a) e ISO14067 (ISO, 2018). Otros dos estándares muy importantes son PAS 2050 (BSI, 2011) y el GHG Protocol (Greenhouse Gas Protocol, 2015). El primero es una especificación propuesta por la entidad de normalización británica, que ha sido promovida por la organización Carbon Trust. El segundo es un estándar respaldado por el Consejo Em-

presarial Mundial para el Desarrollo Sostenible (WBCSD) y el Instituto de Recurso Mundiales (WRI). Por último, la IPCC ha generado directrices para los inventarios nacionales de efecto invernadero, los últimos fueron publicados en 2006, que también pueden usarse en el cálculo de productos y servicios (IPCC, 2006). El advenimiento de estos estándares, se hace más importante cuando se trata de calcular las huellas para productos, pues las huellas se prestan para compararlos y se requiere que estas comparaciones se hagan de manera transparente y justa, con reglas claras.

Adicionalmente, gracias a la relevancia del cambio climático en la agenda internacional, la huella de carbono es la única que tiene mecanismos de política pública asociados a su gestión a nivel internacional y nacional. En el caso de Colombia, y como parte de los compromisos adquiridos para la reducción de la huella de carbono del país, se han generado normativas que hacen uso del cálculo de la huella de carbono. Entre las más importantes están la ley 1816 de 2016, que promueve impuestos a emisiones de carbono asociadas a la compra de combustibles específicos: gasolina, queroseno, jet fuel, ACPM, diésel, gas natural (solo si se usa en industria petroquímica) y gas licuado de petróleo (solo si es adquirido por usuarios industriales). El carbón no está grabado por este impuesto. Otras normativas importantes son la ley 1715 de 2014, la ley 1819 de 2016, el decreto 926 de 2017 y la resolución 1447 de agosto de 2018, que promueven plataformas para generar proyectos de mitigación y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero, y que principalmente se basan en el estándar ISO14067. Es de notar que estos proyectos se movilizan con recursos privados, bajo el incentivo de la reducción o exención del impuesto al carbono o con recursos públicos, bajo programas institucionales y nacionales como son las NAMAS (por sus siglas en inglés, significan Acción de Mitigación Nacionalmente Apropiada).



Adicionalmente, gracias a la relevancia del cambio climático en la agenda internacional, la huella de carbono es la única que tiene mecanismos de política pública asociados a su gestión a nivel internacional y nacional.

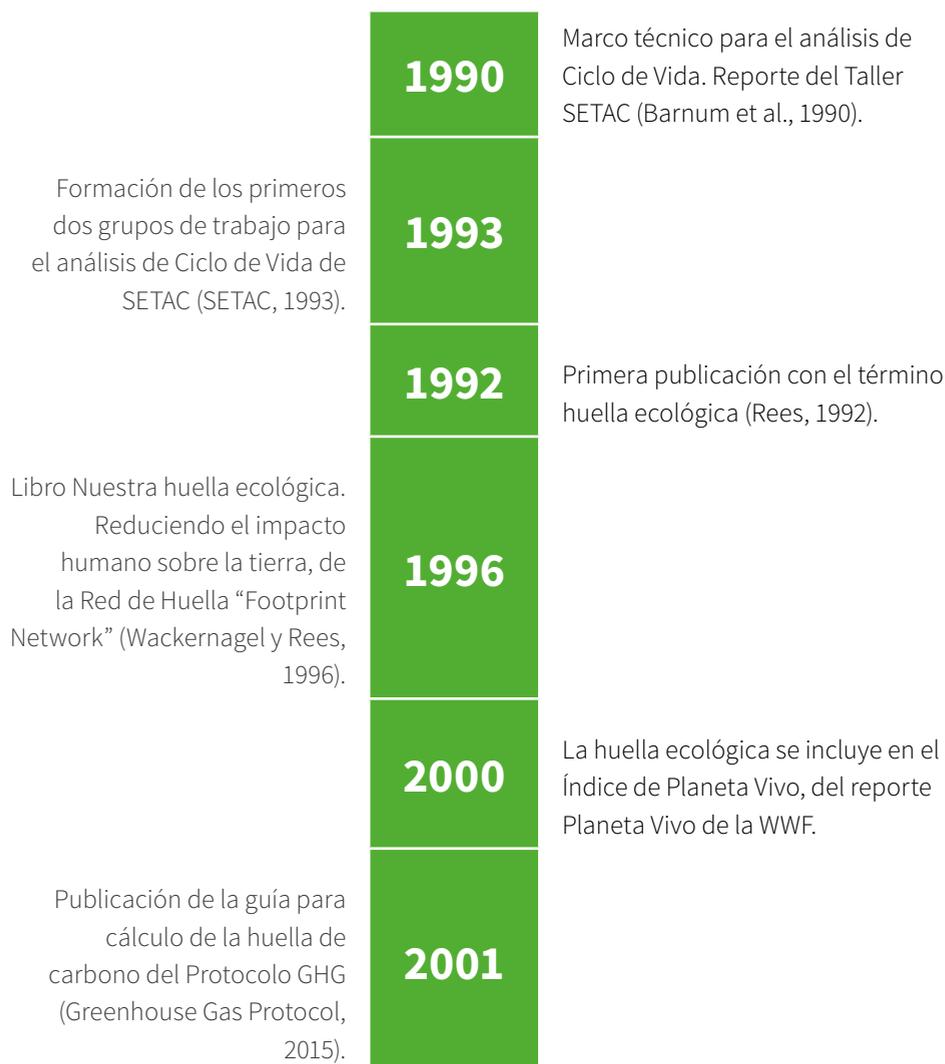
La **comunidad de huella hídrica (HH)** también es una de las más activas internacionalmente. La huella hídrica surgió como concepto desde la comunidad de Gestión Integrada del Recurso Hídrico y se consolidó con su propia metodología y estándar en 2011 (Hoekstra et al., 2011). Actualmente es muy activa en la generación de estudios académicos y diagnósticos técnicos, tanto para productos como para comunidades, especialmente países. En Colombia, se han generado diferentes estudios, incluyendo un Estudio de Huella Hídrica Agrícola Nacional (Arévalo-Uribe, 2012) y la incorporación de indicadores asociados en el Estudio Nacional del Agua desde 2014 (IDEAM, 2014) e (IDEAM, 2019), que evalúan el impacto del uso de agua en comunidades a nivel de departamentos y subzonas hidrográficas.

Por último, la **comunidad de huella de agua (HA)** hace parte de la comunidad de análisis de ciclo de vida. El enfoque de esta es el mismo de los estándares mencionados para aquella; y, adicionalmente, han generado uno propio para huella de agua que es el estándar ISO 14046 (ISO, 2014). Esta comunidad también es muy activa y, particularmente, en Colombia han desarrollado estudios de huella de producto y de empresas, con el apoyo de la cooperación internacional. Es de notar que, la huella de agua, bajo este enfoque, tiene indicadores que son parte del análisis de ciclo de vida.

En Colombia, se han generado diferentes estudios, incluyendo un Estudio de Huella Hídrica Agrícola Nacional (Arévalo-Uribe, 2012) y la incorporación de indicadores asociados en el Estudio Nacional del Agua desde 2014 (IDEAM, 2014) e (IDEAM, 2019), que evalúan el impacto del uso de agua en comunidades a nivel de departamentos y subzonas hidrográficas.

La Figura 1.1 describe los principales hitos asociados a estándares y metodologías técnicas para huellas ambientales a lo largo de la historia, con énfasis en productos y servicios. No se mencionan estándares muy específicos, que están bajo la sombrilla de estándares generales, ni hitos muy importantes asociados a políticas y normas que buscan controlar o promover su gestión, y que ya se han mencionado brevemente para la huella de carbono.

FIGURA 1.1. Línea de tiempo de las huellas ambientales



<p>Lanzamiento de la iniciativa de Ciclo de Vida UNEP/SETAC (UNEP y SETAC, 2007).</p>	<p>2002</p>	<p>Publicación de la base de datos de factores de emisión de la IPCC (IPCC, 2002).</p>
<p>Creación del sitio web de la Red de Huella Global Footprint Network (https://www.footprintnetwork.org/).</p>	<p>2003</p>	
	<p>2006</p>	<p>Directrices para los inventarios nacionales de efecto invernadero del IPCC (IPCC, 2006).</p> <p>Publicación de las ISO 14040 e ISO 14044 Gestión Ambiental – Análisis de ciclo de Vida – Requerimientos y guías (ISO, 2006a).</p>
<p>Creación de la Iniciativa de Ciclo de Vida de la UNEP-SETAC (UNEP-SETAC, 2007).</p> <p>Creación del grupo de Agua para el Análisis de Ciclo de Vida WULCA (WULCA, s. f.).</p>	<p>2007</p>	
	<p>2008</p>	<p>Creación de la Red Internacional de Huella Hídrica Water Footprint Network (WFN, s.f).</p> <p>Creación del estándar PAS 2050 por British Standards BSI (BSI, 2008)</p>

	2009	Lanzamiento del estándar Huella Ecológica (Global Footprint Network, 2009)
Lanzamiento del estándar de la Huella Hídrica de la Red Internacional de Huella Hídrica “Water Footprint Network” (Hoekstra et al., 2011)	2011	Actualización de la norma PAS 2050 (BSI, 2011)
Publicación de la norma ISO14067 Gases de efecto invernadero – Huella de carbono de productos – Requisitos y directrices para cuantificación (ISO, 2018)..	2013	Lanzamiento del piloto en Huella Ambiental de Europa (European Commission, 2013).
Lanzamiento de la norma ISO 14046 de huella de agua (ISO, 2014)..	2014	
	2018	Actualización de la norma ISO14067 (ISO, 2018).

Fuente: elaboración propia.

1.2 CONCEPTOS Y GENERALIDADES

Una huella ambiental es el efecto que una persona, empresa, actividad, etc., tiene en el ambiente natural (Cambridge Dictionary, s. f.). Desde las perspectivas evaluadas históricamente, se podrían identificar dos tipos de huellas:

- Una, que evalúa la **apropiación de recursos naturales** o la capacidad de asimilación de contaminantes del planeta, causados por actividades de los humanos (Hoekstra et al., 2011). En ella, la huella se representa por un número que se mide en unidades del recurso o contaminante, como hectáreas de tierra, metros cúbicos de agua o kilogramos de gas de dióxido de carbono. Cabe mencionar que estos números suelen estar acompañados de análisis más complejos, asociados, por ejemplo, al lugar o momento en donde se genera la apropiación. Este es el enfoque de la huella ecológica, la huella hídrica y, hasta cierto punto, de la huella de carbono.
- En la otra, la huella ambiental es un número o números que **representan un impacto ambiental**. Este es el enfoque del análisis de ciclo de vida, que tiene diferentes categorías o áreas de interés, cada una definida como una huella. Como parte de este enfoque están: la huella de agua; la huella de carbono, cuando se calcula con un enfoque de ciclo de vida, que incluye todos los impactos en la cadena de valor; y otras huellas del análisis de ciclo de vida.

Como se ha descrito a lo largo de estos párrafos y se muestra en la Figura 1.2, las huellas pueden ser calculadas para productos, organizaciones o empresas, y también para personas y para comunidades que estén o no en una zona geográfica, como un país o una región. En este último caso, el cálculo se puede hacer desde dos puntos de vista, desde la producción o desde el consumo de productos y servicios de esas comunidades.

Es importante considerar que las huellas de personas y lugares no son más que las sumas de las huellas de los productos y servicios consumidos o producidos. En las siguientes secciones, las explicaciones se enfocarán en el cálculo de huellas para productos y servicios. Se hará especial hincapié en las consideraciones para el cálculo de huellas en el caso del sector agropecuario.

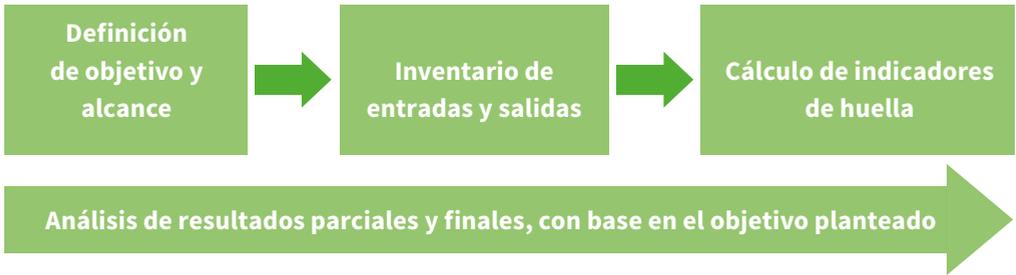
FIGURA 1.2. *Relación entre diferentes enfoques de una huella*



Fuente: elaboración propia adaptada de WFN (Hoekstra et al., 2011).

Para el cálculo de las huellas hay dos tipos de enfoques principales (IPCC, 2014). El primer enfoque es “entrada-salida” o “input-output”. En este enfoque se elaboran tablas de insumo-producto, para describir la estructura económica o interdependencia de diferentes sectores, que son generadas en las cuentas económicas nacionales. Con coeficientes fijos de entrada se pueden formar modelos de entrada-salida, por ejemplo, la actividad económica en todos los sectores, requerida para producir una unidad de demanda final. Este enfoque suele usarse para el cálculo de huellas en hogares, regiones, o países. El segundo enfoque es “de abajo a arriba” o “bottom-up”. Este enfoque es el que considera etapas de un ciclo de vida, las entradas y salidas de cada una, y el que se usa normalmente para calcular las huellas de productos y servicios.

En todo caso, las huellas requieren tres pasos comunes importantes, que se enseñan en la Figura 1.3 y se describen con énfasis en el enfoque de ciclo de vida.

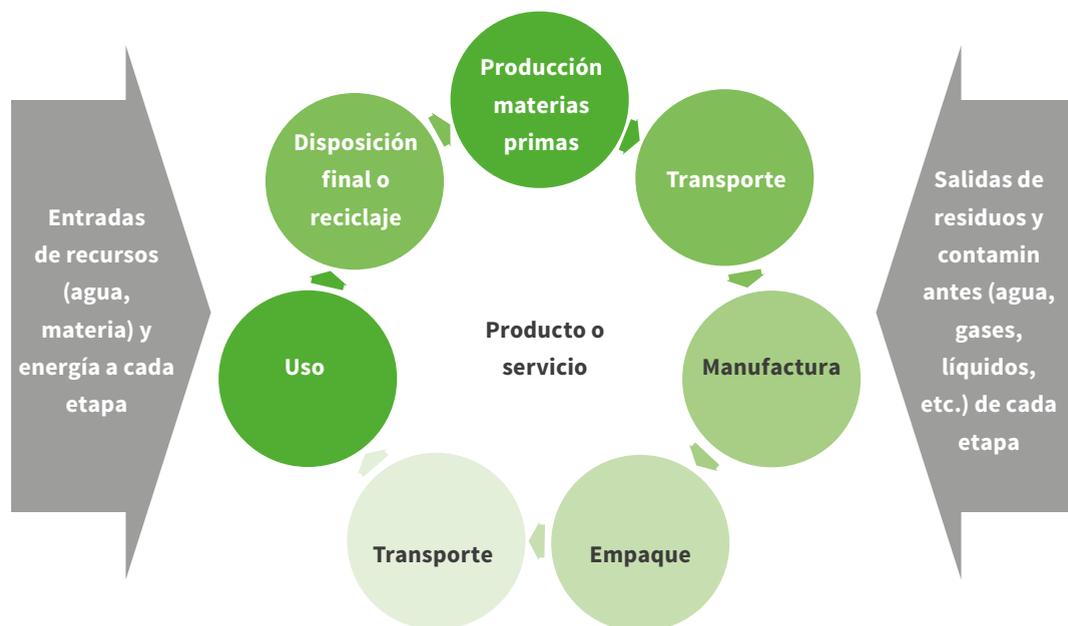
FIGURA 1.3. *Etapas en un estudio de huella*

Fuente: elaboración propia adaptada de ISO 14040:2006 (ISO, 2006a).

El primer paso es **definir el objetivo del estudio** de huella. Los estudios diagnósticos para generar conciencia sobre la afectación a los recursos naturales requieren menos datos primarios y estándares específicos, que aquellos que tengan como objetivo tomar decisiones para priorizar inversiones, cambiar procesos de producción o influenciar decisiones de compra. Estas decisiones pueden manifestarse en reducir los impactos ambientales, comunicar estos impactos a actores de interés, eco diseñar procesos, productos o servicios para hacerlos más sostenibles, o comparar, desde un punto de vista ambiental, los productos y servicios que cumplen la misma función. Dependiendo del objetivo o para qué se quiere la huella, se debe definir el alcance, qué y hasta dónde se va a evaluar.

El segundo paso es hacer **el inventario de entradas y salidas**, considerando el ciclo de vida como se muestra en la Figura 1.4. Independientemente de si se evalúa una etapa del producto o servicio, o todo su ciclo de vida, se debe establecer qué entra y qué sale, respecto a la huella de interés. Por ejemplo, si es carbono, serán las salidas de gases de efecto invernadero, asociados a quema de combustibles u otros procesos que los emiten, como la degradación de residuos orgánicos. Si es agua, deberán ser todas las entradas y salidas de agua, y salidas de contaminantes al agua. Una huella que considera el ciclo de vida, además, deberá tener en cuenta las entradas y salidas asociadas a materias primas, consumos de energía y transporte, y otras entradas y salidas indirectas.

FIGURA 1.4. Diagrama simplificado de los procesos que hacen parte del ciclo de vida de un producto

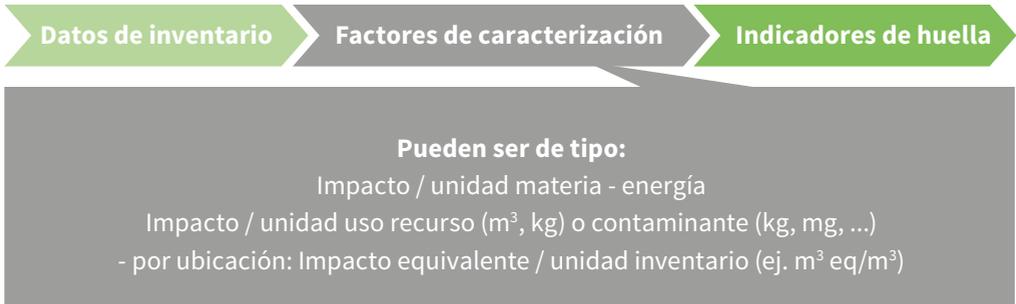


Fuente: elaboración propia adaptada de ISO 14040:2006 (ISO, 2006a).

Un punto importante a considerar es la disponibilidad de información. Normalmente, no se tiene la información primaria de los recursos o la contaminación generada por la producción de materias primas o combustibles; entonces, lo que se incluye en el inventario es la cantidad de estos que se consume; y se utiliza información secundaria de otros estudios o de bases de datos, para saber los recursos y contaminantes asociados a su producción.

El último paso es **calcular la huella**. Algunos indicadores, como el de huella hídrica, utilizan directamente datos de inventario como el consumo de agua, como parte de su indicador de huella. Normalmente, sin embargo, se requiere hacer una multiplicación por un factor de caracterización, que permite obtener el resultado de la huella, tal como se describe en la Figura 1.5. Este factor se suele multiplicar por el consumo del recurso o la cantidad de contaminante generada. Con frecuencia es producto de análisis complejos que consideran modelos científicos y datos empíricos. Sin embargo, usualmente el analista que calcula las huellas recurre a bases de datos para obtener estos factores, que se encuentran tanto para los datos primarios, como para los impactos directamente asociados al consumo de una cantidad de materia prima o energía.

FIGURA 1.5. Procedimiento usual para el cálculo de indicadores de huella



Fuente: elaboración propia.

Finalmente, y durante el proceso, se debe realizar un **análisis de la información** a la luz del objetivo establecido y el alcance que se definió para este.

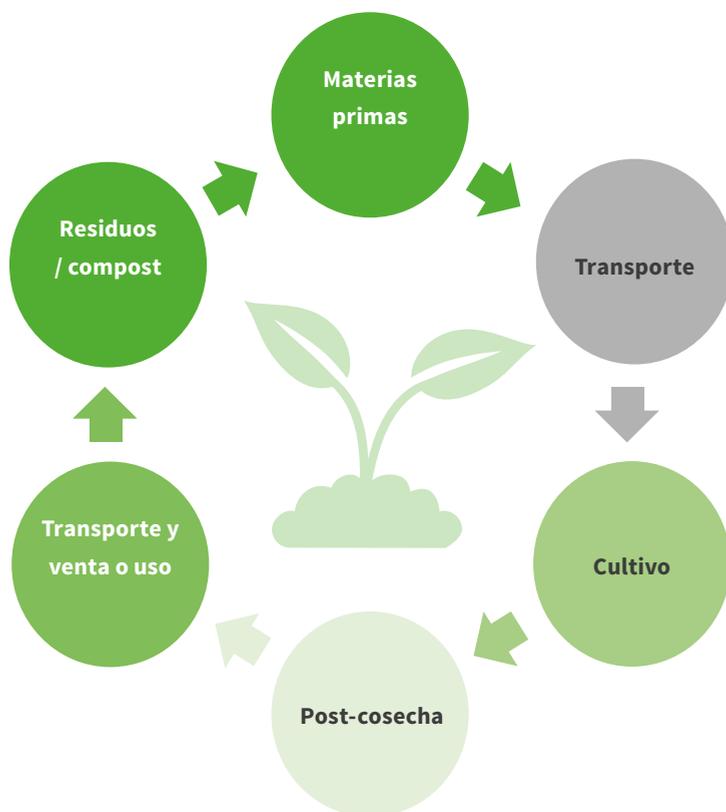
A continuación, se especificarán más a fondo las huellas descritas, con énfasis en su aplicación en el sector agropecuario. Para mayor claridad, se presenta el diagrama del ciclo de vida de dos productos agrícolas importantes, la producción bovina y la producción de cultivos. La suma de todos los procesos asociados a los productos de una finca, podrá vincularse a la huella del proceso productivo. Comúnmente, estos procesos tienen un alcance de la cuna a la puerta, es decir, desde la producción de las materias primas más básicas para los insumos de la finca y sus consumos de combustibles y electricidad, hasta que los productos están listos para su distribución en la puerta de la finca.

En la Figura 1.6 se presenta un ciclo de vida típico para un producto agrícola. Para cada etapa, se requirió recursos o generó emisiones al ambiente en:

- La producción de las materias primas, que suelen ser de fertilizantes, pesticidas, combustibles y energía eléctrica.
- El servicio de transporte de las materias primas o combustibles. En Colombia, usualmente los fertilizantes y pesticidas son importados, y requieren de su transporte a la unidad productiva. También la gasolina o el diésel usado en las fincas lo necesitan para maquinaria agropecuaria.
- En el cultivo, dentro de la unidad productiva se hace uso de recursos como agua y suelo; y se genera emisiones por la quema de combustibles, la lixiviación de fertilizantes y pesticidas, que se escapan como contaminantes al agua, suelo y aire.

- La cosecha suele requerir un tratamiento de postcosecha, que puede requerir agua y generar residuos orgánicos como cáscaras y semillas, entre otros. También puede incluirse la fabricación del empaque utilizado para embalaje.
- El producto agrícola listo debe transportarse hasta el usuario final quien lo consume como alimento o genera desperdicios.
- Los desperdicios tanto del proceso de cultivo como del usuario se disponen usualmente en un relleno sanitario. En menor medida, si son orgánicos se pueden transformar en compost, si son inorgánicos podrían reciclarse para producir, por ejemplo, nuevos empaques de plástico, y así retornar al ciclo.

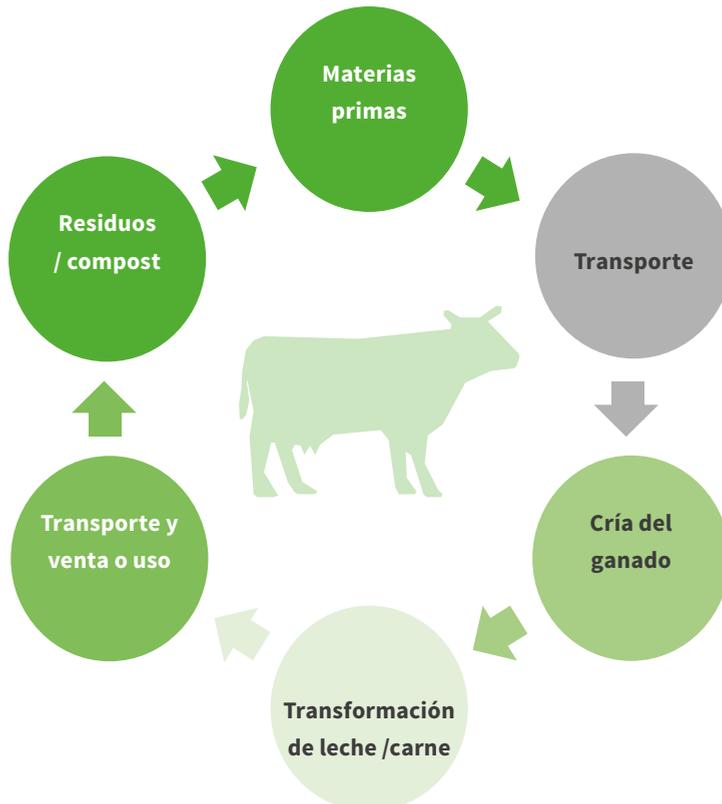
FIGURA 1.6. *Ciclo de vida de un producto agrícola*



Fuente: elaboración propia.

El ciclo de vida típico para los productos pecuarios se describe en la Figura 1.7. Es similar al producto agrícola, pero hay diferencias. En primer lugar, entre las materias primas, se encuentran insumos veterinarios como vitaminas y vacunas, así como suplementos alimentarios, concentrados y otros cultivos, que se usan como alimento para el ganado. En segundo lugar, la cría del ganado utiliza recursos de manera directa, como la tierra que ocupa el ganado y el agua para bebida de los animales y para la limpieza de sus espacios de cuidado y de sus ubres. Se suma la contaminación como las emisiones entéricas de metano desde el estómago del ganado o el nitrógeno, materia orgánica, y bacterias, asociadas a la disposición de su estiércol, que pueden llegar a fuentes hídricas. En tercer lugar, la transformación del ganado en carne o la transformación de la leche en derivados, como queso y yogurt, pueden requerir materias primas y energía, utilizar recursos como agua y suelo, y generar desechos como aguas contaminadas de nutrientes y gases producto de quema de combustibles. Finalmente, los residuos requieren una disposición final. En un proceso ideal, residuos como el estiércol, o subproductos como suero y sangre, son destinados a compostaje o a usos como materias primas de otros procesos productivos.

FIGURA 1.7. *Ciclo de vida de un producto pecuario*



Fuente: elaboración propia.

Es de anotar que, en sistemas agrosilvopastoriles, hay condicionantes que ayudan a mitigar los impactos. Estos condicionantes son, por ejemplo, la protección de las fuentes hídricas, la rotación de cultivos para enriquecer los suelos, sin necesidad de usar fertilizantes inorgánicos, las buenas prácticas pecuarias y agrícolas para aumentar la productividad de terrenos, cultivos y ganado, sin requerir más recursos. Algunos impactos positivos de las prácticas agrosilvopastoriles se escapan a los indicadores de huella, pero pueden ser tratados por medio de otros indicadores cuantitativos y cualitativos, por ejemplo, el bienestar animal.

1.2.1 ASIGNACIÓN

Para calcular la huella de algún producto, como un kilogramo de carne, un litro de leche o una libra de papa, se debe realizar una asignación.

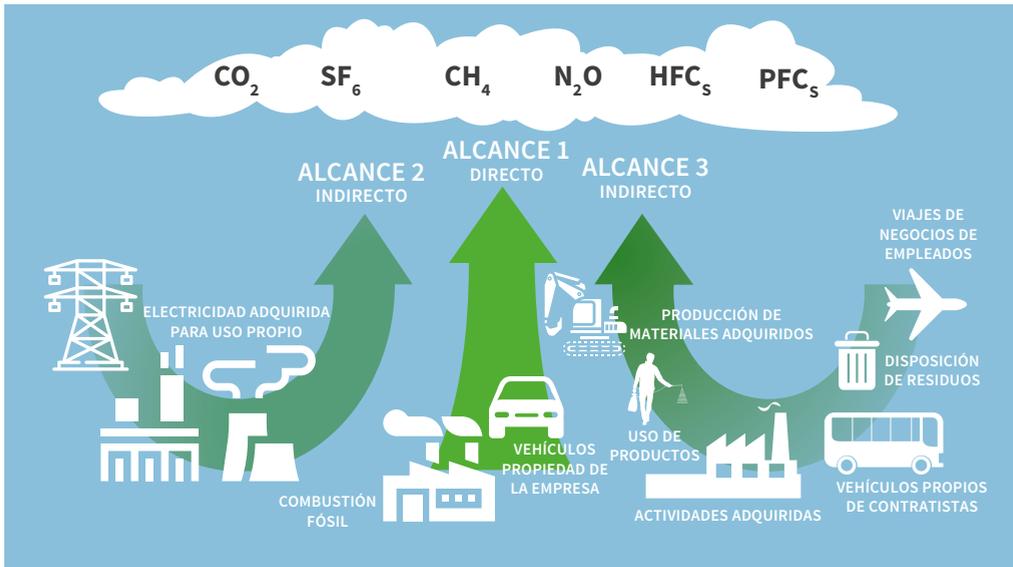
En el caso de un proceso agropecuario, la asignación corresponde al procedimiento mediante el cual los impactos de la unidad productiva, se dividen entre los diferentes productos y subproductos agrícolas y pecuarios generados. La asignación se puede realizar con diferentes criterios, acá se explican los más importantes:

- **Cambio en la frontera y alcance del sistema:** consiste en considerar solo los procesos que se relacionan con el producto de interés. Por ejemplo, si se está evaluando la huella de la carne, no se va a incluir la huella asociada a electricidad para refrigerar leche. Esto no siempre es posible para todos los procesos e insumos.
- **Asignación por propiedad física:** con base en una propiedad física importante, se obtiene una fracción que corresponde al producto de interés. Esta propiedad es usualmente el peso de los productos, pero también puede ser el contenido calórico o de nutrientes. Los flujos de entrada y salida de cada etapa; y, por tanto, los impactos asociados a cada proceso se multiplican por este factor.
- **Asignación económica:** con base en el precio del producto, se obtiene una fracción que se multiplica por los flujos de entrada y salida de cada etapa, y por lo tanto, por sus impactos, para obtener la huella asociada al producto de interés.

1.3 HUELLA DE CARBONO

La huella de carbono se calcula multiplicando cada gas de efecto invernadero emitido, por su potencial de cambio climático, y generando un reporte de “huella de carbono” en kgCO_2e . Hay tres alcances posibles para el análisis, según el protocolo GHG, de huella de carbono para organizaciones, sistema productivo o para una empresa, que se describen en la Figura 1.8. El alcance 1 corresponde a las emisiones directas de GEI, resultantes de las actividades directamente controladas por la organización, como combustión de motores, calderas y hornos, entre otros. El alcance 2 corresponde a las emisiones indirectas, asociadas a la electricidad consumida por la organización para iluminación y equipos, entre otros. Por último, el alcance 3 corresponde al resto de emisiones indirectas, asociadas a la producción de materias primas, viajes, transportes de combustibles y materias primas, y vehículos propios de contratistas.

FIGURA 1.8. Alcances de la huella de carbono para organizaciones



Fuente: tomado del Protocolo GHG (Greenhouse Gas Protocol, 2015).

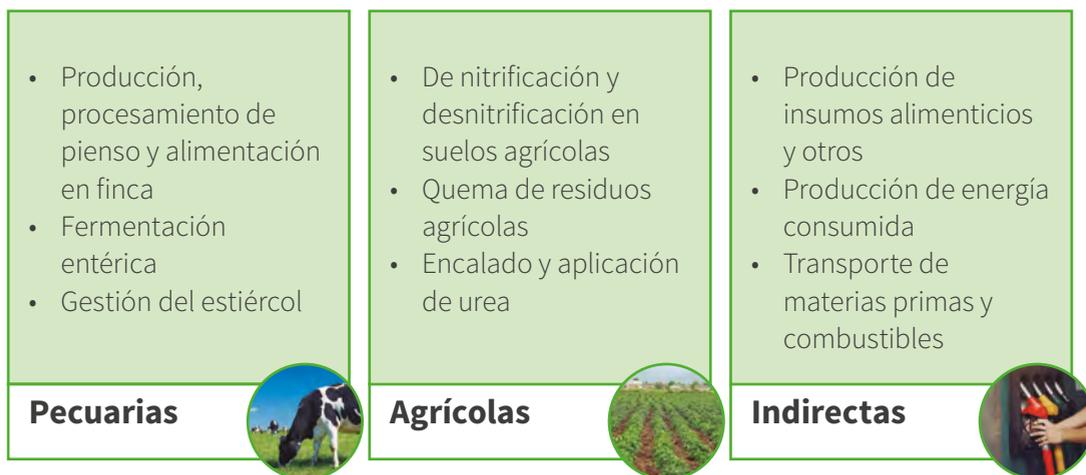
En los estándares de la ISO14064:2006 para organizaciones e ISO14067:2013 de huella de carbono de producto, se distinguen dos tipos de huella de carbono: directa e indirecta. La primera corresponde al alcance 1, emisiones directas. Los alcances 2 y 3 corresponden a las emisiones indirectas.

Las principales fuentes de emisión, según la Secretaría Distrital de Ambiente de Bogotá (2015), Greenhouse Gas Protocol (2015) e ISO 14067:2018 (2018), son:

- Combustión de sustancias en fuentes fijas o móviles; como carbón, diésel, gasolina, keroseno, materia orgánica. La combustión ocurre en equipos como motores, hornos, calderas, turbinas. En el caso de una unidad productiva agropecuaria, corresponde a combustibles por transporte y operación de máquinas, y a prácticas como la quema de residuos a campo abierto.
- Procesos químicos. En el caso de una unidad productiva agropecuaria, para la producción de máquinas o agroquímicos pudo requerirse la manufactura de cemento, aluminio o amoníaco; estos procesos químicos generan GEI.
- Emisiones fugitivas. Resultan de las liberaciones intencionales o no intencionales, en las juntas, sellos o empaques de equipos, emisiones de metano provenientes de minas de carbón, emisiones de hidrofluorocarbonos (HFCs) usados como refrigerantes y fugas de metano en el transporte del gas, entre otros. En una unidad productiva agropecuaria, estas emisiones corresponden a fugas por la aplicación de fertilizantes, tratamiento de residuos líquidos y sólidos, emisiones entéricas desde el ganado o refrigeración de productos.

Las principales fuentes de emisiones en un proceso ganadero y de cultivo, junto con su método de cálculo, se presentan a continuación (FAO, s. f.).

FIGURA 1.9. Principales fuentes de emisiones de GEI en unidades de producción agropecuarias basadas en bovinos



Fuente: elaboración propia adaptada de (Hatfield et al., 2006).

A continuación, se describen las principales fórmulas para el cálculo de las emisiones GEI descritas en la Figura 1.9. Los cálculos presentados en las secciones 1.3.1 y 1.3.2 están basados en las instrucciones de nivel 2 de las Directrices del IPCC de 2006 (Hatfield et al., 2006).

1.3.1 PECUARIAS

1.3.1.1 PRODUCCIÓN, PROCESAMIENTO DE PIENSO Y ALIMENTACIÓN

$$HC_{pienso} = \sum m_i \times HC_i$$

Donde:

- i Alimento, que pueden ser pastos, cultivos para piensos, hojas, hierbas, residuos agrícolas, subproductos agroindustriales y concentrados elaborados en la finca.
- HC_i Huella de carbono de la producción de los alimentos, que puede obtenerse de bases de datos o calcularse con datos primarios, que tienen en cuenta la huella de carbono del cultivo o cultivos que son la base del alimento o pienso.
- m_i Masa de alimento i consumido en el periodo evaluado.

1.3.1.2 FERMENTACIÓN ENTÉRICA

Los herbívoros, particularmente los rumiantes, producen metano como un residuo de la fermentación entérica. Esta les permite obtener carbohidratos, incluso provenientes de celulosa, gracias a microorganismos en su tracto digestivo; pero generan emisiones de metano en el proceso. La cantidad de metano emitida depende del peso del animal, su edad y tipo, así como del tipo de alimento. En la tabla 1.1 se presenta un factor de conversión en metano para calcular estas emisiones, con base en la Ecuación 1.

TABLA 1.1.1. Factor de conversión de la energía en metano para diferentes tipos de ganado

Tipo de ganado	Ym (Factor de conversión en metano)
Vacunos alimentados a corral	3,0 % +/- 1,0 %
Lecheros y su progenie	6,5 % +/- 1,0 %
Otros alimentados con desechos o subproductos agrícolas de baja calidad	6,5 % +/- 1,0 %
Otros en pastoreo	6,5 % +/- 1,0 %

Fuente: elaboración propia basada en Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol (Hatfield et al., 2006).

ECUACIÓN 1. Emisiones entéricas del ganado

$$EF = \left[\frac{GE \times \frac{Ym}{100} \times 365}{55,65} \right]$$

Donde

EF Factor de emisión de metano, en kg/cabeza/año.

GE Ingesta de energía bruta, en M/cabeza/día.

Ym Factor de conversión en metano, porcentaje de la energía bruta del alimento convertida en metano.

55,65 MJ/kh es el contenido de energía del metano.

1.3.1.3 GESTIÓN DEL ESTIÉRCOL

1.3.1.3.1 Emisiones de metano

La emisión de metano por la combinación de estiércol, considerado en este documento la combinación de bosta y orina, se ocasiona por la descomposición bajo condiciones anaeróbicas durante su almacenamiento y tratamiento, particularmente en animales confinados. Se evalúa mediante la Ecuación 2.

ECUACIÓN 2. *Emisiones de metano por la gestión de estiércol*

$$EF_T = (vs_T \times 365) \times \left[B_{ot} \times 0,67 \frac{kg}{m^3} \times \sum_{s,k} \frac{MCF_s}{100} \times MS_{T,S} \right]$$

Donde

- vs_T Sólidos volátiles excretados por día en la categoría de ganado T, en kg materia seca/animal/día. Equivale a la fracción de la dieta consumida que no se digiere.
- 365 Días al año.
- B_{ot} Capacidad máxima de producción de metano del estiércol producido por el ganado de la categoría T, m^3/k .
- 0,67 Factor de conversión de m^3 a kg metano.
- MCF_s Factores de conversión de metano para cada sistema de gestión de estiércol S. Varían entre 0% y 100%, siendo bajo, para procesos expuestos al aire, y máximo, para digestión anaeróbica.
- $MS_{T,S}$ Fracción de estiércol del ganado de categoría T manejado, usando el sistema de gestión de desechos S, adimensional.

1.3.1.3.2 Emisiones de nitrógeno

Al manipular, almacenar o hacer tratamiento al estiércol antes de aplicarlo al suelo o tratarlo de otra manera, se producen emisiones. Pueden ser emisiones directas, por procesos de nitrificación y desnitrificación del contenido de nitrógeno, o indirectas, por pérdidas de nitrógeno volátil en forma de amoníaco y NO_x .

Las **emisiones de N₂O directas** de la gestión de estiércol en kg N₂O/año se calculan mediante la siguiente fórmula:

ECUACIÓN 3. *Emisiones directas de óxido nitroso por gestión de estiércol*

$$N_2O_{D(mm)} = \frac{44}{28} \left[\sum_S \left[\sum_T N_T \times Nex_T \times MS_{T,S} \right] \times EF_{3S} \right]$$

Donde

- N_T Cantidad de cabezas del tipo de ganado.
- Nex_T Promedio anual de excreción de N por cabeza de la especie/categoría T en el país, kg N / animal.
- $MS_{T,S}$ Fracción de excreción total anual de nitrógeno de cada categoría de ganado T que se gestiona en el sistema de gestión de estiércol.
- EF_{3S} Fracción de la excreción para emisiones directas de N₂O del sistema de gestión de estiércol, kg N₂O / kg N en el sistema de gestión de estiércol S.
- 44/28 Conversión de emisiones de N₂O-N a N.

Los factores de emisión para los tipos de gestión son:

TABLA 1.1.2. *Factores de emisión para diferentes tipos de gestión de estiércol*

Sistema	EF ₃ kg N ₂ O-N
Pastura, prado, pradera	Emisiones directas e indirectas // se muestra en emisiones de cultivos
Distribución diaria, el estiércol se aplica a pasturas o cultivos el día siguiente	0
Almacenaje de estiércol en pilas o parvas	0,0005

Sistema	EF ₃ kg N ₂ O-N
Corral de engorde donde se acumula el estiércol	0,02
Líquido o fango, se almacena en tanques o estanques	Con cobertura de costra natural: 0,005 Sin cobertura: 0
Laguna anaeróbica no cubierta	0
Pozos por debajo de lugares de confinamiento animal	0,0002
Digestor anaeróbico	0
Estabulado con cama	Sin mezclado: 0,01 Mezclado activo: 0,07
Fabricación como compost en tambor o pila estática	0,006
Fabricación de compost intensivo en filas	0,1
Fabricación de compost pasivo en filas	0,01
Tratamiento aeróbico de estiércol almacenado como líquido	Con aireación natural: 0,01 Con aireación forzada: 0,005

Fuente: elaboración propia basada en *Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol* (Hatfield et al., 2006).

Las emisiones de N₂O indirectas por la gestión del estiércol se calculan mediante la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 4. Emisiones indirectas de óxido nitroso por gestión de estiércol

$$N_2O_{G(mm)} = (N_{\text{valotización - MMS}} \times EF_4) \times \frac{44}{28}$$

Donde

$N_2O_{G(mm)}$ Emisiones indirectas debido a la volatilización en la gestión estiércol, $kgN_2O / kg N$ en el sistema de gestión de estiércol.

EF_4 Factor de emisión para emisiones de N_2O , debido a la deposición atmosférica de nitrógeno en la superficie del suelo o del agua, $kg N_2O-N / (kg NH_3-N + NO_2-N \text{ volatilizado})$; su valor por defecto es $0,01 kg N_2O-N / (kg NH_3-N + NO_2-N \text{ volatilizado})$.

44/28 Conversión de emisiones de N_2O-N a N .

Los valores por defecto de volatilización son:

TABLA 1.1.3. Porcentajes de volatilización de nitrógeno desde diferentes sistemas de gestión de estiércol

Tipo	Sistema de gestión estiércol	$N_{\text{volatilización - MMS}}$ $kg NH_3-N + NO_2-N \text{ volatilizado (\%)}$
Vacas lecheras	Laguna anaeróbica	35 % (20-80)
	Líquido/ lodo	40 % (15-45)
	Almacenamiento en pozos	28 % (10-40)
	Corral de engorde	20 % (10-35)
	Almacenamiento de sólidos	30 % (10-40)
	Distribución diaria	7 % (5-60)
Otros vacunos	Corral de engorde	30 % (20-50)
	Almacenaje de sólidos	45 % (10-65)
	Cama profunda	30 % (20-40)

Fuente: elaboración propia basada en *Emisiones resultantes de la gestión del ganado y del estiércol* (Hatfield et al., 2006).

También puede haber **emisiones indirectas de nitrógeno que se lixivian**.

El nitrógeno que lixivian del suelo es difícil de estimar, puede estar entre el 3 y el 19 % del N excretado. Las emisiones desde el nitrógeno que se lixivian pueden estimarse bajo la siguiente ecuación:

ECUACIÓN 5. *Emisiones de óxido nitroso desde lixiviados*

$$N_2O_{L(mm)} = (N_{\text{lixiviación} - MMS} \times EF_5) \times \frac{44}{28}$$

Donde

$N_2O_{L(mm)}$ Emisiones indirectas debido a la lixiviación y escurrimiento de la gestión del estiércol del país, kg N_2O /año.

EF_5 Factor de emisión para emisiones de N_2O por lixiviación y escurrimiento de nitrógeno, kg N_2O -N/kg N lixiviado o escurrido; su valor por defecto es 0,0075 kg N_2O -N/kg N.

1.3.2 AGRÍCOLAS

Desde una productiva agrícola, las fórmulas para evaluar las principales emisiones son:

1.3.2.1 EMISIONES DE SUELOS AGRÍCOLAS

A continuación, se presenta el cálculo de emisiones asociadas al contenido de nitrógeno en el suelo, que ingresa por aportes directos y es desnitrificado y nitrificado, generando emisiones de óxido nitroso.

ECUACIÓN 6. *Emisiones GEI desde suelos agrícolas*

$$N_2O_{\text{Direct}} - N = N_2O - N_{N \text{ inputs}} + N_2ON_{OS} + N_2O - N_{PRP}$$

Donde

$N_2O_{\text{Direct}} - N$ Emisiones anuales directas producidas en los suelos agrícolas.

$N_2O - N_{N \text{ inputs}}$ Emisiones directas anuales de los aportes de N a los suelos agrícolas.

N_2O-N_{OS}	Emisiones directas anuales procedentes de los suelos orgánicos.
N_2O-N_{PRP}	Emisiones anuales directas procedentes de estiércol a los suelos de pastoreo.

1.3.2.2 EMISIONES DE QUEMA DE RESIDUOS AGRÍCOLAS

Los residuos agrícolas como hojas y desechos de cosecha, entre otros, pueden ser quemados como parte del proceso convencional de cultivo. Las emisiones debido a esta quema se calculan como se presenta a continuación:

ECUACIÓN 7. *Emisiones de GEI por quema de residuos agrícolas*

$$L_{fire} = A \times MB \times C_f \times C_{ef} \times 10^{-3}$$

Donde

L_{fire}	Emisiones de GEI del fuego, toneladas de cada GEI.
A	Área quemada en ha.
MB	Masa de combustible disponible para la combustión, ton/ha (hojarasca, madera muerta).
C_f	Factor de combustión, adimensional.
G_{ef}	Factor de emisión, g / kg materia seca quemada.

1.3.2.3 ENCALADO Y APLICACIÓN DE UREA

La urea tiene un alto contenido de nitrógeno y se utiliza como fertilizante. Por otro lado, la cal se utiliza para modificar la acidez del suelo, pues al ser un carbonato de calcio o de calcio manganeso, reacciona con el agua liberando iones básicos y CO_2 . Tanto el encalado como la urea generan reacciones químicas en el suelo que emiten GEI.

ECUACIÓN 8. *Emisiones de GEI por encalado y aplicación de urea*

$$CO_2 - C_{emisión} = M \times EF_{cal/urea}$$

Donde

M	Cantidad anual de cal/urea aplicada t/año.
EF	Factor de emisión tCO ₂ -C/tonelada de cal o urea.

1.3.2.4 USO Y TRANSFORMACIÓN DEL SUELO

Los suelos, la biomasa viva y la materia orgánica muerta tienen contenido de carbono. Diferentes ecosistemas y usos del suelo tienen diferentes contenidos de carbono; y, por tanto, al cambiar el uso del suelo o transformar un ecosistema natural para su uso en agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra, se genera un cambio en el stock de carbono, que puede asociarse a emisiones de GEI. Para calcular las emisiones de GEI por uso y transformación de suelo, se deben evaluar los cambios en las existencias de carbono para cada estrato de una categoría de uso de tierra y sumarlas todas.

ECUACIÓN 9. *Cálculo de cambio en las existencias de carbono por uso y transformación del suelo*

$$\Delta C_{Lui} = \Delta C_{AB} + \Delta C_{BB} + \Delta C_{DW} + \Delta C_{LI} + \Delta C_{SO} + \Delta C_{HWP}$$

Donde los subíndices se refieren a:

LUI	Cambios en las existencias de carbono para un estrato de una categoría de uso de la tierra.
AB	Biomasa aérea.
BB	Biomasa subterránea.
LI	Hojarasca.
SO	Suelos.
PMR	Productos de madera recolectada.

1.3.3 INDIRECTAS

1.3.3.1 INSUMOS EXTERNOS A LA FINCA

Su huella se calcula de manera similar a como se describe para el pienso y la alimentación producidos en finca.

1.3.3.2 ENERGÍA EN LA UNIDAD PRODUCTIVA

Su huella corresponde a lo descrito en la Ecuación 10.

ECUACIÓN 10. *Emisiones de GEI por uso de combustibles y electricidad*

$$HC_{energía} = v_j \times HC_{combustible,j} + C_{el} \times HC_{el}$$

Donde

v_j	Cantidad anual de combustible j.
$HC_{combustible,j}$	Factor de emisión de combustible.
C_{el}	Consumo anual de electricidad.
HC_{el}	Factor de emisión de la electricidad.

1.3.4 ÍNDICES DE POTENCIAL DE CALENTAMIENTO GLOBAL (GWP)

FIGURA 1.10. *Base de datos de la IPCC*



Las emisiones de gases de efecto invernadero GEI como metano CH_4 y óxido de nitrógeno N_2O , se convierten a emisiones equivalentes de CO_2 con los índices de potencial de calentamiento de la IPCC o GWP por sus siglas en inglés (IPCC, 2002)(UNFCCC, s. f.).

El GWP puede ser calculado para periodos de 20, 100 o 500 años, y se basa en la cantidad de energía absorbida en ese periodo de tiempo (EPA, s. f.). El índice normalmente usado es GWP 100. El GWP para este periodo es 298 para N_2O . Esto equivale a decir

que la emisión de una (1) tonelada de dióxido nitroso equivale a la emisión de 298 toneladas de dióxido de carbono. Este factor es calculado mediante modelos de causa y efecto, que considera propiedades de la molécula de gas, como la absorción de la molécula de radiación infrarroja, la ubicación del espectro de absorción de las longitudes de onda y la vida media en la atmósfera. Considera el CO_2 como el gas de referencia debido a que es el principal gas presente en la atmósfera responsable del efecto invernadero y a que tiene una alta vida media en la atmósfera, que puede llegar a miles de años. En Análisis de Ciclo de Vida, el GWP se considera un factor de caracterización para llegar a un indicador de punto medio, que es $\text{kg CO}_2\text{-eq}$.

1.4 HUELLA HÍDRICA

La huella hídrica es un indicador del uso de agua dulce para usos antrópicos. Al presentar un resultado de huella hídrica, debe especificarse el momento y el lugar donde ocurre el uso del agua. El valor numérico de la huella hídrica equivale a la suma de tres tipos, según la Figura 1.11.

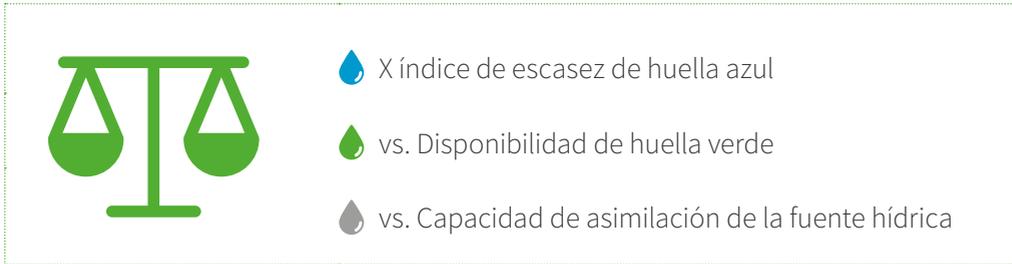
FIGURA 1.11. Evaluación de la huella hídrica



Fuente: elaboración propia con información del Manual de evaluación de la huella hídrica (Hoekstra et al., 2011).

Adicionalmente, puede realizarse un análisis de sostenibilidad de la huella hídrica, que se resume en la Figura 1.12.

FIGURA 1.12. *Análisis de la sostenibilidad de la huella hídrica*



Fuente: elaboración propia con información del Manual de evaluación de la huella hídrica (Hoekstra et al., 2011).

Para hacer este análisis, la huella azul se multiplica por el índice de escasez de huella azul, esto determina si la huella ocurre en un sitio con escasez de agua para otros usuarios o para los ecosistemas. La huella verde se compara con la disponibilidad de huella verde, que se evalúa según el uso del suelo y, por tanto, el agua lluvia que debería dedicarse a zonas naturales. Por último, la huella gris se compara con la capacidad de asimilación que tiene la fuente receptora del vertimiento; para tal, se tienen en cuenta todos los vertimientos en el tramo relevante.

1.5 HUELLA ECOLÓGICA

La huella ecológica es el área de tierra y agua, biológicamente productiva, que se requiere para producir los recursos que se consumen y absorber los residuos generados por consumo de combustibles.

Este indicador tiene diferentes estándares disponibles, tanto para generalidades, como para cálculos en poblaciones subnacionales, productos, organizaciones, y comunicación. En esta sección nos enfocaremos en productos.

Para un producto, la huella ecológica se define como la suma integrada en el tiempo de la ocupación directa e indirecta de la tierra, esta última asociada a las emisiones de CO₂ y el uso de energía nuclear.

ECUACIÓN 11. Componentes de la huella ecológica

$$HE = HE_{directa} + HE_{indirecta}$$

Los usos directos de la tierra son aquellos relacionados con cinco tipos: construcciones, cultivos forestales, cultivos agrícolas, pastos y áreas de hidrogenación.

ECUACIÓN 12. Huella ecológica y usos de suelo asociados

$$HE_{directa} = \sum A_a \times EqF_a$$

Donde

A_a Área de ocupación por tipo de uso del suelo.

EqF_a Factor de equivalencia del tipo de uso del suelo.

Los factores de equivalencia dependen del tipo de uso del suelo y están establecidos a continuación (Wackernagel et al., 1996. La equivalencia se hace con la unidad de área, que sería equivalente a la productividad promedio de toda el área bio productiva del planeta, como se muestra en la Tabla 1.1.4.

TABLA 1.1.4. Factores de equivalencia de huella ecológica para diferentes tipos de uso del suelo

Parámetro EqF_a (m ²)	Valor
Cultivos forestales EqF_f	1.4
Área construida EqF_b	2.2
Cultivos agrícolas primarios EqF_c	2.2
Área de hidrogenación EqF_h	1.0
Pastos EqF_p	0.5
Área marina EqF_p	0.4
Fracción absorbida por el océano de $CO_2 F_{CO_2}$	0.3
Secuestro o almacenamiento de $CO_2 S_{CO_2}$	0.4 kg CO_2 m ⁻² año ⁻¹
Intensidad de emisiones de CO_2 de combustibles fósiles I_{CO_2}	0.07 kg CO_2 MJ ⁻¹

Fuente: elaboración propia con base en Estándares de huella ecológica (Global Footprint Network, 2009).

A continuación, se presentan las diferentes actividades humanas que se asocian a los factores de equivalencia antes descritos.

FIGURA 1.13. Relaciones uso de recurso y causa en huella ecológica

Huella de carbono	-	Es comparado con qué tan rápido la naturaleza puede absorber residuos o generar nuevos recursos	→	Energía	
Área construida	-		→	Edificaciones	
Cultivos forestales	-		→	Madera y papel	
Cultivos agrícolas y pastos	-		→	Comida y fibras	
Pescaderías	-		→	Alimentos del mar	

Fuente: elaboración propia adaptada de Estándares de huella ecológica (Global Footprint Network, 2009).

1.6 HUELLAS SEGÚN EL ENFOQUE DE ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA

El enfoque de análisis de ciclo de vida es una metodología que considera las relaciones de causa y efecto en diferentes categorías de impacto, según se muestra en la Figura 1.14.

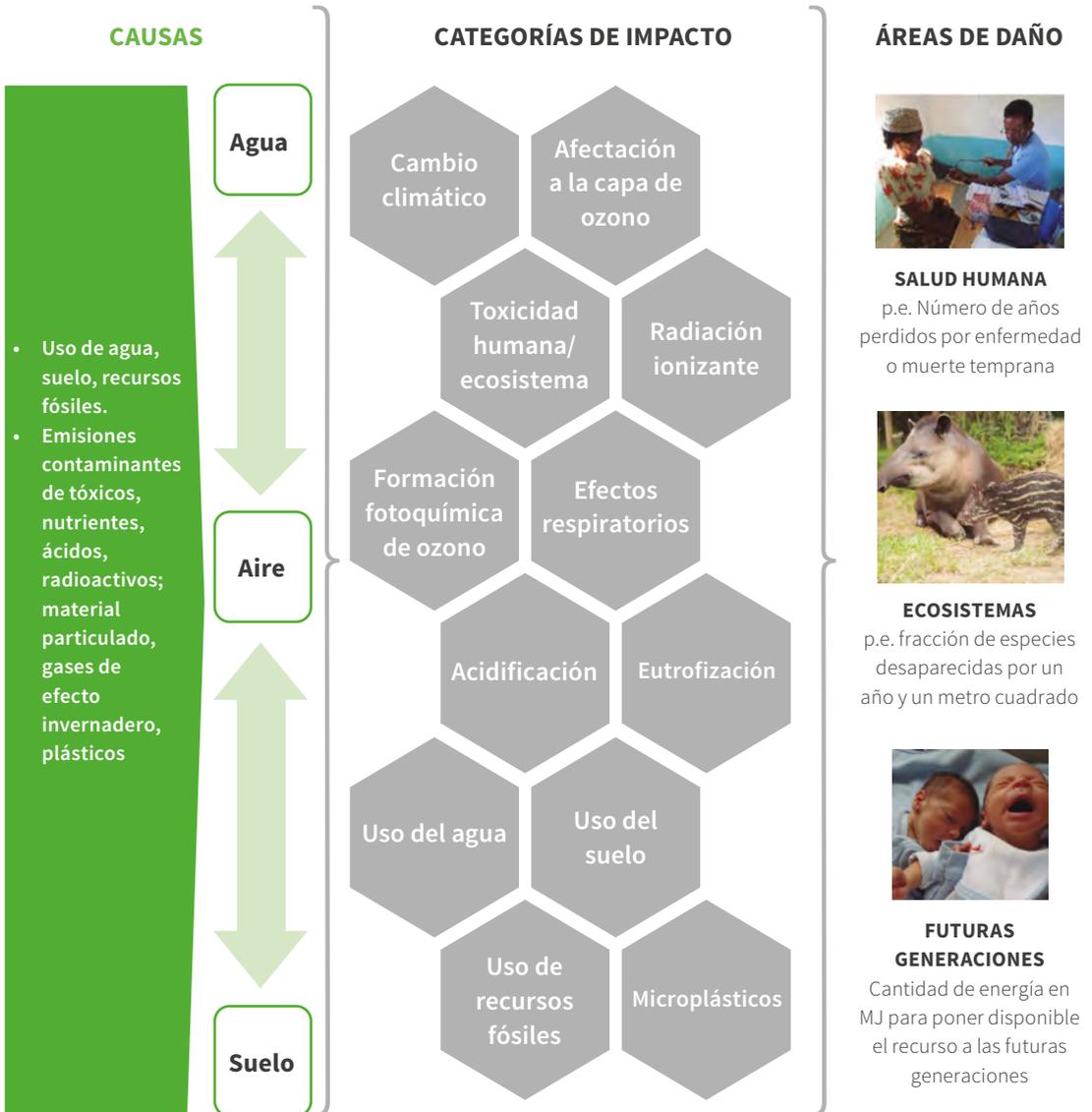
FIGURA 1.14. Modelo de causa y efecto

Fuente: elaboración propia a partir de datos (UNEP-SETAC, 2007).

Las categorías de impacto son los diferentes tipos de impacto, normalmente se asocian a un solo tipo de contaminante o uso de recursos. Se busca que cada categoría sea independiente, en el sentido de que no se mida dos veces el mismo impacto, es decir, que se incurra en doble contabilidad. Las áreas de daño son las afectaciones finales, causadas por cada categoría de impacto, las más usadas son las afectaciones a la salud humana, afectaciones a los ecosistemas y afectaciones a los recursos de

las futuras generaciones. En la Figura 1.15 se presentan las principales categorías de impacto y algunos de los indicadores de daño más usados.

FIGURA 1.15. Categorías de impacto y áreas de daño en ACV



Fuente: elaboración propia adaptada con modificaciones de ISO 14040:2006 (ISO, 2006a).

Los indicadores de punto final o de punto medio se puede **normalizar**, es decir, multiplicar por un factor de equivalencia según su importancia u otros criterios, y sumar para obtener un valor de impacto único final. Sin embargo, los indicadores normalizados tienen altas incertidumbres.

Cada categoría, se relaciona con una o varias cadenas de causa y efecto que terminan generando un daño, que puede ser a la salud humana, a la salud de los ecosistemas o a los recursos de las futuras generaciones. A lo largo de esta cadena, los impactos pueden presentarse en unidades de “punto medio” o de “punto final”, en la Figura 1.15 se muestran algunas de estas unidades de daño o punto final, pero existen varias posibles.

Los modelos de causa y efecto son complejos y tienen en cuenta las propiedades fisicoquímicas de los contaminantes, en los diferentes compartimientos del ambiente, agua, aire o suelo, así como el nivel de exposición de personas y animales, ya sea a través del agua o de alimentos que entran en contacto con estos.

En este sentido, no podemos entrar al detalle de todas las metodologías. Sin embargo, para una persona que aplica los métodos, el proceso suele ser más sencillo, ya que las metodologías se construyen de tal manera que se obtienen “factores de caracterización”, para hacer el cálculo como se describe en la Figura 1.5. Procedimiento usual para el cálculo de indicadores de huella. En este sentido, hay dos herramientas para el análisis de ciclo de vida que vale la pena detallar: las bases de datos, tanto para usos indirectos (materias primas, energías o procesos externos), como para los factores de impacto para emisiones directas, y los programas de cálculo.

1.6.1 BASES DE DATOS

1.6.1.1 BASES DE DATOS DE FACTORES DE IMPACTO DIRECTOS

Cada metodología de causa efecto, en una categoría de impacto, suele estar acompañada de una base de datos de los impactos asociados a diferentes sustancias. Para la categoría de impacto “cambio climático”, una de las bases de datos más importantes es la descrita en la Figura 1.10. Base de datos de la IPCC. Sin embargo, la IPCC solo permite llegar a la unidad “kg CO₂ eq”, que no es como tal un daño y por tanto se considera un indicador de punto medio.

FIGURA 1.16. *Usetox*

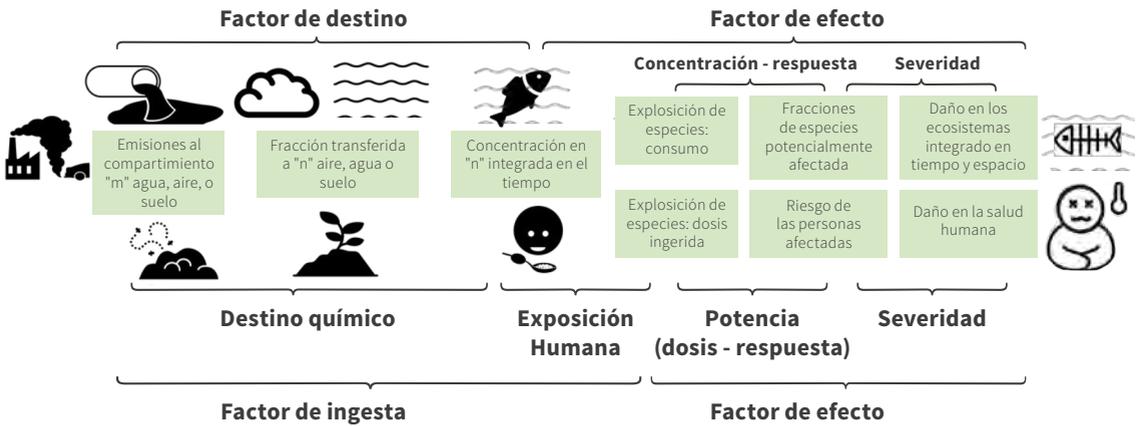


<https://usetox.org/>

Para las emisiones de contaminantes tóxicos, uno de los modelos más aceptados, porque es consensuado por diferentes científicos, es el modelo USETOX. Este modelo tiene una base de datos para sustancias orgánicas, como pesticidas o hidrocarburos, e inorgánicas, como metales pesados. En la Figura 1.17 se presenta cuál es el modelo de causa y efecto, según USEtox, para las emisiones contaminantes tóxicas, que causan

daños en las categorías de toxicidad humana y toxicidad a ecosistemas. Cada modelo de impacto debe identificar este tipo de caminos y modelarlos de manera matemática, a partir de datos empíricos, físico-químicos y estadísticos, para obtener los factores de caracterización de punto medio o final específicos.

FIGURA 1.17. Modelo de causa y efecto según el modelo USEtox para las categorías de impacto asociadas a toxicidad



Fuente: elaboración propia adaptada de (Jolliet et al., 2003). Íconos tomados de los sitios The Noun Project, Free onlinewebfonts.com y Freepikcompany.

1.6.1.2 BASES DE DATOS PARA IMPACTOS INDIRECTOS

Es muy difícil contar con un inventario de los usos de recursos o contaminantes asociados a los impactos indirectos, es decir, a la producción de materias primas, combustibles y energía usadas por el proceso evaluado, pero que no están bajo su control. Cuando esto pasa, se recurre a otros estudios ya realizados, o a bases de datos, que compilan información de estos estudios. Estas bases de datos permiten evaluar el inventario de impactos indirectos. Para seleccionar un set de datos adecuado, es importante considerar el tipo de tecnología utilizado en el producto o servicio de interés y el origen o lugar donde se produjo o generó. Es muy común que las bases de datos no tengan sets obtenidos con información de países en Latinoamérica, sino a partir de países europeos o industrializados. Por lo general, para productos industriales, la principal variable que determina los impactos es el tipo de tecnología. Aun así, es necesario tener en cuenta que los datos vienen de latitudes diferentes a la hora de interpretar los resultados. Las diferencias que pueden presentarse son mucho más grandes en procesos agropecuarios, que están muy influenciados por factores locales de clima y

ecosistemas, por lo tanto, en este caso hay que extremar el cuidado al interpretar los resultados obtenidos usando estas bases de datos. Otra opción posible, es ajustar los datos a partir de estimaciones con información local. Por ejemplo, el valor el agua usada para irrigación en un cultivo se puede hacer más cercano a la realidad local, a partir de estimaciones con datos locales del clima con modelos como CROPWAT.

En la Figura 1.18 se presentan algunas de las bases de datos más relevantes para el cálculo de las huellas ambientales, tanto de información abierta como de pagada.

FIGURA 1.18. *Algunas bases de datos relevantes para ACV*



Fuente: elaboración propia con logos de empresas propietarias de las bases de datos.

1.6.1.3 SOFTWARE DE CÁLCULO

Aunque para el analista los cálculos de huella hídrica impliquen principalmente sumas y multiplicaciones, aún estos cálculos pueden ser muy complejos cuando se evalúan sistemas que combinan muchos procesos, entradas y salidas. Afortunadamente, existen diferentes programas de cálculo que facilitan el cálculo tanto del inventario como de los resultados de impacto. En la Figura 1.19 se presentan algunos de los programas más importantes usados; de estos, solo Open LCA y Excel son de fácil acceso o de licencia abierta.

FIGURA 1.19. Algunos programas de cálculo relevantes para ACV



Fuente: elaboración propia con logos de empresas propietarias de software ACV.

1.6.2 MARCOS METODOLÓGICOS

No existe una sola metodología establecida para hacer análisis de ciclo de vida. Sin embargo, existen diferentes marcos metodológicos, que son set de indicadores escogidos. Algunos de estos marcos coinciden en indicadores y metodologías, pero pueden usar unidades diferentes. Otros usan metodologías completamente diferentes entre sí. Estos marcos metodológicos suelen ser creados por organizaciones de prestigio como universidades, consorcios empresariales o iniciativas gubernamentales. Los marcos metodológicos muchas veces tienen diferentes versiones, y entre las mismas versiones de un mismo marco metodológico, pueden variar los indicadores o las versiones de las bases de datos asociados a estos. A continuación, se describen algunos de los marcos metodológicos más utilizados, haciendo énfasis en la Huella Ambiental de Producto de la Unión Europea o PEF por su relevancia como piloto de política pública.

- **ReCiPe / ReCiPe 2016**

Es una metodología orientada a indicadores de daño o de punto final (Goedkoop et al., 2008). ReCiPe tiene 18 indicadores de punto medio y tres de punto final. Fue desarrollado en 2008 por una colaboración del RIVM, la universidad Rabdoud Nijmegen, la universidad Leiden y la empresa consultora Pré Consultants (Huijbregts et al, 2016).

- **ILCD2011**

Por sus siglas en inglés, International Reference Life Cycle Data System. Fue una iniciativa de la Unión Europea y su plataforma en Análisis de Ciclo de Vida, que buscaba facilitar y operacionalizar la aplicación de las ISO14040 y 14044. Estuvo vigente desde 2006 hasta 2018, pero sus metodologías siguen siendo usadas por practicantes de huellas ambientales (European Commission et al., 2012).

- **CML 2016 / CML2012 / CML 2007 / CML 2001**

Promovido por el Center of Environmental Science, Leiden University, the Netherlands (Centrum voor Milieukunde Leiden: CML), publicado por primera vez en 1003. Sus indicadores son de punto medio, se relacionan con las primeras etapas de las cadenas de causa y efecto (CML,2016).

- **IMPACT WORLD+ / IMPACT2002+**

Es un marco metodológico que combina indicadores de punto medio y de daño o punto final. incluye 14 categorías de impacto. Es promocionado por empresas de consultoría en ACV, la universidad de Michigan y el Centro de Investigación en ACV CIRAIG (Humbert et al, 2012) y (Bulle et al, 2019).

- **TRACI2.0**

Eco-Indicador 95 /Eco-indicador 99

Es una metodología orientada a indicadores de daño o de punto final (Goedkoop and Spruiensma, 2001).

- **Huella ambiental PEF**

El marco metodológico de huella ambiental surge como una iniciativa gubernamental dentro del proyecto de Mercado Único para Productos Verdes de la Unión Europea en 2013. Hasta 2018 se llevó a cabo un piloto de huella ambiental, donde se testearon y mejoraron las metodologías para productos de sectores escogidos. Adicionalmente, se crearon Reglas de Categoría de Producto para los pilotos, que son documentos mucho más específicos respecto a lo que se debe y no tener en cuenta, a la hora de evaluar la huella ambiental bajo esta metodología. También se creó una guía para establecer Reglas de Categoría de Producto en nuevos productos. Actualmente el proyecto se encuentra en fase de transición; a mediano plazo se espera implementar como un estándar para comunicar la huella ambiental de productos en el mercado

Europeo; y potencialmente como herramienta de comparación y regulación desde el sector público.

1.6.3 EVALUACIÓN DE HUELLA AMBIENTAL DE PRODUCTO PEF DE LA UNIÓN EUROPEA

A continuación, se describen las metodologías, unidades y categorías de impacto asociadas al marco metodológico de la huella ambiental del a UE.

TABLA 1.1.5. *Categorías de impacto, metodologías e indicadores de punto medio, usados en el cálculo de un perfil de huella ambiental PEF*

Categoría de impacto	Indicador(es)	Metodología asociada	Unidad(es)
Cambio climático	Fuerza radioactiva como Potencial de Cambio Climático (GWP100)	IPCC, modelo de línea base, basado en 100 años (IPCC 2013)	Kg CO ₂ eq
Cambio climático biogénico			
Cambio climático por uso y transformación del suelo			
Afectación a la capa de ozono	Potencial de afectación a la capa de ozono (ODP)	OPD de estado estable de 1999 como en la evaluación de la OMS (WMO)	Kg CFC-11eq
Toxicidad a humanos, cancerígena	Unidad Comparativa Toxicológica para humanos	Modelo USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUh
Toxicidad a humanos, no cancerígena	Unidad Comparativa Toxicológica para humanos	Modelo USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUh
Material particulado, afectaciones respiratorias	Impacto en la salud humana	Modelo recomendado por la UNEP (Fantke et al., 2006)	Incidencia de enfermedades

Categoría de impacto	Indicador(es)	Metodología asociada	Unidad(es)
Radiación ionizante, salud humana	Eficiencia de exposición a humanos relativa a Uranio U ²³⁵	Modelos de efectos en la salud humana desarrollados por Dreicer et al., 1995 (Frieschknecht et al., 2000)	kgBq U ²³⁵ eq
Formación fotoquímica de ozono, salud humana	Incremento en la concentración de ozono troposférico	Modelo LOTOS-EUROS (Van Zelm et al., 2008) como se implementa en ReCiPe	Kg NMVOC _{eq}
Acidificación	Excedencia acumulada (EA)	Excedencia acumulada (Seppälä et al., 2006; Posch et al., 2008)	Mol H ⁺ eq
Eutrofización terrestre	Excedencia acumulada (EA)	Excedencia acumulada (Seppälä et al., 2006; Posch et al., 2008)	Mol Neq
Eutrofización de agua dulce	Fracción de nutrientes que alcanzan el compartimiento ambiental de agua dulce	Kg Peq	Modelo EUROTREND (Struijs et al., 2009) como está implementado en ReCiPe
Eutrofización marina	Fracción de nutrientes que alcanzan el compartimiento ambiental del mar	Kg Neq	Modelo EUROTREND (Struijs et al., 2009) como está implementado en ReCiPe
Ecotoxicidad al agua dulce	Unidades Tóxicas Comparativas para ecosistemas	Modelo USEtox (Rosenbaum et al., 2008)	CTUe

Categoría de impacto	Indicador(es)	Metodología asociada	Unidad(es)
Uso del suelo	<ul style="list-style-type: none"> - Índice de calidad del suelo - Producción biótica - Resistencia a la erosión - Filtración mecánica - Agua subterránea - Reposición de agua subterránea 	<ul style="list-style-type: none"> - Índice de Calidad del suelo basado en LANCA (EC-JRC) - LANCA (Beck et al., 2010) 	<ul style="list-style-type: none"> - Adimensional (pt) - Producción biótica (kg) - kg suelo - m³ de agua - m³ de agua subterránea
Uso de agua	Potencial de privación a usuarios (consumo de agua ponderado por el potencial de privación)	m ³ mundo _{eq}	Agua Remanente Disponible (Available Water REMaining AWARE) (Boulay et al., 2016)
Uso de recursos, minerales y metales	Agotamiento de recursos abióticos (ADP últimas reservas)	Kg Sb _{eq}	CML 2002 (Guinée et al., 2002; Van Oers et al., 2002)
Uso de recursos, fósiles	Agotamiento de recursos abióticos (ADP recursos fósiles)	MJ	CML 2002 (Guinée et al., 2002; Van Oers et al., 2002)

Fuente: elaboración propia basada en Los pilotos de la huella ambiental (European Commission, 2013).

CONCLUSIONES

Las huellas ambientales son una manera de evaluar el uso de un recurso o generación de emisiones, y el impacto que esto genera en el ambiente. El desarrollo científico asociado a las huellas ha sido más activo desde los últimos 30 años; y, en la última década, se han generado estándares de uso global que han facilitado su difusión y uso por comunidades científicas y su práctica internacional.

Las huellas ambientales más reconocidas son: la huella de carbono, la huella ecológica, la huella hídrica y la huella ambiental. Desde la comunidad de Análisis de Ciclo de Vida se maneja la huella ambiental integral, que tiene diversas categorías de impacto o “huellas” asociadas.

Todas estas huellas se pueden calcular de manera complementaria para un mismo proceso o producto, pero es importante considerar que algunas miden el mismo impacto a la hora de interpretar los resultados. Este es el caso de la huella ecológica asociada al secuestro de carbono y la huella de carbono.

La huella de carbono es la más relevante en tanto a interés político y herramientas aplicadas para su gestión, por eso existen guías estandarizadas y muy detalladas como son las guías de la IPCC. Sin embargo, todas las comunidades científicas han generado avances significativos en el uso de sus indicadores como criterios en toma de decisión, siendo uno de los más interesantes el piloto de huella ambiental en la Unión Europea para comunicar los impactos ambientales y comparar productos.



Las huellas ambientales más reconocidas son: la huella de carbono, la huella ecológica, la huella hídrica y la huella ambiental.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agri-Footprint. (s. f.). Re: Direct land use change [Archivo web]. <https://www.agri-footprint.com/direct-land-use-change/>

Arévalo-Uribe, D. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica* [WWF Reporte Colombia 2012]. http://awsassets.panda.org/downloads/hh_colombia_12c_isbn.pdf

Barnum, J., Fava, J., Denison, R., Jones, B., Curran, M. A., Vigon, B. y Selke, S. (Eds.) (1994). *Technical Framework for Life-Cycle Assessment*. SETAC. <https://www.setac.org/store/ViewProduct.aspx?id=1037493>

Beck T, Bos U, Wittstock B, Baitz M, Fischer M, Sedlbauer K (2010) LANCA—Land Use Indicator Value Calculation in Life Cycle Assessment. Fraunhofer, Stuttgart, Germany, <http://publica.fraunhofer.de/eprints/urn:nbn:de:0011-n-1435418.pdf>

Boulay, AM., Bare, J., Benini, L. et al. (2018) The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *Int J Life Cycle Assess* 23, 368–378. <https://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>

British Standards Institution, BSI (2008). What's the carbon footprint of your product?. <https://www.bsigroup.com/en-GB/about-bsi/media-centre/press-releases/2008/10/Whats-the-carbon-footprint-of-your-product/>

British Standards Institution, BSI. (2011). PAS 2050:2011. *Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services*. Autor. <https://shop.bsigroup.com/ProductDetail?pid=000000000030227173>

Bulle, C., Margni, M., Patouillard, L., Boulay, A. M., Bourgault, G., De Bruille, V., Cao, V., Hauschild, M., Henderson, A., Humbert, S., Kashef-Haghighi, S., Kounina, A., Laurent, A., Lefebvre, A., Liard, G., Rosenbaum, R. K., Roy, P. O., Shaked, S., Fantke, P. y Jolliet, O. (2019, febrero). IMPACT World+: a globally regionalized life cycle impact assessment method. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(9), 1653-1674. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01583-0>

Cambridge Dictionary. (s. f.). Environmental Footprint. En *Cambridge Dictionary*. <https://dictionary.cambridge.org/es/diccionario/ingles/environmental-footprint>

CML – Department of Industrial Ecology (2016). CML-IA Characterisation Factors. [Archivo web] <https://www.universiteitleiden.nl/en/research/research-output/science/cml-ia-characterisation-factors>

European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability (2012). Characterisation factors of the ILCD Recommended Life Cycle Impact Assessment methods. Database and Supporting Information. First edition. February 2012. EUR 25167. Luxembourg. *Publications Office of the European Union*. [Archivo pdf]. <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/uploads/LCIA-characterization-factors-of-the-ILCD.pdf> European Commission. (2013). Re: The Environmental Footprint Pilots [Archivo web]. https://ec.europa.eu/environment/eussd/smgp/ef_pilots.htm

Global Footprint Network. (2009). Re: Ecological Footprint Standards. Global Footprint Network Timeline [Archivo web]. <https://www.footprintnetwork.org/about-us/timeline/>

Global Footprint Network. (s. f. -a). Re: Ecological Footprint Calculator [Archivo web]. <https://www.footprintcalculator.org/>

Global Footprint Network. (s. f. -b). Re: Open Data Platform [Archivo web]. http://data.footprintnetwork.org/?_ga=2.260793418.634741555.1597357878-1779801497.1596759901#/

Greenhouse Gas Protocol. (2015). *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*. <https://ghgprotocol.org/corporate-standard>

Goedkoop M. Heijungs R. Huijbregts M. Schryver A. Strijs J. Van Zelm R (2008). Re-CiPE 2008: A life Cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level version 1. [Archivo web]. https://www.researchgate.net/publication/302559709_ReCiPE_2008_A_life_cycle_impact_assessment_method_which_comprises_harmonised_category_indicators_at_the_midpoint_and_the_endpoint_level

Goedkoop M., Srijnsma R (2001). The Eco-indicator 99: A Damage Oriented Method for Life Cycle Assessment. [Archivo web] https://www.researchgate.net/publication/247848113_The_Eco-Indicator_99_A_Damage_Oriented_Method_for_Life_Cycle_Impact_Assessment

Guinée JB, Gorrée M, Heijungs R et al (2002) Handbook on life cycle assessment: operational guide to the ISO standards, series: Ec. Springer, Dordrecht

Guinée J. Heijungs, R. Huppes G. Zamangni A (2011). Life Cycle Assessment: Past, Present and Future. *Environmental Science & Technology* 45(1):90-6. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es101316v>

Hatfield, J. L., Johnson, D. E., Lassey, K. R., Aparecida de Lima, M., Romanovskaya, A., Dong, H., Mangino, J. y McAllister, T. A. (2006). Capítulo 10. Emisiones Resultantes de la Gestión del Ganado y del Estiércol. En IPCC, *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*, pp. 10.1-10.91. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_10_Ch10_Livestock.pdf

Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M. y Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard* (1ª ed.). <https://doi.org/10.4324/9781849775526>

Huijbregts, M.A.J., Steinmann, Z.J.N., Elshout, P.M.F. et al. ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *Int J Life Cycle Assess* 22, 138–147 (2017). [Archivo pdf]. <https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>

Humbert, S., De Schryver, A., Bengoa, X., Margni, M. y Jolliet, O. (2012). IMPACT 2002+: User Guide [Archivo pdf]. https://www.quantis-intl.com/pdf/IMPACT2002_UserGuide_for_vQ2.21.pdf

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2014). Re: Informes Nacionales del Agua. Estudio nacional de agua 2014 [Archivo web]. <http://www.siac.gov.co/infonalagua>

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2019). Informe Nacional del Agua 2018. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023858/ENA_2018.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2002). EFDB – Emission factor database [Archivo web]. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/EFDB/main.php>

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2006). Capítulo 2. Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra. En *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 4), pp. 2.1-2.66. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2013). Climate Change: The Physical Science Basis. Summary for Policy Makers, Technical Summary and Frequently Asked Questions. Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/WG1AR5_SummaryVolume_FINAL.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2014). Summary for Policymakers, In: Climate Change 2014, Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_summary-for-policymakers.pdf ISO. (2006a). ISO 14040:2006. Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida Principios y marco de referencia (p. 29). <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es> ISO. (2018). ISO 14067:2018(es), Gases de efecto invernadero — Huella de carbono de productos — Requisitos y directrices para cuantificación. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>

ISO. (2014). ISO 14046:2014(es), Gestión ambiental — Huella de agua — Principios, requisitos y directrices. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:es:fn:1>

Jolliet, O., Margni, M., Charles, R., Humbert, S., Payet, J., Rebitzer, G. y Rosenbaum, R. (2003, noviembre). IMPACT 2002+: A New Life Cycle Impact Assessment Methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 8(6), 324-330. <https://doi.org/10.1007/BF02978505>

Oers L van, Koning A de, Guinée JB, Huppes G (2002) Abiotic resource depletion in LCA - improving characterisation factors fro abiotic depletion as recommended in the new Dutch LCA Handbook

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO. (s. f.). Re: Modelo de Evaluación Ambiental de la Ganadería Mundial (GLEAM) [Archivo web]. <http://www.fao.org/gleam/model-description/es/>

Organización Internacional de Estandarización, ISO. (2006a). Re: ISO 14040:2006. Gestión ambiental – Análisis del ciclo de vida – Principios y marco de referencia [Archivo web]. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>

Organización Internacional de Estandarización, ISO. (2006b). Re: ISO 14044:2006(es). Gestión ambiental – Evaluación del ciclo de vida – Requisitos y directrices [Archivo web]. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>

Organización Internacional de Estandarización, ISO. (2014). Re: ISO 14046:2014(es). Gestión ambiental – Huella de agua – Principios, requisitos y directrices [Archivo web]. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14046:ed-1:v1:es:fn:1>

Organización Internacional de Estandarización, ISO. (2018). Re: ISO 14067:2018(es). Gases de efecto invernadero – Huella de carbono de productos – Requisitos y directrices para cuantificación [Archivo web]. <https://www.iso.org/obp/ui#iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>

Posch, M., Seppälä, J., Hettelingh, JP. et al. (2008). The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. *Int J Life Cycle Assess* 13, 477. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0025-9>

Rees, W. E. (1992, octubre). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out. *Environment and Urbanization*, 4(2), 121-130. <https://doi.org/10.1177/095624789200400212>

Rosenbaum R., Bachmann T., Swirsky L., Huijbregts, M. Jolliet O., Juraske R., Koehler A. Larsen H., MacLeod M. Margni, M. McKone T., Payt, J, Schuhmacher M., van de Meent D., Hauschild M. (2008). USEtox – the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 13, 532. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>

Secretaría Distrital de Ambiente, Subdirección de Políticas y Planes Ambientales, Alcaldía de Bogotá. (2015). *Guía para el cálculo y reporte de Huella de Carbono Corporativa*. http://www.ambientebogota.gov.co/en/c/document_library/get_file?uuid=f64a7ccd-8a76-4d0d-b6de-33a3f08576fc&groupId=586236

Seppälä, J., Posch, M., Johansson, M. et al. (2006). Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator (14 pp). *Int J Life Cycle Assessment* 11, 403–416. <https://doi.org/10.1065/lca2005.06.215>

Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC. (1993). Re: Life Cycle Assessment [Archivo web]. <https://www.setac.org/page/sciencelca>

Struijs J, Beusen AHW, van Jaarsveld HA, Huijbregts MAJ et al (2009) Aquatic eutrophication (chapter 6). In: Goedkoop M, Heijungs R, Huijbregts MAJ (eds) ReCiPe 2008: a life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indi-

cators at the midpoint and the endpoint level; Report 1: Characterisation. Ministry of Housing, Spatial Planning, and Environment (VROM), The Netherlands, p 132

United Nations Environment Programme, UNEP y Society of Environmental Toxicology and Chemistry, SETAC. (2007). Re: Life Cycle Initiative [Archivo web]. <https://www.lifecycleinitiative.org/>

United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC. (2015). Re: The Paris agreement [Archivo web]. <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement/the-paris-agreement>

United Nations Framework Convention on Climate Change, UNFCCC. (s. f.). Re: Global warming potentials (IPCC second assessment report) [Archivo web]. <https://unfccc.int/process/transparency-and-reporting/greenhouse-gas-data/greenhouse-gas-data-unfccc/global-warming-potentials>

United States Environmental Protection Agency, EPA. (s. f.). Re: Understanding Global Warming Potentials [Archivo web]. <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>

Wackernagel, M, y Rees, W. E. (1996). *Our Ecological Footprint. Reducing human impact on the earth*. New Society Publishers. <http://faculty.washington.edu/stevehar/footprint.pdf>

Water Footprint Network, WFN (s.f.). About us & Story [Archivo web]. <https://waterfootprint.org/en/about-us/aims-history/>

World Wildlife Fund, WWF. (2018). *Living planet report 2018: Aiming higher*. Autor. <https://www.worldwildlife.org/pages/living-planet-report-2018>

World Wildlife Fund, WWF. (2019). Re: Desde hoy estamos en sobregiro con el planeta [Archivo web]. <https://www.wwf.org.co/?uNewsID=350771>

WULCA (s. f.). WULCA. <http://www.wulca-waterlca.org/>

The New York Times (2008, Feb 17). On Language: Footprint, by William Safire. [Archivo web]. En: <https://www.nytimes.com/2008/02/17/magazine/17wwln-safire-t.html>



CAPÍTULO



LOS SISTEMAS AGROSILVOPASTORILES DE TRÓPICO ALTO



RESUMEN

Se abordan los conceptos básicos de los sistemas agroforestales y de otras formas de organización productiva, destacando la importancia ambiental, ecosistémica y de competitividad de los sistemas silvopastoriles con énfasis especial en el trópico alto, se identifica su estructura y función, así como los diferentes arreglos productivos de mayor relevancia, se hace mención de las principales especies asociadas, sus características, propiedades e importancia para la provisión alimentaria. Finalmente se proponen algunas estrategias de manejo.

INTRODUCCIÓN

En las últimas tres décadas se han incrementado las evidencias de los desbalances que sufren los sistemas naturales por el uso intensivo de prácticas inadecuadas, que persisten en los procesos de producción agraria. Es tal el desbalance, que los rendimientos de los principales cultivos de importancia económica, no solamente han dejado de crecer, sino que, por el contrario, muestran una tendencia a la disminución de producción neta. Esta, a la vez, está acompañada de incrementos en los costos de producción, asociado a la mayor incidencia y severidad de plagas y enfermedades; así como los requerimientos crecientes de fertilizantes de síntesis química que compensan la pérdida de la fertilidad natural de los suelos, generada por la erosión química y biológica. Este escenario se complejiza aún más, ante los efectos de la variabilidad y el cambio climático a escala global.

Dentro de las alternativas tecnológicas disponibles, que permitan superar la actual crisis ambiental e incrementar la provisión de alimentos para una población cada vez más demandante de ellos, se han retomado diversas estrategias que, como común denominador, integran mayores niveles de biodiversidad, flujos dinámicos de materia energía e información en circuitos cortos (dentro del agroecosistema) e interacciones entre los componentes que los constituyen. Es decir, en ellos existen múltiples organismos de diferentes niveles tróficos, que facilitan la intensificación de los procesos biológicos, generando un incremento de la producción primaria neta, pero también manteniendo un equilibrio dinámico entre las especies, muy semejante a las condiciones de los ecosistemas escasamente intervenidos.

2.1 LOS SISTEMAS AGROFORESTALES

Los conceptos de “Sistemas agroforestales” y “Agroforestería” han sido objeto de amplio debate, pero a la postre aceptados como sinónimos. Refieren a todas aquellas formas de uso y manejo de los sistemas naturales, compuestos asociativamente por arbustos, árboles y palmas con cultivos agrícolas o con animales en una secuencia temporal. Estos sistemas surgen de forma espontánea en regiones subtropicales, que luego de un proceso de evolución y adaptación tecnológica, migran hacia el trópico, donde, con la participación de distintas ciencias y disciplinas, desarrollan principios, métodos y prácticas adaptadas a las condiciones propias de cada zona edafoclimática y a la disponibilidad tecnológica, configurando así diversas tipologías de sistemas agroforestales, entre los cuales se pueden mencionar los siguientes:

FIGURA 2.1. *Sistemas forestales*



Fuente: elaboración propia.

- **Silvopastoriles:** sistema basado en la interacción entre árboles y arbustos con una plantación de pastura, donde se desarrolla un proceso de producción pecuaria. Estos árboles pueden ser de bosque secundario, de regeneración natural o plantados para forraje, en cuyo caso siguen arreglos en franja, cerca viva, seto forrajero, etc.

- **Agrosilviculturales:** sistema donde predomina un bosque o árboles plantados en interacción con un cultivo principal. Generalmente se usa el sistema silvícola como protector o sombra del cultivo, algunos ejemplos son los sistemas de café o cacao.
- **Agrosilvopastoriles:** combina los dos sistemas anteriores, allí se establecen interacciones ecosistémicas entre árboles, arbustos y pasturas, ya sean naturales o plantadas, cultivos y animales en actividad pecuaria.

En los Sistemas agroforestales (SAF) se evidencia un modelo o arreglo productivo que integra los elementos estructurales de un bosque y los principios de un sistema agrícola, que no son mutuamente excluyentes, sino que comparten un mismo espacio geográfico, donde aportan sus atributos o características ecosistémicas, que de manera sinérgica aumentan su potencial para la producción agrícola, pecuaria y forestal. Las especies forestales contribuyen con la generación de diversos doseles o estratos de biomasa; la generación de sombra, constante provisión de hojarasca para mantener el mucho cobertura orgánica que conserva tanto los niveles de humedad como los microorganismos del suelo; igualmente se convierte en refugio y alimento de micro y macro invertebrados y otras especies. Por su parte, el sistema agrícola posee una estructura que permite que ingrese agua, nutrientes y diversas prácticas de manejo, para el control y la regulación del sistema, y especialmente es valioso su aporte en la provisión alimentaria para la familia rural, quien determina la estructura, permanencia y niveles de sostenibilidad del sistema (Baldassini y Paruelo, 2020; Buitrago-Guillen et al., 2018; Montagnini et al., 2015).

FIGURA 2.2. *Sistemas agroforestales*



Fuente: elaboración propia.

La implementación de sistemas agroforestales, entre otros atributos, permite la implementación de sistemas productivos en zonas con limitado acceso a vías de comunicación e infraestructura productiva, bajos niveles de fertilidad, limitada disponibilidad de agua y zonas secas, además de limitado capital para adopción de tecnologías. Es decir, este modelo se ajusta a las necesidades y circunstancias de frecuente ocurrencia en zonas tropicales, donde por limitaciones tecnológicas, de capital, ecosistémicas, adversidades climáticas y ausencia del estado; no es viable el desarrollo de modelos agrarios altamente demandantes en insumos, que bajo modelos de monocultivo se centra en algunos productos comerciales exportables, que requieren inversiones de capital y tecnología, favoreciendo la intensificación no sostenible de la producción (Murgueitio et al., 2015).

Es importante precisar que los bosques tropicales húmedos de América han sido epicentro del desarrollo de la ganadería extensiva (tal como ha ocurrido en amplias zonas de Brasil, Centroamérica y Colombia), que luego de la tala intensiva del bosque y la selva, se establecieron pastizales de gramíneas introducidas, que posteriormente mostraron baja capacidad de adaptación, susceptibilidad a plagas y enfermedades, y altos requerimientos nutricionales y de manejo, que no fueron atendidos apropiadamente por los ganaderos. En contraposición a esta tendencia tecnológica, y con el ánimo de resarcir los impactos negativos sobre los ecosistemas, en esta misma región cobran relevancia los Sistemas Agroforestales Pecuarios, definidos como arreglos productivos con uso preferencial de árboles y arbustos, con fines de producción de biomasa en calidad nutricional y cantidad, que permite la intensificación de la actividad ganadera con importantes aportes a sustentabilidad y la rehabilitación de suelos degradados (Montagnini, 2017; Montagnini et al., 2015; Palomo-Campesino et al., 2018).

FIGURA 2.3. Cobertura del suelo en sistemas agroforestales



Fuente: elaboración propia.

A la par con este modelo de ganadería extensiva, se desarrolló un sistema para pequeños productores propietarios y colonos, basado en la tala y quema del bosque primario y secundario, seguido del establecimiento de varios ciclos de cultivos de pan coger y el posterior establecimiento de gramíneas. Dichas zonas de pasturas luego de su degradación son dejadas en “barbecho” (abandono temporal para su recuperación), o se usan estrategias de intensificación tales como: cultivos en franjas, integración de árboles de leguminosas, pastizales y pastoreo rotacional, entre otras estrategias. Existen diversos ejemplos documentados de sistemas agroforestales con intensificación de ganadería, tanto para pequeños como para grandes extensiones, que han sido la base de lo que actualmente se denomina los sistemas silvopastoriles, como la integración de pino (*Pinus caribea*) como fuente de madera con el pasto guinea (*Panicum maximum*), para un sistema de pastoreo rotacional en Costa Rica; Igualmente, la asociación de pasto micay o grama bahía (*Axonopus scoparius*) con árboles de guayaba (Silberman et al., 2019; Somarriba y Lega, 1991). En el mismo sentido, se han descrito sistemas que integran leguminosas arbóreas, como matarraton (*Gliricidia sepium*) y oropel o pajuro (*Erythrina spp*) para dar sombra y barrera viva en cultivos de café; o los sistemas agroforestales de la Amazonía brasilera, que integran árboles de mango, nuez, coco, caucho o marañón, bajo arreglos en franjas y el establecimiento de pasturas entre ellas o sistemas. De la misma forma, diversas instituciones y organizaciones han avanzado en la investigación sobre los sistemas agroforestales, entre los cuales es justo mencionar EMBRAPA en Brasil, CATIE en Costa Rica, ICA/CORPOICA y CIPAV en Colombia, INTA en Argentina, entre otras reconocidas instituciones de la región (Montagnini et al., 2015; Montagnini, 2017; Murgueitio et al., 2015; Ramachandran-Nair, 2014).

Lo anterior, implica que estos arreglos productivos asociados al concepto de Sistemas Agroforestales no son de reciente aparición, por el contrario, representan el proceso de transformación y adaptación que las comunidades campesinas e indígenas han realizado del medio ambiente circundante, en busca de mejorar los procesos de productivos y adaptarlos a las condiciones cambiantes del clima; o, aún mejor, desarrollando estrategias adaptativas para conservar de forma sostenible la oferta ambiental (Alonso et al., 2015; Calle-Díaz et al., 2009; Cuartas-Cardona et al., 2014; Estrada, 2002).

En este sentido, la amplia versatilidad y capacidad de adaptación a diferentes ambientes, demostrada por los Sistemas agroforestales, los ha convertido en una alternativa de creciente aceptación en los países tropicales, pues, gradualmente vienen sustituyendo al sistema ganadero extensivo (ganadería convencional), el cual tiene reparos

por sus impactos en la tala de bosques; pérdida de la biodiversidad para el establecimiento de pasturas (que pierden su vigor y son rápidamente degradadas pues agotan la limitada fertilidad de los suelos del trópico); liberación de mayores tasas de CO₂ al ambiente; erosión y compactación de suelos; disminución de la calidad, cantidad y oportunidad de agua. Es decir, afectación de los ciclos biogeoquímicos y reducción en la disponibilidad de la oferta ambiental (en otros textos denominados Recursos Naturales) (Jiménez-Ruíz et al., 2019; Wick y Tiessen, 2008; Zapata et al., 2015).

FIGURA 2.4. *Sistema silvopastoril de trópico bajo*



Fuente: elaboración propia.

Los Sistemas agroforestales son una valiosa alternativa tecnológica para lograr el anhelado equilibrio entre la producción de alimentos, la rentabilidad del ejercicio agrario y la conservación del medio natural. Este sistema permite aumentar la productividad vegetal y animal, mediante intensificación sostenible y diversificada de alimentos; disminuir los efectos negativos de la actividad agraria sobre los ecosistemas, aumentando la resiliencia a variabilidad y cambio climático; además de los beneficios en la rentabilidad financiera del agricultor y ganadero, por la baja dependencia de insumos externos y costos de establecimiento del sistema (Murgueitio et al., 2016; Palomo-Campesino et al., 2018).

2.2 LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES (SSP)

Tal como se evidencia en los párrafos anteriores, los Sistemas silvopastoriles (SSP) son un arreglo productivo dentro de los denominados sistemas agroforestales o agroforestería, más precisamente dentro del subtipo sistemas agroforestales pecuarios o basados en ganadería; es decir, obedecen a una nueva denominación de un sistema casi milenario y ampliamente difundido, sin desconocer los importantes avances en ajustes tecnológicos e incorporación de prácticas agroecológicas; los cuales le han valido un importante sitio dentro de las alternativas para la sustentabilidad de los sistemas ganaderos, la recuperación de zonas degradadas e improductivas, la efectividad para adaptación y mitigación del cambio y la variabilidad climática, además de los importantes logros en el aumento de la productividad y rentabilidad del ejercicio ganadero (Ochoa et al., 2017; Caicedo-Rosero et al., 2018; Sánchez-Gómez et al., 2018).

FIGURA 2.5. *Ganadería integrada a un SSP de trópico bajo*



Fuente: elaboración propia.

En términos generales, los Sistemas silvopastoriles (SSP) son un arreglo agroforestal constituido por diversas especies de árboles, arbustos y plantas herbáceas, con diversas funciones productivas, establecidas bajo un diseño tanto espacial (horizontal y vertical) como temporal (diferentes momentos de aprovechamiento), que optimizan el espacio disponible para su desarrollo, conformando al menos tres doseles o estratos. Todos ellos con el objetivo de proveer condiciones, tanto de diversidad como cantidad

de plantas, que simulen en alto grado las condiciones ecosistémicas de los bosques o selvas poco intervenidas; de tal forma que, los flujos multidireccionales de materia, energía e información mantienen estables su estructura y función productiva, orientada a la obtención de carne, leche, fibras, madera y diversos alimentos agrícolas.

2.2.1 ESTRUCTURA Y FUNCIÓN DE LOS SSP

La estructura de los Sistemas silvopastoriles está dada por los diferentes componentes o elementos que los constituyen y que intervienen directamente en las cadenas tróficas que allí se desarrollan, a continuación, se menciona algunos de ellos:

- Componente arbóreo
- Componente arbustivo
- Componente herbáceo
- Componente pecuario
- Componente agrícola
- Componente sociocultural

FIGURA 2.6. Sistema silvopastoril con leucaena (*leucaena leucocephala*)



Fuente: elaboración propia.

Los anteriores componentes, poseen tal nivel de organización y dinámica energética que les permiten responder, es decir, volver a su equilibrio inicial ante diversas injerencias o disturbios naturales o humanos, propiedad conocida como “plasticidad”, que a su vez es la base de la resiliencia o capacidad adaptativa de estos agroecosistemas (León-Sicard et al., 2018). En su conjunto los sistemas silvopastoriles son un agroecosistema (en objeto de estudio de la agroecología), que funciona bajo los principios de la termodinámica como una estructura disipativa, cuando intercambia flujos de materia y energía con el entorno pasando de momentos de entropía, durante el proceso productivo, a estados de autopoyesis o autoorganización, cuando es afectado por disturbios o ajustes planificados. Condición en la cual el sistema realiza ajustes estructurales, que le permiten mantener sus funciones productivas mediante la disipación y/o incorporación al agroecosistema de la materia y/o energía proveniente del disturbio. Tal condición o propiedad se asocia con los niveles de resiliencia, mediante la cual dicho agroecosistema se mantiene estable y productivo, a pesar de las condiciones adversas de tipo climático, ecosistémico y socio cultural. Allí radica la importancia que poseen estos sistemas de producción para mantener la productividad, rentabilidad y sostenibilidad en un escenario de crisis global tanto en lo ambiental como en lo social (Bertalanffy, 1972; León-Sicard et al., 2014).

Por lo enunciado hasta ahora, son evidentes los beneficios tanto de tipo ecosistémico como productivo, que trae consigo la implementación de un sistema silvopastoril. En principio, su objetivo es maximizar los rendimientos de la actividad agropecuaria, sin embargo, sus atributos en la conservación de la biodiversidad y la sustentabilidad son quizá su mayor atractivo. A continuación, se presentan algunos de los más importantes beneficios de este agroecosistema.

- **Alimento para la ganadería:** por la maximización de los espacios disponibles con la implementación de varios estratos, diversidad de especies gramíneas y leguminosas, que generalmente posee valor nutricional superior a las especies forrajeras tradicionales, las cuales ofrecen de forma atemporal sus hojas, frutos y semillas, constituyen un banco nutricional que eleva considerablemente la tasa de conversión en los animales y, por supuesto, los rendimientos de carne, leche y la eficiencia reproductiva. Esta mayor disponibilidad de biomasa forrajera, especialmente en la temporada seca, incrementa la producción de carne y leche llegando a ser en los Sistemas silvopastoriles intensivos SSPi hasta de 12 veces mayor en comparación con los forrajes en monocultivos (Mauricio et al., 2019; Montagnini et al., 2015; Murgueitio et al., 2015) reduced biodiversity, land degradation, and dependence of chemical fertilizer to maintain biomass production are considered the main drivers that make this system unsustainable in time. Silvopastoral systems (SPSs). Un elemento adicional que fortalece este aspecto es la capacidad que poseen los árboles integrados al sistema, ya que por su atributo radicular de

extraer agua y nutrientes de niveles subsuperficiales del suelo, la provisión alimentaria se mantiene aún en épocas de déficit hídrico (Zapata y Silva, 2016).

- **Sombrío para el ganado y conservación de la biodiversidad:** en el agroecosistema se incorporan especies arbóreas y arbustivas, las cuales, por la amplitud de copa y su densidad de siembra, generan tal nivel de sombra, que los rayos del sol disminuyen su incidencia directa, con lo cual la sensación térmica dentro del sistema baja hasta tres grados Celsius con respecto al ambiente externo. Lo anterior permite mejores niveles de confort animal, consumo y digestión de los alimentos, disminución del estrés calórico, refugio y zonas de descanso para los animales. Aspectos que son fundamentales para la eficiencia nutricional y reproductiva de los sistemas ganaderos. Esta densidad y variedad de especies vegetales en los diversos estratos, constituyen el nicho ecológico de múltiples especies tanto de micro, meso y macro organismos de diferentes niveles tróficos, a partir de los cuales se dinamizan los ciclos de los minerales y los flujos energéticos. La amplia biodiversidad que confluye en el agroecosistema garantiza la provisión alimentaria, la dispersión de semillas, zonas de refugio y de reproducción etc., que permite que se expresen de forma adecuada las demás propiedades emergentes de los sistemas silvopastoriles (Baldassini y Paruelo, 2020; Calle et al., 2009).
- **Producción de maderas y fibras:** el diseño y establecimiento de los sistemas silvopastoriles implica la selección de las especies vegetales que lo integrarán, las cuales deberán tener, entre otras características, la provisión de forraje en calidad y cantidad, madera, fibras, frutos y semillas, que contribuyan a los fines o propósitos de su establecimiento. Por lo tanto, el proceso de planeación conlleva establecer con claridad las prioridades y los arreglos productivos, la selección de las especies madereras, proveedoras de forraje y de frutos que mejor se adapten a las condiciones edafoclimáticas de la zona, lo que implica que no siempre será recomendable implementar los mismos modelos y arreglos de otras zonas, sino que deben ser evaluados y comparados para hacer los ajustes correspondientes. La producción de maderas, como un producto alternativo de los sistemas silvopastoriles, es una atractiva oportunidad por la creciente demanda de maderas finas, con lo cual se aporta a la conservación de bosques nativos (Zepeda-Cancino et al., 2016; Hernández-Chávez et al., 2008).
- **Fijación de nitrógeno y ciclaje de nutrientes:** el nitrógeno es uno de los elementos de mayor importancia para la división celular en las plantas; además de ser escaso en los suelos, es de baja disponibilidad y eficiencia, por eso es necesario hacer adiciones al agroecosistema a partir del uso de fuentes orgánicas o inorgánicas, siendo estas últimas de alto costo, lo que afecta la rentabilidad de la actividad agropecuaria. Por lo tanto, siempre es deseable la incorporación de

plantas leguminosas, que poseen la propiedad de fijar nitrógeno atmosférico (del aire) a través de su sistema radicular. Este proceso lo realiza mediante la simbiosis que hace la planta con algunos grupos de bacterias, especialmente del género *rhizobium sp*, llegando a hacer aportes hasta de 300 toneladas de nitrógeno por hectárea/año, con los beneficios que ello implica para el desarrollo de las diversas especies que allí cohabitan (Anriquez et al., 2018; Campanhola y Pandey, 2019).

FIGURA 2.7. Estratos en los sistemas silvopastoriles



Fuente: elaboración propia.

En este sentido, es importante mencionar que los árboles toman el nitrógeno atmosférico y lo fijan en porcentajes que varían ampliamente dependiendo de la especie, la edad, la procedencia y el manejo que de ella se haga. El porcentaje de nitrógeno derivado de la atmósfera (NDA) está entre el 69 % en árboles jóvenes, 63 % en árboles con manejo de poda frecuente, en comparación con el 54 % en aquellos con libre crecimiento. Tales aportes de nitrógeno al suelo pueden alcanzar valores entre los 300 a los 650 kg por hectárea al año, los cuales son suficientes para cubrir las necesidades de un cultivo con rendimientos estables. El N fijado se trasfiere a especies no fijadoras mediante diversos mecanismos, entre los cuales están: la transferencia directa subterránea, la hojarasca en descomposición, que aporta nitrógeno, los exudados de raíces y las redes de micorrizas comunes entre dichas especies (Anriquez et al., 2018)

Las especies leguminosas de uso frecuente en estos sistemas silvopastoriles son: leucaena (*leucaena leucocephala*), saman (*albizia saman*), chachafruto (*erythrina edulis*), igua (*albizia guachepele*); y leguminosas herbáceas, como pega-pega o amor seco (*desmodium spp*), campanilla (*centrosema sp*), maní forrajero (*arachis sp*), trébol (*trifo-*

lium sp) y *capica (stylosanthes capitata)*, entre otras, que se establecen bajo arreglos productivos en franjas asociados con cultivos de frijol y soya (Montagnini et al., 2015; Murgueitio et al., 2015; Murgueitio et al., 2013) integrity, interactivity and intensiveness; it also highlights recent information on climate change adaptation of livestock and environmental services that can be offered by livestock producers (carbon sequestration, biodiversity).

De la misma forma, en los sistemas silvopastoriles se simula el dinámico ciclaje de nutrientes de los ecosistemas de bosque y selva, dicho proceso está basado en la capacidad que poseen las especies arbóreas de extraer nutrientes de las capas más profundas del suelo, lugar al cual el sistema radicular de las especies herbáceas no puede llegar; hasta allí llegan las raíces y a manera de bomba de extracción suben los nutrientes y los hacen disponibles para el resto del ecosistema. El ciclaje se hace principalmente mediante la deposición de hojas, ramas y frutos que caen sobre la superficie, son descompuestas por acción de microorganismos e ingresan al banco de nutrientes del suelo, de la misma forma, estos nutrientes son reutilizados luego de la descomposición y mineralización de la excreta animal. Lo anterior aumenta los niveles de materia orgánica sobre el suelo, creando un mulch o cobertura, que permite mantener la humedad, disminuir la incidencia de los rayos solares y con ello proteger a los microorganismos descomponedores; igualmente aumentar el porcentaje de materia orgánica dentro del suelo, cuyos beneficios se reflejan en mayores niveles de fertilidad, biodiversidad de micro fauna y meso fauna; así como, mejorar las propiedades físicas y químicas de estos suelos (Ochoa et al., 2017).

- **Conservación y regulación hídrica:** la eficiencia de la regulación hídrica en los agroecosistemas reside en su capacidad para almacenarla y retenerla el mayor tiempo posible, en ello varios componentes del sistema contribuyen de forma sustancial. El primero es la materia orgánica (MO) presente en el suelo, ya que puede retener hasta veinte veces su peso en agua, con lo cual su capacidad de retención es directamente proporcional a su porcentaje de MO. Igualmente, contribuyen en este proceso las características físicas del suelo, tales como la porosidad, granulometría, estructura y densidad aparente. El segundo aspecto que aporta a la regulación de agua es la densidad de árboles y arbustos, que generan un microclima al interior del sistema, y la cobertura vegetal sobre el suelo, las cuales disminuyen la tasa de evapotranspiración, con lo cual la eficiencia hídrica es mayor (Lemaire et al., 2018).
- **Mitigación y adaptación climática:** la emisión de metano por parte de la actividad ganadera, así como las actividades de producción agrícola, generan gases de efecto invernadero que contribuyen al calentamiento global. En este sentido, los SSP contribuyen a la reducción de esta huella ecológica en razón a que, por

la mejor calidad de la dieta y la mayor eficiencia productiva, se disminuye la generación de metano entérico. Diversos estudios han reportado que la asociación de variadas especies forrajeras, como leucaena (*leucena leucocephala*) asociada con pasto estrella (*cynodon plectostachyus*) y pasto guinea (*megathyrus maximus*) en SSP, mejoran los niveles nutricionales y disminuyen la emisión de metano, en comparación con sistemas ganaderos tradicionales (Murgueitio et al., 2015), lo cual resulta de alto valor para la reconversión de los sistemas ganaderos tradicionales a sistemas climáticamente adaptados.

2.3 LOS SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS (SSPi).

La versatilidad y eficiencia demostrada por los sistemas silvopastoriles SSP, ha motivado a los investigadores y ganaderos a profundizar en la intensificación biológica o sostenible de estos agroecosistemas, mediante la introducción de cultivos de arbustos forrajeros en alta densidad de hasta 40 mil plantas por hectárea, pasturas mejoradas y árboles o palmas en densidades superiores a los 600 individuos por hectárea. A este arreglo se le ha denominado sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi), en los cuales se incorpora, como prácticas de manejo, alta carga animal durante periodos cortos de aprovechamiento, seguido de largos periodos de recuperación bajo un sistema de pastoreo rotacional, lo anterior permite la generación de mayores niveles de biomasa aprovechable por el ganado, además de los ya mencionados beneficios productivos, de conservación y sustentabilidad, así como mejores indicadores y márgenes de rentabilidad (Campanhola y Pandey, 2019).

FIGURA 2.8. Modelo de SSPi con botón de oro (*tithonia diversifolia*)



Fuente: elaboración propia.

Este sistema está centrado en atender las necesidades de tipo productivo, ambiental y social, que demandan hoy los consumidores globales, pues contribuye a reducir las tasas de deforestación y quemas, generadas por la ampliación de la frontera productiva en zonas de bosque o selvas; disminuir de uso de prácticas inadecuadas, como uso excesivo de insumos químicos; y, en primera instancia, fortalecer los procesos de ganadería sostenible, mediante el máximo aprovechamiento de los servicios ecosistémicos (de provisión y regulación), así como la protección y restauración de los ecosistemas (Milanesi et al., 2013; Murgueitio et al., 2013) Instituto de Ecología. All rights reserved. In this work we assess, from an economic and financial perspective, the optimal time of timber harvest in joint forestry-pasture systems. For this we apply a Real Options (RO.

Los sistemas silvopastoriles intensivos (SSPi) incluyen, como parte de su estructura, arreglos biológicos o productivos, entendidos como la disposición espacial y temporal de plantas previamente seleccionadas, que poseen propiedades y funciones específicas para este tipo de agroecosistema, dentro de las más frecuentes están: cercas vivas, árboles dispersos en pastizales, sucesión de plantas manejadas y bancos de árboles forrajeros. Igualmente, estos arreglos poseen una disposición espacial tanto vertical como horizontal que, permite la conformación de varios estratos biológicos, que además de aportar sus beneficios ecosistémicos proveen alimento de alto valor nutricional para la ganadería (Campanhola y Pandey, 2019).

Estrato herbáceo: es el estrato más bajo conformado por hierbas y gramíneas nativas y mejoradas o exóticas, predominan los géneros *paspalum*, *axonopus*, *pennisetum*, *megathyrus*, *cenchrus*, *urochloa*, entre otros, los cuales se asocian con plantas leguminosas forrajeras de los géneros *centrosema*, *arachis*, *calopogonium* y *stylosanthes*, constituyendo una asociación, que permite amplia cobertura y mayores niveles de persistencia y resistencia a las limitaciones hídricas y nutricionales de los suelos, además de proveer alimento constante.

Estrato arbustivo: conformado por diversas especies de plantas leguminosas forrajeras de porte arbustivo, que tiene como fin generar biomasa de alta calidad nutricional, para lo cual se establecen en alta densidad de siembra, llegando incluso hasta las 80 mil plantas por hectárea. Las especies de mayor frecuencia en estos sistemas son *leucaena* (*leucaena leucocephala*), botón de oro (*tithonia diversifolia*), tilo (*sambucus peruviana*), aliso (*alnus acuminata*), entre otras. A pesar de que estas especies son de porte alto, incluso llegan hasta los tres metros, su crecimiento se controla mediante el consumo de su follaje por parte del ganado (ramoneo), podas de crecimiento y cosecha manual de la biomasa forrajera, con lo cual se mantiene la arquitectura productiva de los arbustos, permitiendo así el rebrote de las estructuras vegetativas de la planta, y, por ende, la generación de nuevas ramas y hojas.

Estrato arbóreo: corresponde al dosel más alto del agroecosistema, su conformación debe ser producto de un análisis detallado de las características morfológicas, fenológicas y nutricionales, pues se debe propender porque estos árboles o palmas contribuyan con sus atributos a dinamizar el flujo de materia y energía cumpliendo, entre otras, alguna de las siguientes condiciones:

- Poseer copa rala para permitir el paso de luz abundante que requieren los estratos inferiores (con capacidad de interceptar entre el 15 y 40 % de los rayos lumínicos).
- Densidades entre 300 y 600 árboles por hectárea, dependiendo la especie y las condiciones de la zona.
- Preferiblemente leguminosas para la fijación de nitrógeno.
- Poseer elevados contenidos de proteína.
- Árboles alimentarios multifuncionales (proveen alimento para al ganado y otras especies).
- De tronco erecto que permita su aprovechamiento para madera en el agroecosistema y/o industrial.

FIGURA 2.9. Detalle de un SSPi con botón de oro (*tithonia diversifolia*)



Fuente: elaboración propia.

Es importante mencionar que no se pretende que una especie cumpla con todas estas condiciones, solamente se sugiere que se seleccione aquella que mejor se adapte a las condiciones agroecológicas de la zona y a los propósitos del sistema silvopastoril. Para tal efecto se han realizado ensayos combinando varias especies de árboles, obteniendo buenos resultados (Mauricio et al., 2019). reduced biodiversity, land degradation, and dependence of chemical fertilizer to maintain biomass production are considered the main drivers that make this system unsustainable in time. Silvopastoral systems (SPSs). Entre las especies de uso frecuente en estos sistemas se pueden citar: algarrobo (*prosopis juliflora*), nogal cafetero (*cordia alliodora* L), saman (*albizia saman*), totumo (*crescentia cujete*), eucalipto (*eucalyptus tereticornis*), orejero (*enterolobium cyclocarpum*), guayacán rosado (*tabebuia rosea*), móncoro (*cordia gerascanthus* L) y caoba (*swietenia macrophylla*), entre otras especies (Calle et al., 2009; Estrada, 2002; Murgueitio et al., 2016).

2.4 SISTEMAS SILVOPASTORILES INTENSIVOS DE TRÓPICO ALTO¹

Se clasifican así los SSPi que se encuentran en clima medio y frío, que están por encima de los 2300 msnm, que para Colombia constituye la principal zona de producción de leche y que implica, entre otros aspectos, desafíos de tipo ambiental, social y tecnológico. Esta zona está marcada por amplios contrastes, pues en ella confluyen modelos de agricultura familiar campesina con bajos niveles tecnológicos y donde la ganadería es un componente de vital importancia, con sistemas de lechería especializada, altamente demandante en insumos (Corredor-Camargo et al., 2019; Fonseca Carreño et al., 2018).

FIGURA 2.10. *Sistemas agrosilvopastoriles en trópico alto*



Fuente: elaboración propia.

-
1. Algunos autores diferencian tres niveles altitudinales para los SSP, trópico bajo, trópico medio y trópico alto.

Los modelos de ganadería tradicional en trópico alto, en su concepción más generalizada, se basan en la producción de monocultivo de especies herbáceas como el kikuyo (*pennisetum clandestinum*) y ray grass (*lolium perenne*), entre otras especies, con uso intensivo de sustancias de síntesis química. Este modelo ha causado amplia deforestación y pérdida de la biodiversidad, pues no incluye otras especies dentro de la pradera. Tales consecuencias han propiciado el uso intensivo de la oferta ambiental, la degradación del suelo, contaminación de las fuentes hídricas, además de la mayor exposición a variaciones climáticas como heladas y temperaturas extremas. Dichas fluctuaciones térmicas generan problemas nutricionales y reproductivos en los animales, y pérdida de productividad en las pasturas, reflejándose en los niveles de competitividad de la actividad ganadera.

FIGURA 2.11. *Composición del sistema agrosilvopastoril intensivo*



Fuente: elaboración propia.

Las principales especies arbustivas y arbóreas que (tanto por su arquitectura, función ecosistémica, como por su aporte en biomasa forrajera de mayor calidad nutricional) se usan en los SSPi de trópico alto son: acacia negra (*acacia decurrens*), morera (*morus alba*), aliso (*alnus acuminata*) y botón de oro (*tithonia diversifolia*), entre otras.

El botón de oro (*tithonia diversifolia*) se usa por su amplio rango de adaptación altitudinal, que va desde el nivel del mar hasta los 2400 msnm; su capacidad de soportar condiciones de escasez de humedad, suelos ácidos y alto valor nutricional (superiores al 16 y el 24 % de proteína); rápido crecimiento y capacidad de rebrote; amplia

capacidad radicular, que le ayuda a soportar las épocas de escasez hídrica y anclaje al suelo, así como la terneza de los tallos y palatabilidad, la convierten en una especie de interés para su establecimiento en SSPi (Campanhola y Pandey, 2019; Wick y Tiessen, 2008; Zapata y Silva, 2016).

FIGURA 2.12. Botón de oro (*tithonia diversifolia*)



Fuente: elaboración propia.

Otra especie de soporte de los SSPi de trópico alto, es el aliso (*alnus acuminata* H.B.K.) Especie ampliamente distribuida por centro y Suramérica predominando en climas templados y fríos, en alturas superiores a los 2000 msnm. Se encuentra asociado a sistemas ganaderos, especialmente entre los 2500 y los 2900 msnm, siendo tolerante a las heladas cuando se encuentra plenamente establecido, lo cual constituye una valiosa condición para el trópico alto de Suramérica, donde este fenómeno climático es recurrente durante algunas épocas del año (Sánchez et al., 2010a).

Su sistema radicular es superficial extenso y abundante, propiedad usada para la protección de suelos, establecimiento en zonas de ladera y protección de fuentes de agua, evitando los procesos erosivos. Por ser árbol caducifolio permite la constante caída de hojas formando un mulch o cobertura, que compone rápidamente un horizonte orgánico con altos contenidos de nitrógeno, que facilita la recuperación de suelos degrada-

dos. Igualmente, su copa posee baja densidad, que facilita la entrada lumínica, lo que favorece el desarrollo de pasturas bajo este dosel.

La adopción de los sistemas silvopastoriles intensivos, así como el uso de prácticas y principios agroecológicos asociados, han permitido, entre otros beneficios, disminuir el impacto negativo de las temperaturas extremas, ya que, por la mayor cantidad y diversidad de especies herbáceas, arbustivas y arbóreas, se genera al interior del sistema un microclima que regulariza su funcionamiento en términos ecosistémicos. Además, disminuye su dependencia de insumos externos, especialmente de fertilizantes y otras sustancias de síntesis química; incrementa la producción de biomasa forrajera; y genera alimentos para la familia. Todo lo anterior se refleja en la productividad y rentabilidad de la actividad ganadera, convirtiendo a las SSPi en la principal alternativa para la sostenibilidad ambiental, económica y social de la ganadería de trópico alto (Uribe et al., 2011; Vignola et al., 2015).

2.4.1 EL TILO (SAMBUCOS PERUVIANA) EN LOS SSPI DE TRÓPICO ALTO

El tilo (*sambucus peruviana*) hace parte de una especie de amplia distribución a nivel mundial, desde Europa, Centroamérica hasta el sur de Argentina. En Colombia se encuentra especialmente en la zona andina, entre los 1400 y los 2800 msnm. Es un arbusto que llega a medir hasta cinco metros de altura, de color verde claro e intenso a manera de planta joven, posee una copa redondeada a irregular muy densa, sus hojas son compuestas, imparipinnadas con hasta nueve folíolos, su flor es un corimbo de color blanco de gran tamaño y agradable fragancia, los frutos son bayas de cerca de cinco milímetros, que pasan de color verde a púrpura oscuro o casi negro en plena madurez, es carnosa de buen sabor y contiene entre dos y cinco semillas.

FIGURA 2.13. Semilla de tilo (*sambucus peruviana*)



Fuente: elaboración propia.

Con respecto a su clasificación como especie, aún existen dudas, pues del género *sambucus* se ha reportado al menos 75 especies, con amplia variabilidad genotípica y fenotípica. Para algunos botánicos la especie *sambucus nigra* posee varias subespecies entre las cuales está la *sambucus peruviana* y la *sambucus canadiensis*, mientras que para otros no existe dicha condición. Pues la *sambucus nigra* es originaria de Europa, mientras que la *sambucus peruviana* es originaria de los andes suramericanos, lo cual significa que en esta región hay coexistencia de varias especies, subespecies y ecotipos. Al respecto los ganaderos del trópico alto reconocen dos especies, la primera denominada sauco (*sambucus nigra*) caracterizada por ser de porte alto, color verde oscuro, con usos ornamentales y medicinales, pero de baja palatabilidad para el ganado; y la segunda especie de color verde amarillento más frondosa y ampliamente apetecida por el ganado, conocida como tilo (*sambucus peruviana*), especie que predomina ampliamente en los SSPI de trópico alto (Calle et al., 2009).

FIGURA 2.14. Estructuras reproductivas de tilo (*sambucus peruviana*)



Fuente: elaboración propia.

En las tradiciones y costumbres rurales, el tilo y el sauco se usa como antiséptico, cicatrizante, antiirreumático, bactericida y antiviral, entre otras propiedades medicinales. También se usa como repelente e insecticida tanto en cultivos como en la ganadería, luego de someter sus hojas al fuego durante unos breves minutos. En países andinos como Perú y Bolivia se usa para alimentación humana, sus frutas maduras se usan en la preparación de conservas y dulces, mientras que sus hojas son consumidas cocidas o asadas (Calle et al., 2009; Sanchez et al., 2010b).

La propagación de esta especie generalmente se hace de forma vegetativa mediante el uso de explantes (partes de la planta), que dan origen a otra conservando las características anatómicas, fenológicas y productivas de la planta madre. Se usan yemas axilares, porciones de tallo o rebrotes vegetativos, que se generan en las raíces adventicias. La estaca es el método preferido por los ganaderos para la propagación, consiste en obtener una porción de tallo o rama con diámetro o grosor superior a un centímetro y de al menos 50 cm de longitud. Tanto el grosor como la longitud de la estaca es de especial cuidado, pues se debe garantizar que tenga más de cinco yemas viables, estado fitosanitario adecuado y óptimo nivel de turgencia, que permitirá el desarrollo de rebrotes vigorosos y sanos.

El uso de hormonas, tanto naturales como sintéticas, ha demostrado buenos resultados por la velocidad de generación de estructuras radiculares y foliares, que permite mayores niveles de eficiencia en este proceso.

FIGURA 2.15. Estacas para reproducción vegetativa de tilo



Fuente: elaboración propia.

El tilo es una planta multifuncional dentro de los SSPi, pues además de su función ecosistémica, provee forraje para los animales que puede ser consumido mediante ramoneo, en fresco (llevándolo hasta el sitio de estabulación) o por ensilaje, ya que se ha reportado buenos resultados nutricionales mediante la mezcla de varias especies con tilo. Desde el punto de vista nutricional, diversos autores reportan que esta especie posee entre el 22 y el 25 % de proteína cruda, lo cual es superior a otros pastos de la región (Sánchez et al., 2010b).

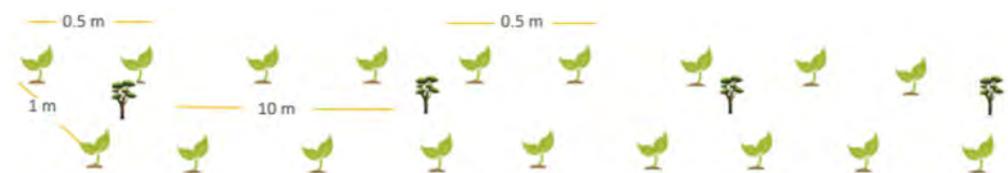
La base de los SSPi de trópico alto son los arreglos productivos o formas de organización espacial y temporal; las especies que allí intervienen se disponen de tal forma que se aprovechan sus potencialidades ecosistémicas y nutricionales, especialmente con la provisión alimentaria durante la época más seca del año. El tilo puede ser parte de diversos arreglos productivos, como los que se explican a continuación.

Cercas vivas. Son siembras lineales con árboles y arbustos, que tienen como propósito ser barrera rompeviento, separación física de potreros, provisión de forrajes y/o alimentos, y producción de madera, entre otros fines. Este arreglo productivo reemplaza

za las cercas tradicionales construidas con postes de madera o cemento y alambre de púa, que además de incrementar costos, no es ambientalmente sostenible y causa daños a los semovientes (Estrada-Álvarez, 2002).

El establecimiento se realiza con estacas hidratadas, es decir, máximo 24 horas posterior al corte, el cual debe realizarse en bisel con ángulo de 45° y la adición de un enraizante sintético, como ANA (ácido naftalenacético) o IBA (ácido indolbutírico); o enraizantes naturales, como agua de lenteja, agua de coco o cristal de sábila, entre otros; en este último caso, las estacas son sumergidas previamente durante 12 horas para luego ser sembradas. Para el sistema de cercas vivas se recomienda establecer una distancia entre 0.75 a 1.0 metro entre plantas, lo cual permite la adecuada densidad y cobertura como rompevientos.

FIGURA 2.16. *Diseño de cerca viva*



Fuente: elaboración propia

Para la siembra se recomienda tener en cuenta las siguientes indicaciones:



Para la siembra directa de la estaca en el sitio definitivo, prefiera aquellas de mayor grosor que resistan con mayor eficiencia las condiciones climáticas y de disponibilidad hídrica. Previamente haga la preparación con el enraizador, que es de vital importancia para su rápido prendimiento. Igualmente, se recomienda sembrarlas con una leve inclinación, superior a los 75°, que generará dominancia apical y por consiguiente una planta con tallo central robusto.



Siempre es necesario aplicar suficiente riego y/u otra estrategia para mantener la humedad del suelo, especialmente en las primeras semanas después de la siembra; se recomienda el uso de sustancias hidrorretedoras, las cuales se preparan 12 horas antes a razón de 1,5 gramos por litro de agua. Se deposita alrededor de la estaca y se cubre con suficiente suelo. Es recomendable que se aplique cal sobre la línea de siembra, a razón de 250 gramos por metro o 125 gramos por sitio de siembra. Igualmente, la materia orgánica es de suma importancia para el desarrollo de la planta.

FIGURA 2.17. Siembra de plántulas de tilo (*sambucus peruviana*)



Fuente: elaboración propia.



Otra forma, es la obtención de plántulas en vivero, que permite llevar a campo las más fuertes y desarrolladas, así como disminuir la mortalidad en campo y evitar la resiembra. Para lo anterior se dispone de bolsas plásticas con capacidad entre 0.5 y 1 kg, el suelo se enriquece con materia orgánica, microorganismos benéficos y enmiendas químicas, para que este provea la mejor condición para el desarrollo de la planta. La estaca se dispone en la bolsa como se mencionó anteriormente, sin olvidar la adición del enraizador, posteriormente se lleva a campo definitivo, pasados al menos cuatro meses, se adiciona al fondo del hueco 300 gramos de materia orgánica y 40 gramos de fertilizante (N-P-K).



Es importante que en la línea de siembra de la cerca viva se intercalen otros árboles forrajeros fijadores de nitrógeno, como aliso (*alnus acuminata*), sauce (*salix humboldtiana*), acacia japonesa (*acacia melanoxylon*) y gaque, entre otros. Dichos árboles se establecen a distancias entre 10 a 12 metros uno de otro.

Setos forrajeros. Este es un arreglo productivo que cumple los mismos principios de la cerca viva, en el cual se establecen dos o más líneas de siembra dentro de la pradera o en su periferia. Su principal función es aumentar la calidad nutricional de la pradera, división de lotes y fuente de madera, entre otros. Este sistema es muy versátil, pues permite diferentes arreglos con varias especies y densidades de siembra. Se recomienda distancias de 0.5 a 0.75 metros entre plantas y 1.0 metro entre filas, al interior del seto se deben establecer arbustos como aliso, sauce, acacia japonesa, entre otras, a distancias de siete a diez metros, también es importante el establecimiento de árboles que se intercalan a la línea de los arbustos (Sanchez et al., 2010b; Uribe et al., 2011).

FIGURA 2.18. *Diseño de seto forrajero*



Fuente: elaboración propia.

Bancos de forraje. Arreglo productivo donde se establecen una o varias especies en alta densidad de siembra y cuyo principal propósito es la generación de forraje de alta calidad y altos volúmenes, para cubrir las épocas de mayor escasez, ya sea mediante pastoreo directo o para corte. Es deseable la inclusión de especies fijadoras de nitrógeno junto con aquellas forrajeras que lo requieren en alta cantidad (aportantes de energía), lo cual evita que este sea aprovechado por otras especies arvenses de

bajo interés nutricional o que causa efectos adversos en la pastura, por el contrario, es preferible el establecimiento de una especie que forme cobertura sobre el suelo y que a la vez aporte a las dinámicas nutricionales del sistema como maní forrajero (Calle et al., 2009; Uribe et al., 2011).

Este arreglo tiene amplias posibilidades para su establecimiento, pues las distancias de siembra varían ampliamente de acuerdo con las especies involucradas, las condiciones climáticas y las prácticas de manejo de este arreglo productivo. Se disponen a distancias de 0.75 a 1.0 metro entre plantas y 1.0 metro entre filas, incluyendo, como líneas alternas, arbustos y árboles de especies leguminosas y con alta capacidad de provisión de calorías, con lo cual se establecen entre 1000 y 12500 plantas por hectárea.

FIGURA 2.19. Establecimiento de bancos forrajero



Fuente: elaboración propia.

El primer corte se realiza a los ocho o diez meses de establecido y cuando alcance una altura superior a los 60 centímetros. Posteriormente, se hace cosecha (corte) cada seis meses aproximadamente. Se recomienda hacer este corte de 25 a 30 centímetros de la base de la planta, de tal forma que debajo del corte queden suficientes yemas para la generación de nuevas ramas. En cada cosecha se va incrementando la distancia de corte, que obliga a realizar una poda de renovación luego de cinco a seis cosechas. El forraje verde se provee a los animales directamente en el potrero o en los establos (Calle et al., 2009; Murgueitio et al., 2014; Uribe et al., 2011) 12 times more beef is produced than under extensive pastures and 4.5 more beef than under improved pastures without trees, but methane (CH₄).

Sistemas agrosilvopastoriles de trópico alto. Consiste en un arreglo productivo que, además de lo anteriormente presentado, incorpora especies de importancia alimentaria para la familia rural. Se establecen especies frutales, hortalizas, tubérculos y leguminosas, aprovechando el arreglo temporal y espacial, pues durante los primeros meses del establecimiento o cosecha del tilo, queda suficiente espacio entre las filas, que permite realizar este tipo de cultivos; beneficiándose de la interacción entre las diferentes especies, el ciclaje de nutrientes y la mayor biodiversidad, que implica menor necesidad de aplicación de fertilizantes y plaguicidas, además del aporte nutricional y de ingresos monetarios adicionales por esta actividad.

El primer corte se realiza a los ocho o diez meses de establecido y cuando alcance una altura superior a los 60 centímetros. Posteriormente, se hace cosecha (corte) cada seis meses aproximadamente. Se recomienda hacer este corte de 25 a 30 centímetros de la base de la planta, de tal forma que debajo del corte queden suficientes yemas para la generación de nuevas ramas.

CONCLUSIONES

El recorrido conceptual por las diferentes formas de organización de sistemas de producción, basadas en la agroforestería, permiten evidenciar que, si bien este es un sistema de formación natural, se han incorporado diversas estrategias y prácticas agroecológicas con el fin de ajustarlo a la disponibilidad de recursos y los requerimientos propios de cada región, capacidad tecnológica y expectativas de los productores; y, en algunos casos, de los mismos consumidores, siempre pensando en la sustentabilidad del sistema de producción, la inocuidad de los productos y la rentabilidad para los ganaderos.

Igualmente, como producto adaptativo de la agroforestería se han estructurado los sistemas agrosilvopastoriles, los cuales (mediante la implementación de diversos arreglos productivos, el aprovechamiento de las propiedades de algunas especies leguminosas, forrajeras y de la adaptación a condiciones del ambiente, además de la introducción de especies agroalimentarias) generan un sistema de producción ganadera altamente eficiente, sustentable y que coadyuva con el enfriamiento del planeta, la equidad en el sistema agroalimentario y el bienestar de las familias rurales. Estos y otros beneficios incentivan a seguir adelantando trabajos conjuntos con los diferentes sectores interesados, para profundizar en su conocimiento, desarrollo tecnológico y apropiación social.



Estos y otros beneficios incentivan a seguir adelantando trabajos conjuntos con los diferentes sectores interesados, para profundizar en su conocimiento, desarrollo tecnológico y apropiación social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alonso, O., Lezcano, J. C., Sanabria, Y. y Suris, M. (2015). Interrelation of indicators of management-plant health-conservation of forage resources in Cuban silvopastoral systems. *Cuban journal of agricultural science*, 49(4), 555-560. <http://scielo.sld.cu/pdf/cjas/v49n4/cjas18415.pdf>

Anriquez, A. L., Barrionuevo, M. C., Silberman, J. E., Dominguez, N. J., Nuñez, J. A. D., & Albanesi, A. S. (2018). Impacto de los sistemas silvopastoriles en los microorganismos relacionados al ciclo del N. *Ciencia Del Suelo*, 36(2), 117-128.

Baldassini, P. y Paruelo, J. M. (2020, abril). Sistemas agrícolas y silvopastoriles en el chaco semiárido. Impactos sobre la productividad primaria. *Ecología Austral*, 30(1), 45-62. <https://doi.org/10.25260/EA.20.30.1.0.961>

Bertalanffy, L. V. (1972). The History and Status of General Systems Theory. *Academy of Management Journal*, 15(4), 407-426. <https://www.jstor.org/stable/255139?seq=1>

Buitrago-Guillen, M. E., Ospina-Daza, L. A. y Narváez-Solarte, W. (2018, enero-junio). Sistemas Silvopastoriles: alternativa en la mitigación y adaptación de la producción bovina al cambio climático. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de historia natural*, 22(1), 31-42. <http://www.scielo.org.co/pdf/bccm/v22n1/0123-3068-bccm-22-01-00031.pdf>

Caicedo-Rosero, D. M., Benavides-Rosales, H. R., Carvajal-Pérez, L. A. y Ortega-Hernández, J. P. (2018, marzo-agosto). Macrofauna population in silvopastoral systems for milk production: Preliminary analysis. *La Granja. Revista de ciencias de la vida*, 27(1), 77-85. <https://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.06>

Calle-Díaz, Z., Naranjo, J. F. y Murgueitio, E. (2009). Ganadería y ambiente. El tilo: puerta de entrada a los silvopastoriles en el trópico alto. En *Carta Fedegán No. 110. XXXI Congreso Nacional de Ganaderos* [Informe especial] (pp. 118-127). Fedegan. <https://www.fedegan.org.co/carta-fedegan-110-xxxi-congreso-nacional-de-ganaderos>

Campanhola, C., & Pandey, S. (2019). Sustainable Livestock and Animal-Sourced Food. In *Sustainable Food and Agriculture* (pp. 225-232). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-812134-4.00022-4>

Contexto ganadero (2019). Re: Debemos aumentar competitividad de la cadena para aprovechar los TLC": CEO de Alpina. [Archivo web]. <https://www.contextoganadero.com/reportaje/debemos-aumentar-competitividad-de-la-cadena-para-aprovechar-los-tlc-ceo-de-alpina>

Corredor-Camargo, E. S., Páez-Barón, E. M. y Fonseca-Carreño, J. A. (2019). *Desarrollo y extensión rural. Estrategias para el fortalecimiento de la agricultura familiar campesina* (1ª ed.). UNAD.

Cuartas-Cardona, C. A., Naranjo-Ramírez, J. F., Tarazona-Morales, A. M., Murgueitio-Restrepo, E., Chará-Orozco, J. D., Ku-Vera, J. C., Solorio-Sánchez, F. J., Flores-Estrada, M. X., Solorio-Sánchez, B. y Barahona-Rosales, R. (2014). Contribución de los sistemas silvopastoriles intensivos al desempeño animal y a la adaptación y mitigación al cambio climático. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 27(2), 76-94. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5450226>

Estrada-Álvarez, J. (2002). *Pastos y forrajes para el trópico colombiano*. Universidad de Caldas.

Fonseca-Carreño, J. A., Páez-Barón, E. M. y Corredor-Camargo, E. S. (2018). *Metodologías para la estimación de sostenibilidad agropecuaria*. UNAD. <https://doi.org/10.22490/9789586516501>

Hernández-Chávez, M., Sánchez-Cárdenas, S. y Guelmes, L. S. (2008, septiembre). Efecto de los sistemas silvopastoriles en la fertilidad edáfica. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 319-321. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000300035

Jiménez-Ruíz, E. R., Fonseca-González, W. y Pazmiño-Pesantez, L. (2019, marzo-agosto). Silvopasture systems and climate change: Estimate and prediction of arboreal biomass. *La Granja. Revista de ciencias de la vida*, 29(1), 44-55. <https://doi.org/10.17163/lgr.n29.2019.04>

Lemaire, G., De Faccio-Carvalho, P. C., Kronberg, S. y Recous, S. (Eds.). (2018). *Agroecosystem diversity: Reconciling contemporary agriculture and environmental quality*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2016-0-00198-5>

León-Sicard, T. E., Calderón, J. T., Martínez-Bernal, L. F. y Cleves-Leguízamo, J. A. (2018). The Main Agroecological Structure (MAS) of the agroecosystems: Concept, methodology and applications. *Sustainability*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/su10093131>

León-Sicard, T., Mendoza-Rodríguez, T. y Córdoba-Vargas, C. (2014). La estructura agroecológica principal de la finca (EAP): un nuevo concepto útil en agroecología. *Agroecología*, 9(1-2), 55-66. <https://revistas.um.es/agroecologia/article/view/300621/215901>

Mauricio, R. M., Ribeiro, R. S., Campos-Paciullo, D. S., Cangussú, M. A., Murgueitio, E., Chará, J. y Flores-Estrada, M. X. (2019). Chapter 18 - Silvopastoral Systems in Latin America for Biodiversity, Environmental, and Socioeconomic Improvements. En G. Le-maire, P. C. De Faccio Carvalho, S. Kronberg y S. Recous (Eds.), *Agroecosystem Diversity Reconciling Contemporary Agriculture and Environmental Quality* (pp. 287-297). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811050-8.00018-2>

Milanesi, G., Ricardo-Broz, D. y Woitschach, G. B. (2013, septiembre-noviembre). Opciones reales para determinar el turno óptimo en sistemas silvopastoriles: análisis de inversión. *Madera y Bosques*, 19(3), 81-98. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-04712013000300007

Montagnini, F. (2017). Introduction: Challenges for Agroforestry in the New Millennium. En F. Montagnini (Ed.) *Integrating Landscapes: Agroforestry for Biodiversity Conservation and Food Sovereignty* (pp. 3-10). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-69371-2_1

Montagnini, F., Somarriba, E., Murgueitio, E., Fassola, H. y Eibl, B. (2015). *Sistemas agroforestales: funciones productivas, socioeconómicas y ambientales. Sistemas Agroforestales* [Serie técnica. Informe técnico 402]. CIPAV. <http://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/sistemas-agroforestales-funciones-productivas-socioeconomicas-y-ambientales.pdf>

Murgueitio, E. R., Chará, J. D., Solarte, A. J., Uribe, F., Zapata, C. y Rivera, J. E. (2013). Agroforestry intensive livestock and pasture systems (SSPi) for livestock adaptation to climate change sustainability. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 26, 313-316. https://www.researchgate.net/publication/289423160_Agroforestry_intensive_livestock_and_pasture_systems_SSPi_for_livestock_adaptation_to_climate_change_sustainability

Murgueitio, E., Barahona, R., Chará, J. D., Flores, M. X., Mauricio, R. M. y Molina, J. J. (2015, diciembre). The intensive silvopastoral systems in Latin America sustainable alternative to face climatic change in animal husbandry. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 49(4), 541-554.

Murgueitio, E., Chará, J., Barahona, R., Cuartas, C. y Naranjo, J. (2014). Los Sistemas Silvopastoriles Intensivos (SSPI), herramienta de mitigación y adaptación al cambio

climático. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 17(3), 501-507. <https://www.redalyc.org/pdf/939/93935728001.pdf>

Murgueitio, E., Galindo, W., Chará, J. y Uribe, F. (Eds.). (2016). *Establecimiento y Manejo de Sistemas Silvopastoriles Intensivos con Leucaena* (1ª ed., Vol. 1). CIPAV. <http://cipav.org.co/wp-content/uploads/2020/08/establecimiento-manejo-sistemas-silvopastoriles-intensivos-con-leucaena.pdf>

Ochoa, D. E., Lopera, J. J., Márquez, S. M., Calle, Z., Giraldo, C., Chará, J. y Murgueitio, E. (2017). Los sistemas silvopastoriles intensivos contribuyen a disminuir el ataque de chupadores en pasto kikuyu (*Cenchrus clandestinus*). *Livestock research for rural development*, 29(5). <http://www.lrrd.org/lrrd29/5/lope29082.html>

Palomo-Campesino, S., Ravera, F., González, J. A. y García-Llorente, M. (2018, septiembre). Exploring Current and Future Situation of Mediterranean Silvopastoral Systems: Case Study in Southern Spain. *Rangeland Ecology & Management*, 71(5), 578-591. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rama.2017.12.013>

Ramachandran-Nair, P. K. (2014). Agroforestry: Practices and Systems. En N. K. Van Alfen (Ed.) *Encyclopedia of Agriculture and Food Systems* (pp. 270-282). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-444-52512-3.00021-8>

Sánchez, L., Amado, G., Criollo, P., Carvajal, T., Roa, J., Cuesta, A., Conde, A., Umaña, A., Bernal, L. y Barreto, L. (2010b). *El sauco (sambucus nigra) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano* [Colección]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13488/44236_56514.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez, L., Amado, G., Criollo, P., Carvajal, T., Roa, J., Cuesta, A., Conde, A., Umaña, A., Bernal, L. y Barreto, L. (2010a). *El aliso (alnus acuminata HBK) como alternativa silvopastoril en el manejo sostenible de praderas en el trópico alto colombiano* [Colección]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica. https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13489/44241_56519.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Sánchez-Gómez, A., Rosendo-Ponce, A., Vargas-Romero, J. M., Rosales-Martínez, F., Platas-Rosado, D. E. y Becerril-Pérez, C. M. (2018, septiembre). Energía germinativa en Guaje (*Leucaena leucocephala* cv. Cunningham) con diferentes métodos de escarificación de la semilla. *Agrociencia*, 52(6), 863-874. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952018000600863

Silberman, J., Albanesi, A., Romero, A. y Grasso, D. (2019). Los sistemas silvopastoriles de la región chaqueña modifican el potencial catabólico de las comunidades microbianas del suelo. *Ciencia del suelo*, 37(1), 164-172. <http://www.suelos.org.ar/publicaciones/Volumen37n1/15-408%20WEB.pdf>

Somarriba, E. y Lega, F. (1991, febrero). Cattle grazing under *Pinus caribaea*. 1. Evaluation of farm historical data on stand age and animal stocking rate. *Agroforestry Systems*, 13(2), 177-185. <https://doi.org/10.1007/BF00140240>

Uribe, F., Zuluaga, A. F., Murgueitio, E., Valencia, L. M., Zapata, A., Solarte, L. H., Cuartas, C. A., Naranjo, J. F., Galindo, W. F., González, J. G., Sinisterra, J. A., Gómez, J. C., Molina, C. H., Molina, E. J., Galindo, A., Galindo, V. A. y Soto, R. (2011). *Establecimiento y manejo de sistemas silvopastoriles* [Manual 1, proyecto ganadería colombiana sostenible]. GEF, Banco Mundial, Fedegan, Cipav, Fondo Acción y TNC.

Vignola, R., Harvey, C. A., Bautista-Solis, P., Avelino, J., Rapidel, B., Donatti, C. y Martínez, R. (2015, diciembre). Ecosystem-based adaptation for smallholder farmers: definitions, opportunities and constraints. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 211, 126-132. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.05.013>

Wick, B. y Tiessen, H. (2008, mayo). Organic Matter Turnover in Light Fraction and Whole Soil Under Silvopastoral Land Use in Semiarid Northeast Brazil. *Rangeland Ecology & Management*, 61(3), 275-283. <https://doi.org/https://doi.org/10.2111/07-038.1>

Zapata, A. y Silva, B. (2016). *Sistemas silvopastoriles: Aspectos teóricos y prácticos*. Carder y CIPAV.

Zapata, C., Robalino, J. y Solarte, A. (2015, enero). Influence of payment for environmental services and other biophysical and socioeconomic variables on the adoption of silvo-pastoral systems at the farm level. *Livestock Research for Rural Development*, 27(4). https://www.researchgate.net/publication/281805037_Influence_of_payment_for_environmental_services_and_other_biophysical_and_socioeconomic_variables_on_the_adoption_of_silvo-pastoral_systems_at_the_farm_level

Zepeda-Cancino, R. M., Velasco-Zebadúa, M. E., Nahed-Toral, J., Hernández-Garay, A. y Martínez-Tinajero, J. J. (2016, octubre-diciembre). Adopción de sistemas silvopastoriles y contexto sociocultural de los productores: Apoyos y limitantes. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, 7(4), 471-488. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11242016000400471



CAPÍTULO



BUENAS PRÁCTICAS GANADERAS



RESUMEN

Este capítulo realiza un análisis documental del estado de sistemas ganaderos destinados a la producción de leche en Colombia, describe aspectos básicos de las Buenas Prácticas Ganaderas (BPG), incluyendo el proceso de certificación, los beneficios y la normatividad vigente.

INTRODUCCIÓN

Una proyección conservadora muestra que la población mundial seguirá creciendo de forma acelerada, hasta alrededor de un 32 % para el 2050 y un 53 % para el 2100. Debido a que la mayoría de las tierras cultivables del mundo ya estarán en uso y recursos como el agua y la energía son limitados, una mayor producción de alimentos requerirá un aumento sustancial en la eficiencia, resaltando la importancia de la producción animal, para lograr la seguridad alimentaria en términos de su valiosa contribución a la producción interna, especialmente en los países en desarrollo, y el alto valor nutricional de los productos animales en la dieta (Reynolds et al., 2015).

Sin embargo, existen fuerzas de cambio que podrían tener un impacto negativo en la seguridad alimentaria y la agricultura sostenible durante el siglo XXI, incluyendo la tecnología y economía de escala, que usa cada vez equipos más especializados, pero a los que no todos los productores tienen acceso; la demanda de salarios más elevados para el sector agrícola; los mercados reducidos, acompañados de agricultura subsidiada en el extranjero que, por motivos políticos y de autosuficiencia, redundan en que los agricultores de los países en desarrollo sean aún más pobres y menos competitivos; la demanda de una mejor calidad de producto; el aumento del valor de la tierra y el cambio en su uso por el crecimiento poblacional. Un factor muy importante es que el uso desmedido de recursos puede llevar a la autodestrucción del sistema productivo y de su ecosistema (Ala y Ridwan, 2020).

Los aspectos mencionados van en contra de la seguridad alimentaria, tal como la define el Comité de Seguridad Alimentaria Mundial de las Naciones Unidas, “significa que todas las personas, en todo momento, tienen acceso físico, social y económico a alimentos suficientes, seguros y nutritivos que satisfaga sus preferencias alimentarias y necesidades dietéticas para una vida activa y saludable” (FAO, 2011, p. 1).

En consecuencia, la producción animal debe considerar los tres pilares de la sostenibilidad que incluyen: medio ambiente, economía y sociedad. El primero de estos pilares está enmarcado en las restricciones de tierra, agua y demás recursos naturales requeridos en los procesos productivos; en lo referente a aspectos económicos, resultan ser claves: el mercado, la competitividad comercial y la producción primaria. Mientras que, a nivel social, se destaca la atención a los pequeños productores ganaderos, la equidad y la responsabilidad social (NRC, 2015). De manera conjunta con los aspectos sanitarios, las BPG buscan beneficios en estos tres pilares dentro de la producción primaria, en pro del mejoramiento de la competitividad, seguridad y calidad de los productos.

3.1 LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BOVINA DE LECHE EN COLOMBIA Y EN BOYACÁ

3.1.1 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BOVINA DE LECHE EN COLOMBIA

El sector agropecuario en Colombia constituye uno de los de mayor importancia y su aporte al producto interno bruto (PIB) ha tenido un crecimiento importante durante los últimos años, de acuerdo con datos brindados por el Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) y comunicados por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. Para el primer trimestre del año 2020, este sector tuvo un crecimiento de 6,8 % y fue uno de los principales sectores de impulso a la economía colombiana en el primer trimestre del año 2020 (Minagricultura, 2020). Este crecimiento ha sido sostenido durante los últimos cuatro años, denotando un repunte de este sector en su aporte a la economía nacional.

De acuerdo con estos datos brindados por el DANE, el crecimiento del 6,8 % obtenido por el sector agropecuario en el primer trimestre de 2020 ha sido posible gracias al aporte de las actividades productivas de: pesca y acuicultura (31,5 %); cultivos transitorios, permanentes y otros (8,6 %); ganadería (7,1 %); y silvicultura y extracción de madera (2,6 %) (Minagricultura, 2020).

En este marco, es necesario resaltar la importancia del sector ganadero bovino en el desarrollo agropecuario colombiano, constituyéndose en uno de los mayores aportantes al PIB del sector agropecuario y el principal aportante del PIB pecuario. Según

datos brindados por Fedegan (2019), la ganadería bovina en Colombia aporta el 6% del PIB nacional, el 21,8 % del PIB agropecuario y el 48,7 % del PIB pecuario, lo que visibiliza la importancia de este sector en la economía nacional y regional.

Es necesario señalar que cerca de un millón de personas (950 mil) trabajan en ganadería, lo cual representa cerca del 7 % de los empleos del país y el 20 % del total de empleos del sector agropecuario (Minagricultura, 2018).

Dentro del sector ganadero bovino, se resalta la importancia de la producción lechera, destacándose el país, como el décimo primer productor de leche a nivel mundial, que lo posiciona como uno de los principales renglones aportantes al sector económico a nivel pecuario. Sumado a lo anterior, y gracias al mejoramiento de los procesos sanitarios y de calidad, se han ido aumentando las exportaciones de leche y sus derivados (quesos, mantequilla, yogurt y leche concentrada) a mercados internacionales como Estados Unidos, Panamá, Perú, Costa Rica, Ecuador, Rusia y Aruba (Palacios, 2017).

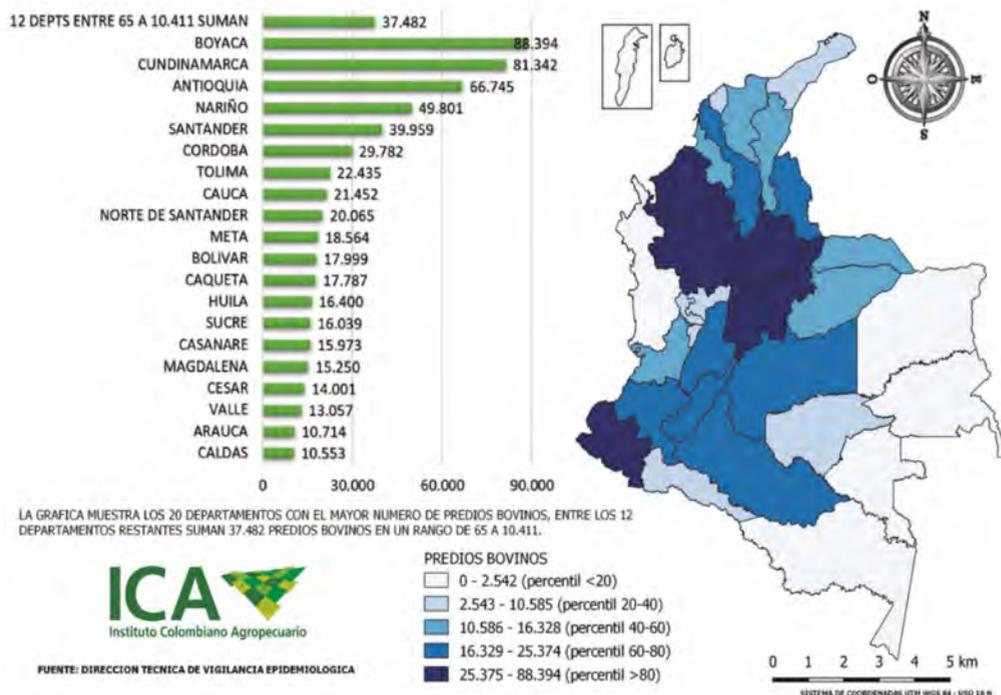
La producción ganadera bovina, a nivel nacional, ha mantenido un crecimiento sostenido durante los últimos años. Según cifras del Instituto Agropecuario Colombiano (ICA), para el 2019, en Colombia se contaba con un total de 27.234.027 de cabezas de ganado, localizadas principalmente en diez (10) departamentos: Antioquia (11,35 %), Córdoba (7,84 %), Casanare (7,84 %), Meta (7,51 %), Caquetá (6,97 %), Santander (5,94 %), Cesar (5,45 %), Cundinamarca (5,32 %), Magdalena (4,93 %) y Bolívar (4,49 %) (ICA, 2020b).

Respecto al número de predios en los que se localiza la producción ganadera, existe una variabilidad, en comparación con el número de cabezas señalados en el párrafo anterior. En este parámetro, Boyacá se localiza en el primer lugar en cuanto a la cantidad del predio. En el territorio nacional existen 623.794 predios, localizados principalmente en los departamentos de: Boyacá (14,17 %), Cundinamarca (12,75 %), Antioquia (10,70 %), Nariño (7,98 %) y Santander (6,41 %) (ICA, 2020b).



La producción ganadera bovina, a nivel nacional, ha mantenido un crecimiento sostenido durante los últimos años.

FIGURA 3.1. Número de predios bovinos por departamento 2019



Fuente: Instituto Colombiano Agropecuario, ICA, 2020.

3.1.2 SISTEMAS DE PRODUCCIÓN BOVINA DE LECHE EN BOYACÁ

La ganadería bovina representa uno de los principales sectores aportantes a la economía productiva del departamento de Boyacá, se resalta que casi la totalidad de unidades productivas agropecuarias poseen algún semoviente y que Boyacá posee el mayor número de predios de ganadería bovina en el país (ICA, 2020), lo cual respalda su importancia como aportante al PIB regional.

Los sistemas de producción ganadera bovina en Boyacá están constituidos en su mayor parte por pequeños productores, se señala, que aproximadamente en 82 % de los productores de Boyacá poseen menos de 50 cabezas de ganado en su predio; cifras dadas por el departamento, señalan que cerca del 47 % de los ganaderos tienen menos de 10 cabezas de ganado, un 22 % entre 11 y 25 cabezas de ganado, un 13 % entre 26 y 50 cabezas de ganado; igualmente se menciona que los medianos ganaderos, es decir, aquellos que tienen entre 51 a 500 cabezas de ganado constituyen el 17 % y

únicamente el 1 % corresponde a grandes productores, es decir, aquellos que poseen más de 500 cabezas de ganado en sus predios (Gobernación de Boyacá, 2020).

FIGURA 3.2. *Sistemas productivos ganaderos de Boyacá*

Fuente: elaboración propia, 2020.



De acuerdo con datos del tercer censo nacional agropecuario (DANE, 2014), Boyacá se posiciona como el tercer departamento en producción lechera a nivel nacional, con una producción total de 1.432.500 L/día, destacándose la importancia de este sector en la economía a nivel local y regional. De acuerdo con José Manuel Restrepo, Boyacá aporta cerca del 7 % del total de la producción lechera a nivel nacional, superado únicamente por Antioquia con el 37 % de la producción y Cundinamarca con un 30 % de la producción lechera del país (Mincomercio, 2019).

No obstante, su importancia en lo productivo y económico, durante los últimos años los productores se han visto afectados por diversas problemáticas, entre las cuales se resaltan: la variabilidad y el cambio climático, el aumento del precio de los insumos, el bajo precio del producto final (leche) en la mayoría de los mercados, la limitación en el acceso a nuevos mercados y la variabilidad en la calidad de la leche obtenida, entre

otros. Sumado a lo anterior, Fajardo, López y Toloza (Contexto Ganadero, 2019) señalan otros problemas que profundizan la debilidad estructural del sector lácteo a nivel regional y están representados por: fluctuación en la recolección del producto por parte de la industria transformadora; la crisis petrolera, que ha disminuido el consumo de productos en un nicho de la población; y, por último, el elevado nivel de contrabando con la frontera venezolana, que trae consigo otras problemáticas relacionadas principalmente con la sanidad animal. Igualmente, la gobernación del departamento ha detectado otros problemas que limitan la productividad en la región, como la deficiencia en los procesos en transferencia de tecnología y en las instituciones y centros de investigación, para el fomento y la implementación de programas de mejoramiento genético, que contribuyan a mejorar la productividad de los sistemas en la región (Gobernación de Boyacá, 2020).

Como mecanismo de mitigación de las problemáticas, se han implementado diversos programas y proyectos encaminados a mejorar la calidad del producto obtenido y con ello la productividad y competitividad de los sistemas productivos. Uno de ellos es el programa para el fortalecimiento de la asistencia técnica, para mejorar la competitividad de los pequeños y medianos productores de leche del departamento de Boyacá, desarrollado bajo el amparo del CONPES 3375; el programa ha tenido cuatro fases en el departamento y su fin principal es fomentar la implementación de las buenas prácticas ganaderas, como estrategia de mejoramiento de productividad, competitividad y estímulo a los procesos de asociatividad del sector en el departamento.

Boyacá es uno de los departamentos en donde la implementación y certificación de fincas en Buenas Prácticas Ganaderas (BPG) ha tenido un crecimiento durante los últimos años; sin embargo, este no ha sido el esperado para el potencial que tiene el departamento, en cuanto al número de unidades de producción agropecuaria, y se observa un crecimiento mayor de estos procesos en otros departamentos de vocación lechera como Antioquia, Cundinamarca y Nariño (ICA, 2020a). Por ello, debe fortalecerse el proceso de certificación en buenas prácticas ganaderas y mejoramiento de la calidad, con el fin de incrementar el número de fincas certificadas en BPG en la región. De acuerdo con los datos publicados por el ICA en junio del 2020, se tienen en el país 1043 predios ganaderos bovinos certificados en BPG (ver Tabla 3.1), de los cuales 14 corresponden al departamento de Boyacá (ICA, 2020b). Lo anterior, constituye un bajo número, si se tiene en cuenta que el proceso empezó en el 2012.

TABLA 3.1. Predios con certificación en BPG en Colombia

PREDIOS CON CERTIFICACIÓN BPG VIGENTE A JUNIO 30 DE 2020								
DEPARTAMENTO	Bovina	Bufalina	Caprina	Equina	Ovina	Ovino Caprino	Porcina	Total general
Antioquia	367			1		1	218	587
Arauca	4							4
Bolívar						1		1
Caldas	17						12	29
Caquetá	4							4
Casanare	50							50
Cauca	15			1		1	1	18
Cesar	4				1	1		6
Choco							1	1
Córdoba	61	2				1	1	65
Cundinamarca	103			1		4	5	113
Huila	5						5	10
La Guajira						1		1
Magdalena							1	1
Meta	15					1	8	24
Nariño	186					2	2	190
Norte de Santander	20					3		23
Putumayo	1							1
Risaralda	63			2			63	128
Santander	18		1			8	1	28
Sucre	5							5
Tolima	3						4	7
Valle del Cauca	22						8	30
Boyacá	14					1		15
Atlántico	4					1	4	9
Quindío	62					1	39	102
Total general	1043	2	1	5	1	27	373	1452

Fuente: Instituto Agropecuario Colombiano, ICA, 2020.

Otro de los aspectos a resaltar, es que la ganadería bovina es la especie de interés económico a nivel de Colombia, en la cual se ha tenido un mayor avance en los procesos de implementación de las BPG, y ha sido la base para el desarrollo de estos procesos en otras especies como la porcina, ovina, equina, caprina y bufalina.

3.2 CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS GANADERAS

3.2.1 DEFINICIÓN Y PROCESO DE CERTIFICACIÓN

El Instituto Agropecuario Colombiano (ICA) define las BPG como:



Prácticas recomendadas con el propósito de disminuir riesgos físicos, químicos y biológicos en la producción primaria de alimentos de origen animal, que puedan generar riesgo a las personas promoviendo la sanidad, el bienestar animal y la protección del medio ambiente. (ICA, 2020a, p. 4)

Fedegan (2012) enfatiza el significado de las BPG en las acciones involucradas en el eslabón primario de la ganadería bovina, desarrolladas al interior del predio o de la finca, es decir, involucra la fase de producción primaria del sistema. Al respecto, la FAO elabora una definición descriptiva de las Buenas Prácticas, al señalar que consisten en:

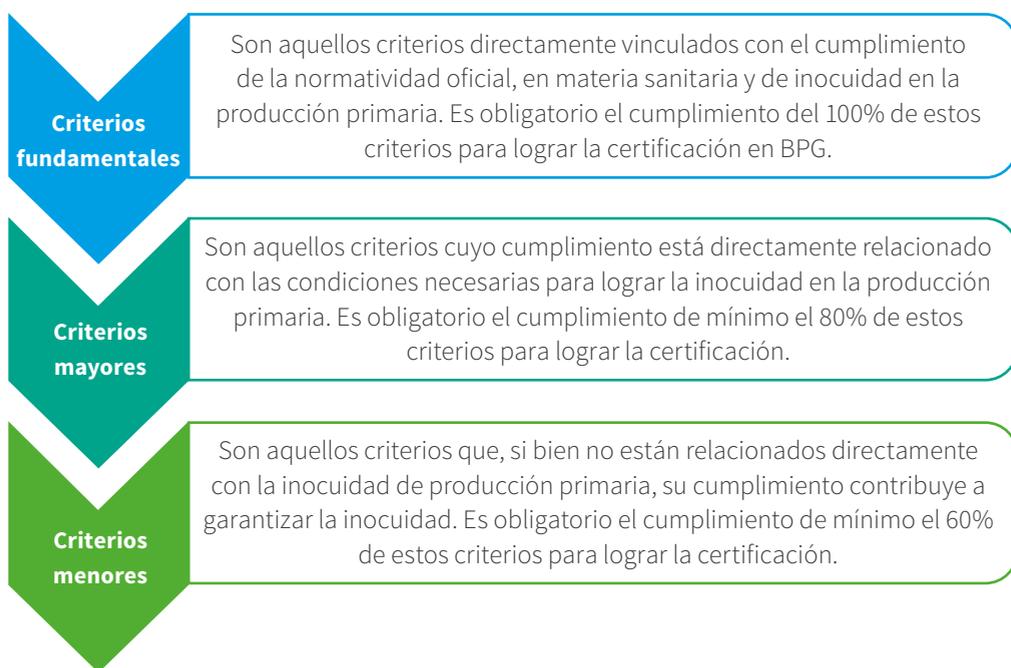


La aplicación del conocimiento disponible, a la utilización sostenible de los recursos naturales básicos para la producción, en forma benévola, de productos agrícolas alimentarios y no alimentarios inocuos y saludables, a la vez que se procuran la viabilidad económica y la estabilidad social. En el fondo se trata del conocimiento, la comprensión, la planificación y mensura, registro y gestión orientados al logro de objetivos sociales, ambientales y productivos específicos, por lo que el objetivo principal de las buenas prácticas en producciones lecheras es que la leche sea producida por animales sanos y bajo condiciones generalmente aceptadas. (Inciarte, 2004 p. 5)

Los productores de leche hacen parte de la larga cadena de producción y transformación, que involucra adicionalmente a personas encargadas del suministro de insumos para el sistema, transportadores, fabricantes de subproductos, distribuidores, minoristas y consumidores, cada uno de estos eslabones debe hacer parte del sistema integral de gestión, para el aseguramiento de la salubridad y la calidad de los productos

de origen animal (FAO y FIL, 2012). De manera específica, los responsables del proceso de certificación en BPG son los actores involucrados en la producción primaria, de forma primordial están los productores, comprometidos con las acciones desarrolladas en la finca. Su acción está apoyada por el ICA, entidad certificadora, la Federación Colombiana de Ganaderos (Fedegan), las empresas lácteas, las asociaciones de productores, las empresas y profesionales prestadores del servicio de asistencia técnica, los comités ganaderos y todos aquellos involucrados en la cadena de producción. Para lograr la certificación del predio, los productores deben tener en cuenta las disposiciones descritas en la Resolución No. 067449 del 2020, en la que se establecen los criterios fundamentales, mayores y menores (Figura 3.1)

FIGURA 3.3. *Criterios para la certificación de BPG*



Fuente: Instituto Agropecuario Colombiano, ICA, 2020.

El cumplimiento de los criterios para la certificación de BPG tiene como objetivo la producción de leche saludable y de calidad, obtenida de animales sanos, utilizando prácticas sostenibles tanto desde el punto de vista del bienestar animal como desde una perspectiva social, económica y medioambiental (FAO, 2012; Villoch, 2010). En consecuencia, los productores deben aplicar las BPG en las áreas listadas en la Figura 3.2, requisitos que al ser verificados y contrastados con los criterios, permitirán obtener el concepto técnico para el predio de certificado o aplazado (ICA, 2020a).

FIGURA 3.4. *Requisitos para la certificación en BPG*



Fuente: elaboración propia adaptada de Buenas Prácticas Ganaderas, ICA, 2020.

La aplicación de las tecnologías de buenas prácticas en las unidades ganaderas encuentra barreras como deficiencias en infraestructura; informativas y educativas; de apoyo institucional; personales y económicas (Panahzadeh-Parikhani et al., 2015); falta de financiamiento o líneas de crédito altas, así como déficit de conocimiento sobre el mercado y de la implementación de nuevas técnicas (Flores-González et al., 2019). Estas barreras se explican debido a que los costos iniciales para los pequeños productores pueden ser altos; en un estudio realizado por García y colaboradores (2017) se evidenció que el costo de transición tiende a ser más elevado en las fincas pequeñas que en las medianas y grandes, siendo inversamente proporcional al área de pastos, adicionalmente, el estado de tenencia de la tierra suele no estar claro; además, trabajadores calificados y asistencia técnica no están disponibles fácilmente.

Existen ganaderos que no están acostumbrados o no ven la necesidad de sistematizar la producción o seguir un calendario. Los ganaderos tienden a mantener un cierto aislamiento; su contacto con la cadena de producción está generalmente limitado a la relación con vendedores e intermediarios. Es necesario que ocurran cambios culturales significativos, en un sector que todavía muestra algún grado de informalidad y aversión a las nuevas tecnologías, y que no está acostumbrado a las prácticas de gestión (García et al., 2017). Barreras que deben ser subsanadas en busca de la generalización del procedimiento y de la potencialización del impacto de la certificación de BPG, que lleve a la competitividad y sostenibilidad de los sistemas.

3.2.2 BENEFICIOS DE LAS BPG

BENEFICIOS SANITARIOS

Acorde con el ICA (2020a), la inocuidad de la cadena agroalimentaria láctea está inmersa en la definición de la inocuidad de los alimentos, establecida por la Comisión del Codex alimentarius “garantía de que los alimentos no causarán daño al consumidor cuando se preparen y consuman de acuerdo con el uso al que se destina” (OMS y FAO, 2009, p. 4). Siendo la inocuidad uno de los indicadores de calidad de la leche que están regulados (Villoch, 2010), debido a que, en condiciones adversas, puede albergar gran variedad de microorganismos y llegar a ser una fuente importante de patógenos, transmitidos por alimentos ya sea por la excreción de la ubre de un animal infectado, por la contaminación directa durante la manipulación de la leche en la finca o en la planta de tratamiento. La prevalencia de estos patógenos en la leche está influenciada por numerosos factores como tamaño de la finca, número de animales, higiene, prácticas de manejo, variación en muestreo, tipos de muestras evaluadas, diferencias en las metodologías de detección utilizadas, ubicación geográfica y época del año (Pantoja et al., 2011). Sin embargo, es claro que la prevalencia de mastitis, calidad higiénico-sanitaria de la leche, la seguridad durante la manipulación de esta y de los productos lácteos están interrelacionados con los patógenos transmitidos por los alimentos (Oliver et al., 2015). Los indicadores de calidad higiénico-sanitaria normalizados incluyen conteo total de bacterias UFC/ml, conteo de células somáticas (miles/ml), microorganismos (psicrótrofos, termodúricos y coliformes), sustancias inhibidoras y punto crioscópico, siendo el límite de aceptación máximo diferente entre países (Villoch, 2010). Las infecciones intramamarias alteran la composición de la leche, el grado de cambio depende del agente patógeno causal, el recuento de células somáticas se asocia negativamente con el contenido de lactosa, sólidos no grasos y sólidos totales (Malek Dos Reis et al., 2013).

Los requisitos para la certificación de BPG, que incluyen higiene del ordeño, el tanque de enfriamiento, saneamiento y el mejoramiento de las capacidades en el manejo de la leche, llevan a disminución de UFC/ml mejorando la calidad higiénico sanitaria de la leche (De Silva et al., 2016). En la aplicación de BPG, además de tener en cuenta a los agentes patógenos como causantes potenciales de disminución en la calidad de la leche, se tiene en cuenta otros factores, como lo indica el ICA (2020a), al clasificar un peligro al agente biológico, químico o físico presente en la leche, productos lácteos comestibles, que puede provocar un efecto adverso para la salud humana.

BENEFICIOS SOCIOECONÓMICOS

Los sistemas de producción animal tienen importantes valores sociales y económicos para el bienestar y subsistencia de las poblaciones rurales, entre los que se destacan: el suministro de alimento, la productividad del uso del suelo, el arraigo cultural, y ser fuente de ingresos y de empleo; valores que resultan especialmente relevantes cuando la ganadería es predominantemente familiar, contribuyendo a la nutrición familiar y aportando proteína animal. A medida que aumenta el ingreso familiar, aumenta el consumo de proteína, principalmente de origen animal (Bettencourt, 2015). Lo que se traduce en una responsabilidad social y de sostenibilidad económica, como parte importante de la certificación en buenas prácticas en la explotación lechera, la adecuada gestión de los recursos humanos tanto para el productor y su familia como para la comunidad en general, y como generadores de productos alimenticios de origen animal deben ser vistas como empresas viables financieramente tanto a corto como a largo plazo (FAO, 2012).

Las buenas prácticas sugeridas para la gestión socio-económica de las explotaciones lecheras están expuestas bajo los siguientes apartados:

TABLA 3.2. *Buenas prácticas para la gestión socioeconómica*

Implantar una gestión responsable y eficaz de los recursos humanos.	Implementar prácticas de trabajo sostenibles.
	Contratar al personal respetando las leyes y prácticas nacionales.
	Gestionar los recursos humanos de forma eficaz, asegurándose de que las condiciones de trabajo cumplen las leyes aplicables y las convenciones internacionales.
	Asegurarse de que el entorno de trabajo, en la explotación, cumple los requisitos de la normativa de salud y seguridad.

Garantizar que las tareas desarrolladas en la explotación sean ejecutadas de forma competente y segura.	Disponer de procedimientos y equipos adecuados para ejecutar las tareas en la explotación lechera.
	Instruir y formar al personal adecuadamente para su trabajo.
	Asegurarse de que el personal desarrolla sus tareas competentemente.
	Seleccionar personal competente para la formación, asesoría e intervenciones especializadas.
Gestionar la empresa para garantizar su viabilidad financiera.	Implementar sistemas de gestión financiera.
	Adoptar prácticas agrícolas que contribuyan a la productividad y/o rentabilidad de la empresa.
	Planificar con anticipación la gestión de los riesgos financieros.

Fuente: elaboración propia, adaptada de FAO, 2012.

La intensificación sostenible de la ganadería y la aplicación de BPG puede llevar al aumento en el número de trabajadores contratados, el mejoramiento de las habilidades de gestión de los productores y la capacitación del recurso humano (García, et al., 2017).

En comparación con los costos de transición incurridos, los resultados técnicos y financieros mostraron que la inversión en intensificación sostenible, con la adopción de BPA, intervención en pasturas y restauración ambiental, fue más gratificante económicamente que las tasas extensivas de ganado y de mercado financiero convencional (García, et al., 2017).

BENEFICIOS AMBIENTALES

Los consumidores están cada vez más interesados en adquirir alimentos, que hayan sido producidos respetando el medio ambiente y utilizando los recursos naturales de manera eficiente, minimizando los impactos posibles. Es necesario en la cadena agroalimentaria de la leche, adoptar prácticas que cumplan con estos requisitos, de tal manera que la empresa ganadera sea sostenible; con la implementación de BPG se busca minimizar el impacto ambiental en tres niveles:

TABLA 3.3. *Buenas prácticas para la gestión ambiental*

Implantar un sistema de gestión agrícola sostenible desde el punto de vista medioambiental.	Utilizar los insumos como el agua y los fertilizantes, de forma eficiente y sostenible.
	Minimizar la producción de contaminantes medioambientales procedentes del predio.
	Manejar el hato de forma que se minimicen los impactos negativos sobre el medio ambiente (estrategias de pastoreo y cursos del agua).
	Seleccionar y utilizar adecuadamente los recursos energéticos.
	Mantener y fomentar la biodiversidad biológica en la explotación.
Disponer de un sistema adecuado de gestión de residuos.	Implementar prácticas para reducir, reutilizar o reciclar los residuos adecuadamente.
	Gestionar el almacenamiento y eliminación de residuos, de forma que se minimice su incidencia en el medio ambiente.
Garantizar que las prácticas de la explotación lechera no tienen efectos adversos sobre el medio ambiente local.	Retener los vertidos de la explotación.
	Utilizar los productos químicos agrícolas y veterinarios y los fertilizantes de forma adecuada para evitar la contaminación del medio ambiente local.
	Asegurarse de que la apariencia general de la explotación lechera sea la adecuada para un establecimiento, en el que se producen alimentos de calidad.

Fuente: FAO, 2012.

La adopción de BP, intervención de pastos y restauración ambiental no solo puede ser económicamente más eficiente que la ganadería extensiva, sino que también es posible encontrar resultados positivos, cuando el sistema de intensificación adoptado se basaba en una capacidad de carga conservadora de 3 UA/ha, para evitar impactos ambientales negativos asociados con el pastoreo excesivo, el estiércol, el uso de fertilizantes y emisiones de CO₂ y metano. De hecho, las prácticas inadecuadas de manejo, particularmente el pastoreo excesivo por períodos largos y continuos, sin un reemplazo adecuado de los nutrientes del suelo o la recuperación del pisoteo, son las principales causas de la degradación de los pastos y la disminución de la capacidad de carga (García, et al., 2017).

3.2.3 NORMATIVIDAD

A nivel de normatividad, es posible identificar diversas leyes, políticas, decretos y resoluciones tendientes a garantizar el cumplimiento de los procesos, para el mejoramiento de la calidad de los productos obtenidos en los sistemas de producción ganaderos.

A nivel internacional se destaca principalmente el Codex alimentarius, el cual compila diversas normas, para garantizar la inocuidad en los procesos de producción alimentaria a nivel mundial, dentro de este se puede resaltar el Codex alimentarius para la leche y sus derivados.

TABLA 3.4. *Normatividad internacional relacionada con las BPG*

Codex alimentarius	Es la compilación de todas las normas, Códigos de Comportamientos, directrices y recomendaciones de la Comisión del Codex Alimentarius (OMS y FAO, 1997).
Código Sanitario para los Animales Terrestres	Este código brinda normas destinadas a mejorar la sanidad y el bienestar animal, al igual que la salud pública veterinaria en todo el mundo. Las normas sanitarias establecidas en el Código Terrestre han sido adoptadas por la Asamblea Mundial de Delegados que constituye la instancia normativa más alta de la Organización Mundial de Sanidad Animal (OIE, 2019).
Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC).	Este manual está compuesto por tres capítulos: en el primero, se examinan los principios y metodología de capacitación, en el segundo, se presentan los principios generales del Codex de Higiene de los Alimentos; y, en el tercero, se señala el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control –APPCC y su aplicación (FAO, 2002).

Fuente: elaboración propia a partir de documentos citados en la tabla.

CODEX ALIMENTARIUS

El Codex alimentarius, corresponde a un programa conjunto desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación –FAO y la Organización mundial de la Salud –OMS, sobre Normas Alimentarias (OMS y FAO, 1997).

El Codex alimentarius está constituido por una serie de normas, prácticas, directrices y otras medidas recomendadas, con el fin de garantizar la inocuidad, la calidad y la

equidad en el comercio internacional de alimentos, en el marco de un comercio global. El fin principal es garantizar la salud de los consumidores y facilitar los procesos del comercio global, respaldado en unas normas que den garantía de un proceso de alta calidad, para brindar inocuidad a la producción alimentaria.

El Codex alimentarius para la leche y sus derivados tiene su segunda edición en el año 2011. En el mismo, se compilan todas las normas para productos lácteos, normas horizontales para quesos, normas individuales para quesos y textos generales para la leche y productos lácteos (OMS y FAO, 2011).

Otro de los documentos del Codex alimentarius que respalda los procesos de buenas prácticas en la producción lechera, es el codex para la higiene de los alimentos, cuya cuarta edición fue emitida en el año 2009. Allí se establecen entre otros aspectos: los principios generales de higiene de los alimentos y los principios para el establecimiento y la aplicación de criterios microbiológicos a los alimentos (OMS y FAO, 2009).

En el Codex alimentarius también se tiene establecido el código de prácticas sobre buena alimentación animal, que establece los principios para el manejo de ingredientes y materias primas, así como la elaboración de piensos y su posterior manejo (OMS y FAO, 2004).

CÓDIGO SANITARIO PARA LOS ANIMALES TERRESTRES

El Código Sanitario para los Animales Terrestres (Código Terrestre) fue promulgado por la Organización Mundial de la Sanidad Animal (OIE). En el código se brindan normas destinadas a mejorar la sanidad y el bienestar animal, al igual que la salud pública veterinaria (OIE, 2019).

El código en su capítulo uno, establece entre otros aspectos: el proceso de diagnóstico, vigilancia y notificación de las enfermedades animales, prevención y control de enfermedades, análisis de riesgo, medidas comerciales y procedimientos de importación y exportación y certificación veterinaria, aspectos de salud pública y bienestar de los animales. En el capítulo dos, el código establece las recomendaciones aplicables a las enfermedades de la lista de la OIE y a otras enfermedades importantes para el comercio internacional, señalando los aspectos generales de las principales enfermedades y recomendaciones para su manejo y prevención, en las especies de interés económico (OIE, 2019).

MANUAL DE CAPACITACIÓN SOBRE HIGIENE DE LOS ALIMENTOS Y SOBRE EL SISTEMA DE ANÁLISIS DE PELIGROS Y DE PUNTOS CRÍTICOS DE CONTROL (APPCC)

Este manual fue publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y el Ministerio de Sanidad y Consumo de España en el año 2003. El manual está compuesto por tres capítulos: en el primero, se examinan los principios y metodología de capacitación; en el segundo, se presentan los principios generales del Codex de Higiene de los Alimentos; y, en el tercero, se señala el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC) y su aplicación (FAO, 2002).

En el manual se abordan principios y métodos de capacitación, entre los cuales se incluyen aspectos de la comunicación, métodos y estrategias de capacitación y su evaluación, entre otros. En el capítulo referente al código internacional recomendado de prácticas, se señalan los principios generales del codex de higiene de los alimentos, en los diversos eslabones de la cadena, desde la producción, hasta los procesos de industria y transporte. En el capítulo del sistema de análisis de peligros y de puntos críticos de control (APPCC), se establece la historia y antecedentes y los pasos a seguir para la implementación del proceso de APPCC (FAO, 2002).

Respecto al nivel nacional, se han desarrollado e implementado diversas normas que propenden por un mejoramiento de la calidad de los procesos en los distintos eslabones de la cadena productiva ganadera a nivel lechero y cárnico.

A continuación, se señalan algunos de los aspectos que involucran estas normas y su importancia en los procesos de inocuidad en el sector ganadero bovino en Colombia.

TABLA 3.5. *Normatividad nacional relacionada con las BPG*

Decreto 1500 de 2007

Por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos Destinados para el Consumo Humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad, que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación (Decreto 1500, 2007).

Decreto 616 de 2006	Por el cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercialice, expendá, importe o exporte en el país (Decreto 616, 2006).
Resolución 2341 de 2007	Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado bovino y bufalino, destinado al sacrificio para consumo humano (Resolución 2341, 2007).
Resolución 3585 de 2008	Por la cual se establece el sistema de inspección, evaluación y certificación oficial de la producción primaria de leche, de conformidad con lo dispuesto en el Capítulo II del título I del Decreto 616 de 2006 (Resolución 3585, 2008).
CONPES 3375	Política Nacional de Sanidad Agropecuaria e Inocuidad de Alimentos para el Sistema de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias (DNP, 2005a).
CONPES 3376	Política sanitaria y de inocuidad para las cadenas de la carne bovina y de la leche (DNP, 2005b).
Decreto 1880 de 2011	Por el cual se señalan los requisitos para la comercialización de leche cruda para consumo humano directo en el territorio nacional (Decreto 1880, 2011).
Resolución 17 de 2012	Por la cual se establece el sistema de pago de la Leche Cruda al Proveedor (Resolución 17, 2012).
Ley 1659 de 2013	Por la cual se crea el Sistema Nacional de Identificación, Información y Trazabilidad Animal (Ley 1659, 2013).
Resolución 77 de 2015	Por la cual se modifica la Resolución 17 de 2012 (Resolución 77, 2015).
Resolución 9810 de 2017	Por medio de la cual se establecen los requisitos para obtener el Registro Sanitario de Predio Pecuario (RSPP) y la Inscripción Sanitaria de Predio Pecuario (ISPP) (Resolución 9810, 2017).
Resolución 28267 de 2018	Por medio de la cual se establecen los requisitos sanitarios para obtener el registro de los predios productores de leche, empleada en la elaboración de productos compuestos, con destino a la exportación a la Unión Europea (Resolución 28267, 2018).
Resolución 67449 de 2020	Por medio de la cual se establecen los requisitos para obtener la certificación en Buenas Prácticas Ganaderas BPG en la producción de leche (Resolución 67449, 2020).

Fuente: elaboración propia con base en documentos citados en la tabla.

DECRETO 1500 DE 2007

Por medio del cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos, destinados para el consumo humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación (Decreto 1500, 2007).

Este decreto aplica para todos los eslabones de la cadena cárnica y propende por la calidad del producto final (carne). La implementación ha tenido diversas prorrogas por la dificultad en el proceso de adaptación de algunas plantas de beneficio y las unidades productivas, para el cumplimiento de los requisitos técnicos establecidos en el decreto.

La inocuidad se establece como el principal elemento, con el fin de garantizar la salud y seguridad del consumidor final; para ello, la trazabilidad a lo largo de toda la cadena productiva constituye una de las principales herramientas para el cumplimiento de los requisitos.

DECRETO 616 DE 2006

Por el cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano que se obtenga, procese, envase, transporte, comercialice, expendia, importe o exporte en el país (Decreto 616, 2006).

Este decreto aplica para todos los eslabones de la cadena láctea y propende por la calidad del producto final (leche). En la promulgación de este decreto se señalan algunas definiciones que buscan el mejoramiento de la inocuidad, dos de las que se resaltan son: buenas prácticas en el uso de medicamentos veterinarios y buenas prácticas en la alimentación animal, que constituyen la base para las buenas prácticas en los demás eslabones del sistema productivo.

Uno de los principales objetivos del decreto es permitir el mejoramiento y la modernización del sector, lo cual ha venido lográndose a través de programas y proyectos que propenden por una infraestructura y unos procesos que brinden mejores condiciones para el proceso productivo, así como el establecimiento de programas para garantizar la calidad del producto final.

RESOLUCIÓN 2341 DE 2007

Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado bovino y bufalino destinado al sacrificio para consumo humano (Resolución 2341, 2007).

Mediante esta resolución se establecieron los requisitos sanitarios para los predios de producción primaria, con el fin de dar cumplimiento a los requisitos establecidos en el decreto 616 de 2006. Entre los principales aspectos que se resaltan en la resolución están: el proceso de inscripción y evaluación de los predios, asimismo, se establecen los requisitos sanitarios para las instalaciones y áreas, el plan de saneamiento, los requisitos para el almacenamiento de insumos pecuarios y agrícolas, los procesos de sanidad animal y bioseguridad, la trazabilidad, la implementación de buenas prácticas para el uso de medicamentos veterinarios y las buenas prácticas para la alimentación animal, las prácticas a implementar para el bienestar animal y los aspectos relacionados con el personal (Resolución 2341, 2007).

RESOLUCIÓN 3585 DE 2008

Por la cual se establece el sistema de inspección, evaluación y certificación oficial de la producción primaria de leche, de conformidad con lo dispuesto en el Decreto 616 de 2006 (Resolución 3585, 2008).

En la resolución 3585 se establecen los procesos que involucran la inscripción del predio, los requisitos sanitarios para las instalaciones y áreas, requisitos para el almacenamiento de insumos pecuarios y agrícolas, procesos de sanidad y bioseguridad, aspectos de trazabilidad, la implementación de buenas prácticas para el uso de medicamentos veterinarios y las buenas prácticas para la alimentación animal, el bienestar animal y los aspectos relacionados con el personal (Resolución 3585, 2008).

CONPES 3375

El Conpes 3375 corresponde a la Política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias (DNP, 2005a).

El documento Conpes 3375 define la política de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos en Colombia, por medio de la implementación de estrategias de adecuación y fortalecimiento institucional del Sistema de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias Nacional, MSF, una reorganización y mejoramiento de la estructura operativa que

responde a un enfoque de Análisis de Riesgo y, por último, la implementación de un plan de transición que permita la articulación del Sistema MSF Nacional para un adecuado funcionamiento (DNP, 2005a).

CONPES 3376

El Conpes 3376 corresponde a la Política sanitaria y de inocuidad para las cadenas de la carne bovina y de la leche (DNP, 2005b).

El documento CONPES 3376 establece estrategias para el mejoramiento del estatus sanitario de las cadenas de la carne bovina y de la leche, y el fortalecimiento de la capacidad científica y tecnológica, la institucionalidad y mejorar los procesos de admisibilidad en mercados externos. (DNP, 2005b)

DECRETO 1880 DE 2011

Por el cual se señalan los requisitos para la comercialización de leche cruda, para consumo humano directo en el territorio nacional (Decreto 1880, 2011).

En el decreto 1880 se establecen los requisitos para la obtención de leche en la producción primaria, se señalan las características fisicoquímicas y microbiológicas de la leche cruda para consumo humano directo, los requisitos para la comercialización de leche cruda y se establecen los procesos de inspección, vigilancia y control en la producción primaria de leche (Decreto 1880, 2011).

RESOLUCIÓN 000017 DE 2012

Por la cual se establece el sistema de pago de la Leche Cruda al Proveedor (Resolución 17, 2012).

En el 2013, y como mecanismo de estímulo a la producción de leche de calidad, se estableció por parte del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, el pago de leche cruda al proveedor, por medio de la valoración y análisis de la calidad composicional (sólidos totales, proteína y grasa) e higiénica (unidades formadoras de colonia-UFC) de la misma.

Adicionalmente, se establecieron unas bonificaciones para la leche proveniente de hatos certificados, como libres de brucelosis y/o tuberculosis y aquellos certificados en BPG.

Como característica esta resolución, estableció unos rangos determinados en relación a los parámetros de calidad, acorde con la zona de donde provenga la leche; dividiendo al país en dos regiones, de acuerdo con su capacidad productiva y sistemas de producción (Resolución 17, 2012).

En la región 1, se agrupan los departamentos con sistemas de producción de lechería especializada, tales como: Boyacá, Cundinamarca, Antioquia, Nariño y Caldas, entre otros.

En la región 2, se agrupan los departamentos con sistemas de producción lechera en donde principalmente se localizan sistemas de doble propósito, entre estos se encuentran: Santander, Norte de Santander, Tolima, Valle del Cauca y Bolívar, entre otros.

LEY 1659 DE 2013

Por la cual se crea el Sistema Nacional de Identificación, Información y Trazabilidad Animal. Este sistema involucra un conjunto de instituciones, normas, procesos, datos e información, desarrollado para generar y mantener la trazabilidad en las especies de interés económico pertenecientes al eslabón de la producción primaria (Ley 1659, 2013).

Mediante esta ley se establece la Comisión Nacional del Sistema Nacional de Identificación, Información y Trazabilidad Animal; asimismo, se establece que la dirección, administración y lineamientos de política del Sistema Nacional de Identificación, Información y Trazabilidad Animal, estarán a cargo del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Para los procesos de verificación y cumplimiento de los aspectos establecidos en la ley, se da la responsabilidad al Instituto Colombiano Agropecuario (ICA) (Ley 1659, 2013).

RESOLUCIÓN 77 DE 2015

Por la cual se modifica la Resolución 17 de 2012. Mediante esta resolución, se estableció que el proceso de evaluación de calidad de leche, debe ser realizado por un laboratorio acreditado por el Organismo Nacional de Acreditación -ONAC, en la norma NTC-ISO/IEC 17025:2005, referente a los parámetros de análisis de calidad de leche cruda, correspondientes a los porcentajes de grasa, de proteína y de sólidos totales, y el conteo de mesófilos aerobios (Resolución 77, 2015).

RESOLUCIÓN 9810 DE 2017

Por medio de la cual se establecen los requisitos para obtener el Registro Sanitario de Predio Pecuario (RSPP) y la Inscripción Sanitaria de Predio Pecuario (ISPP).

En esta resolución se establecen los procesos para el registro sanitario de predio pecuario e inscripción sanitaria de predio pecuario, una vez cumplidos los requisitos y otorgado el registro, este tendrá una vigencia indefinida y se le asignará un código que será único para cada predio (Resolución 9810, 2017).

RESOLUCIÓN 28267 DE 2018

Por medio de la cual se establecen los requisitos sanitarios para obtener el registro de los predios productores de leche, empleada en la elaboración de productos compuestos con destino a la exportación a la Unión Europea (Resolución 28267, 2018).

Los países de la Unión Europea se caracterizan por sus elevados niveles de exigencia sanitaria para el ingreso de productos de origen animal y sus derivados; en tal sentido, el ICA, en el marco de sus funciones de verificación sanitaria, emitió la resolución 28267 para dar cumplimiento a los estándares de calidad exigidos por ese mercado internacional.

En esta norma se establece que los productores que tengan predios, que deseen participar en procesos de exportación hacia la Unión Europea, deben contar con certificación vigente del ICA en Buenas Prácticas Ganaderas en la producción de leche (BPG), asimismo, abstenerse de utilizar sustancias no autorizadas por la Unión Europea según las directivas 96/22/CE y 96/23/CE (Resolución 28267, 2018).

El ICA realizará la visita al predio para verificar el cumplimiento de los requisitos, y si se cumplen los mismos, se podrá obtener la certificación, la cual tendrá un carácter indefinido, si se mantiene el cumplimiento de los requisitos (Resolución 28267, 2018).

RESOLUCIÓN 67449 DE 2020

Por medio de la cual se establecen los requisitos para obtener la certificación en Buenas Prácticas Ganaderas (BPG) en la producción de leche (Resolución 67449, 2020).

En esta resolución se establecen los requisitos que deben cumplir los predios dedicados a la producción primaria de leche, para obtener la certificación en Buenas Prácticas

ticas Ganaderas (ICA, 2020a). Como ejes fundamentales se plantean: la protección de la vida, la salud humana, el cuidado del ambiente, los mecanismos y estrategias para fomentar y proveer el bienestar animal y la sanidad animal (Resolución 67449, 2020).

Se establecen los requisitos para el proceso de obtención de la certificación en BPG, el cual se inicia con la solicitud de auditoría ante el ICA, que requiere, previamente, el registro o inscripción sanitaria del predio. Asimismo, se establecen los requisitos que, en materia sanitaria, identificación y bioseguridad, se deben cumplir en los predios. Por otro lado, se disponen las condiciones y los requisitos de la higiene del ordeño, el manejo de la cadena de frío y uso adecuado de los medicamentos veterinarios.

La resolución también establece los aspectos de saneamiento, las buenas prácticas en la nutrición de los animales; respecto a la protección e integridad de los individuos del sistema y el personal, se establecen unos requisitos para el bienestar animal.

Se realiza la visita de auditoría y se obtendrá la certificación si el predio cumple con el 100 % de los criterios Fundamentales, mínimo el 80 % de los criterios Mayores y mínimo 60 % de los criterios Menores (ICA, 2020a); si no se cumplen, se tendrá un plazo de tres meses para corregir los aspectos débiles o faltantes, para lo cual deberá realizarse una nueva visita de auditoría.



Una vez obtenido el certificado tendrá una vigencia de tres años, y podrá renovarse previo cumplimiento de las condiciones establecidas en la resolución para el proceso de certificación (Resolución 67449, 2020).

CONCLUSIONES

La producción animal representa un renglón de importancia a nivel económico, principalmente para los países en desarrollo, asimismo, contribuyen de gran manera a la seguridad y soberanía alimentaria de los territorios. Las proyecciones crecientes de la población a nivel mundial en los próximos años, traen consigo la necesidad de incrementar, al mismo tiempo, la producción alimentaria y ello plantea un gran reto para los sistemas de producción pecuario, que deben mejorar su productividad sin afectar la calidad de los productos obtenidos.

Los sistemas de producción pecuaria, y dentro de ellos los de producción lechera, deben generar procesos sostenibles, enmarcados en los aspectos ambientales, económicos y sociales, que puedan contribuir de manera positiva al mejoramiento de la rentabilidad y la competitividad de las unidades productivas. En este sentido, debe identificarse nuevas alternativas o procesos para mejorar la productividad con criterios de calidad e inocuidad, acorde a las condiciones de los mercados actuales.

La ganadería bovina y dentro de esta, el sector lechero, se constituyen en elementos importantes de gran aporte al producto interno bruto (PBI), por lo cual es necesario su fortalecimiento, para continuar aportando de manera positiva en la economía de las regiones. Durante los últimos años, se ha observado un crecimiento positivo del aporte del PIB del sector agropecuario, por lo cual deben proveerse mecanismos para seguir fortaleciendo la competitividad del sector lechero, como uno de los reglones de mayor aporte y proyección en el sector pecuario.

Las buenas prácticas ganaderas (BPG), cuyo proceso de implementación y certificación está liderado en Colombia por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), se constituyen en una herramienta de gran utilidad para proveer mejoramiento de las condiciones productivas de los sistemas ganaderos lecheros y con ello mejorar su productividad. En Colombia se ha avanzado durante los últimos años en los procesos de implementación de las BPG, a nivel de los diversos sistemas de producción pecuario, sin embargo, aún es muy bajo el número de unidades productivas certificadas en BPG, lo cual denota la necesidad de continuar el fortalecimiento institucional y de los sistemas productivos para su implementación, con el fin de mejorar la estructura productiva del sector, y así brindar garantía de inocuidad y mejoramiento de calidad.

Las BPG involucran diversas actividades desarrolladas a nivel del eslabón primario de la ganadería bovina, es decir, las que se desarrollan en el predio o en la finca, por lo

cual, es necesario que los productores identifiquen y reconozcan los aspectos productivos, que pueden ser mejorados en su unidad, con el fin de proveer mecanismos para fortalecer la estructura productiva en el eslabón primario.

Las BPG en ganadería bovina, en Colombia, tienen gran respaldo normativo, que ha fundamentado, tanto su definición como su gestión, a nivel de los sistemas productivos, algunas de las normas que lo respaldan son: el decreto 616 de 2006, la resolución 2341 de 2007, el Conpes 3376 y la resolución 67449 de 2020, sin embargo, es necesario fortalecer el proceso de implementación para lograr el mejoramiento de los procesos y la calidad del producto final, obtenido en las unidades de producción lechera, como estrategia de desarrollo competitivo a nivel regional.

La resolución 67449 del ICA estableció los requisitos para obtener la certificación en Buenas Prácticas Ganaderas (BPG) en la producción de leche, allí se resaltan unos criterios denominados: fundamentales, mayores y menores, en aspectos de diversos tipos, como sanitario, bienestar animal, personal, infraestructura e instalaciones, entre otros, que las unidades productivas deben cumplir, con miras a obtener la certificación, la cual, entre otros beneficios, brinda la posibilidad de obtener una bonificación económica en la venta de la leche acorde a lo establecido en la resolución 17 de 2012, asimismo trae beneficios sanitarios, sociales y ambientales.

A nivel internacional, el principal respaldo normativo está representado por el Codex alimentarius, el cual, junto con el Código Sanitario para los Animales Terrestres y el Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC), establece una serie de normas para garantizar la inocuidad en la producción de alimentos, bajo las condiciones requeridas por un mercado global, que cada día demanda una mayor calidad en los productos llevados al consumidor.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ala, A. y Ridwan, I. (2020, mayo). Food security and sustainable agriculture. En *2nd International conference on food security and sustainable agriculture in the tropics*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Vol. 486, Makassar, Indonesia. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/486/1/012110>

Bettencourt, E. M. V., Tilman, M., Narciso, V., Carvalho, M. L. D. S. y Henriques, P. D. D. S. (2015). The livestock roles in the wellbeing of rural communities of Timor-Leste. *Revista de Economia e Sociologia Rural*, 53, 63-80. <http://dx.doi.org/10.1590/1234-56781806-94790053s01005>

Contexto ganadero (2019). Re: Debemos aumentar competitividad de la cadena para aprovechar los TLC?: CEO de Alpina. [Archivo web]. <https://www.contextoganadero.com/reportaje/debemos-aumentar-competitividad-de-la-cadena-para-aprovechar-los-tlc-ceo-de-alpina>

De Silva, S. A. S.D., Kanugala, K. A. N. P. y Weerakkody, N. S. (2016). Microbiological quality of raw milk and effect on quality by implementing good management practices. *Procedia food science*, 6, 92-96. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2211601X16000201>

Decreto 1500 de 2007. Por el cual se establece el reglamento técnico a través del cual se crea el Sistema Oficial de Inspección, Vigilancia y Control de la Carne, Productos Cárnicos Comestibles y Derivados Cárnicos, destinados para el Consumo Humano y los requisitos sanitarios y de inocuidad que se deben cumplir en su producción primaria, beneficio, desposte, desprese, procesamiento, almacenamiento, transporte, comercialización, expendio, importación o exportación. *Diario Oficial* No. 46618 del 4 de mayo de 2007. <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1298655>

Decreto 1880 de 2011. Por el cual se señalan los requisitos para la comercialización de leche cruda para consumo humano directo en el territorio nacional. *Diario Oficial* No. 48085 del 30 de mayo de 2011. <http://www.suin-juriscal.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Decretos/1365098>

Decreto 616 de 2006. Por el cual se expide el reglamento técnico sobre los requisitos que debe cumplir la leche para el consumo humano [Ministerio de la Protección

Social]. *Diario Oficial* No. 46.196 de 28 de febrero de 2006. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/decreto_0616_2006.htm

Departamento Administrativo Nacional de Estadística, DANE. (2014). *Censo nacional agropecuario*. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/censo-nacional-agropecuario-2014>

Departamento Nacional de Planeación, DNP (2005a). Documento CONPES 3375. Política nacional de sanidad agropecuaria e inocuidad de alimentos para el sistema de medidas sanitarias y fitosanitarias. <https://colaboracion.dnp.gov.co/CDT/Conpes/Econ%C3%B3micos/3375.pdf>

Departamento Nacional de Planeación, DNP (2005b). Documento CONPES 3376. Política sanitaria y de inocuidad para las cadenas de la carne bovina y de la leche. https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/conpes/2005/Conpes_3376_2005.pdf

Federación Colombiana de Ganaderos, Fedegan. (2012). Re: Buenas Prácticas Ganaderas [Archivo web]. <https://www.fedegan.org.co/programas/buenas-practicas-ganaderas>

Federación colombiana de ganaderos, Fedegan. (2019). *Cifras de referencia del sector ganadero colombiano*. Autor.

Flores-González, A., Jiménez-Ferrer, G., Castillo-Santiago, M. A., Oña, C. R. y Covaleda S. (2019). Good livestock practices: adoption of technologies in the río Perlas gorge, Ocosingo, Chiapas Mexico. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(1), 87-96

García, E., Ramos-Filho, F. S., Mallmann, G. M. y Fonseca, F. (2017). Costs, benefits and challenges of sustainable livestock intensification in a major deforestation frontier in the Brazilian Amazon. *Sustainability*, 9(1), 158. <https://doi.org/10.3390/su9010158>

Gobernación de Boyacá. (2020). *Plan de desarrollo 2020-2023*. Autor

Inciarte, R. (2004). *Las buenas prácticas agrícolas*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. <http://www.fao.org/3/a-ai010s.pdf>

Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. (2008). RESOLUCIÓN 3585 DE 2008. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/areas/agricola-pecuaria/bpa-bpg.aspx>

Instituto Agropecuario Colombiano, ICA. (2020a). Re: Buenas Prácticas Ganaderas [Archivo web]. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/inocuidad-en-las-cadenas-agroalimentarias/listado-de-predios-certificados-en-bpg.aspx>

Instituto Agropecuario Colombiano, ICA. (2020b). Re: Censo pecuario año 2020 [Archivo web]. <https://www.ica.gov.co/areas/pecuaria/servicios/epidemiologia-veterinaria/censos-2016/censo-2018.aspx>

Ley 1659 de 2013. Por la cual se crea el Sistema Nacional de Identificación, Información y Trazabilidad Animal. *Diario Oficial* No. 48.852 del 15 de julio de 2013. http://www.secretariassenado.gov.co/senado/basedoc/ley_1659_2013.html

Malek Dos Reis, C. B., Barreiro, J. R., Mestieri, L., De Felício-Porcionato, M. A. y Dos Santos, M. V. (2013). Effect of somatic cell count and mastitis pathogens on milk composition in Gyr cows. *BMC Veterinary research*, 9(1), 67. <https://doi.org/10.1186/1746-6148-9-67>

Minagricultura. (2018, 28 de febrero). El agro continúa siendo el mayor generador de empleo con 278.000 nuevos puestos de trabajo en el trimestre noviembre 2017 - enero 2018. *Agronet noticias*. <https://www.agronet.gov.co/Noticias/Paginas/El-agro-contin%C3%BAa-siendo-el-mayor-generador-de-empleo-con-278-000-nuevos-puestos-de-trabajo-en-el-trimestre-noviembre-2017--.aspx>

Minagricultura. (2020, 15 de mayo). Re: El sector agropecuario creció 6,8% e impulsó la economía colombiana en el primer trimestre de 2020 [Archivo web]. [https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-creci%C3%B3-6,8-e-impuls%C3%B3-la-econom%C3%ADa-colombiana-en-el-primer-trimestre-de-2020-.aspx#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20informe%20del%20DANE,madera%20\(2%2C6%25\)](https://www.minagricultura.gov.co/noticias/Paginas/El-sector-agropecuario-creci%C3%B3-6,8-e-impuls%C3%B3-la-econom%C3%ADa-colombiana-en-el-primer-trimestre-de-2020-.aspx#:~:text=Seg%C3%BAn%20el%20informe%20del%20DANE,madera%20(2%2C6%25)).

Mincomercio. (2019, 17 de mayo). Re: Mipymes de lácteos de Boyacá aumentaron productividad y lograron ahorros de hasta \$1,5 millones mensuales [Archivo web]. <https://www.mincit.gov.co/prensa/noticias/industria/mipymes-de-lacteos-de-boyaca-aumentaron-productivi>

National Research Council, NRC. (2015). *Critical Role of Animal Science Research in Food Security and Sustainability*. National Academy Press. <https://doi.org/10.17226/19000>.

Oliver, S. P., Jayarao, B. M. y Almeida, R. A. (2005). Patógenos transmitidos por los alimentos en la leche y el entorno de las granjas lecheras: implicaciones para la seguridad alimentaria y la salud pública. *Foodborne Pathogens & Disease*, 2(2), 115-129.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2011). Una introducción a los conceptos básicos de la seguridad alimentaria. <http://www.fao.org/3/al936s/al936s00.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2012). *Manual de Buenas Prácticas de Ganadería Bovina para la Agricultura Familiar*. <http://www.fao.org/3/i3055s/i3055s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO y Federación Internacional de la Leche, FIL. (2012). *Guía de buenas prácticas en explotaciones lecheras* [Directrices FAO: Producción y Sanidad Animal, No. 8]. <http://www.fao.org/3/ba0027s/ba0027s00.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2002). *Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el Sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC)*. <http://www.fao.org/3/w8088s/w8088s00.htm>

Organización Mundial de la Salud, OMS y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (1997). *Codex Alimentarius. Normas internacionales de los alimentos* [Programa conjunto FAO-OMS sobre normas alimentarias]. Autor.

Organización Mundial de la Salud, OMS y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2004). *Código de prácticas sobre buena alimentación animal* [Comisión del Codex Alimentarius]. <http://www.fao.org/3/i1111s/i1111s02.pdf>

Organización Mundial de la Salud, OMS y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2009). *Higiene de los alimentos. Textos básicos* (4ª ed.) [Comisión del Codex Alimentarius]. <http://www.fao.org/3/a1552s/A1552S00.pdf>

Organización Mundial de la Salud, OMS y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO. (2011). *Leche y productos lácteos* (2ª ed.) [Comisión del Codex Alimentarius]. http://www.fao.org/tempref/codex/Publications/Booklets/Milk/Milk_2011_ES.pdf

Organización Mundial de Sanidad Animal. OIE. (2019). Re: Código Sanitario para los Animales Terrestres [Archivo web]. <https://www.oie.int/es/normas/codigo-terrestre/>

Palacios, A. (2017). Comercio exterior lácteo. *Asoleche*. <https://asoleche.org/2017/08/22/comercio-exterior-lacteo-en-crecimiento/>

Panahzadeh-Parikhani, M., Razzaghi-Borkhani, F., Shabanali-Fami, H., Motiee, N. y Hosseinpoor, A. (2015, septiembre). Major barriers to application of Good Agricultural Practices (GAPs) technologies in sustainability of livestock units. *International Journal of Agricultural Management and Development*, 5(3), 169-178.

Pantoja, J. C. F., Reinemann, D. J. y Ruegg, P. L. (2011, junio). Factors associated with coliform count in unpasteurized bulk milk. *Journal of dairy science*, 94(6), 2680-2691. <https://doi.org/10.3168/jds.2010-3721>

Resolución 067449 de 2020. Por medio de la cual se establecen los requisitos para obtener la certificación en Buenas Prácticas Ganaderas BPG en la producción de leche [ICA]. *Diario Oficial* No. 51.342 del 11 de junio de 2020. http://normograma.invima.gov.co/normograma/docs/resolucion_ica_67449_2020.htm

Resolución 17 de 2012. Por la cual se establece el sistema de pago de la Leche Cruda al Proveedor [Ministerio de agricultura y desarrollo rural]. *Diario Oficial* No. 48.335 del 6 de febrero de 2012. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minagricultura_0017_2012.htm

Resolución 2341 de 2007. Por la cual se reglamentan las condiciones sanitarias y de inocuidad en la producción primaria de ganado bovino y bufalino destinado al sacrificio para consumo humano [ICA]. *Diario Oficial* No. 46.730 del 24 de agosto de 2007.

Resolución 28267 de 2018. Por medio de la cual se establecen los requisitos sanitarios para obtener el registro de los predios productores de leche empleada en la elaboración de productos compuestos con destino a la exportación a la Unión Europea [ICA]. *Diario Oficial* No. 50.663 del 23 de julio de 2018. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_ica_28267_2018.htm

Resolución 77 de 2015. Por la cual se modifica la Resolución 17 de 2012 [Ministerio de agricultura y desarrollo rural]. *Diario Oficial* No. 49.475 del 7 de abril de 2015. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_minagricultura_0077_2015.htm

Resolución 9810 de 2017. Por medio de la cual se establecen los requisitos para obtener el Registro Sanitario de Predio Pecuario (RSPP) y la Inscripción Sanitaria de Predio Pecuario (ISPP) [ICA]. *Diario Oficial* No. 50.327 del 16 de agosto de 2017. https://www.icbf.gov.co/cargues/avance/docs/resolucion_ica_9810_2017.htm

Reynolds, L. P., Wulster-Radcliffe, M. C., Aaron, D. K. y Davis, T. A. (2015). Importance of animals in agricultural sustainability and food security. *The Journal of nutrition*, 145(7), 1377-1379. doi:10.3945/jn.115.212217

Villoch, A. (2010, septiembre-diciembre). Buenas prácticas agropecuarias para la producción de leche: Sus objetivos y relación con los códigos de higiene. *Revista de salud animal*, 32(3), 137-145. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-570X2010000300001



CAPÍTULO

.....

**CASO PRÁCTICO DE
HUELLAS AMBIENTALES EN
UNIDADES PRODUCTIVAS
AGROPECUARIAS DE
ALTA MONTAÑA**

.....

RESUMEN

En el presente capítulo se caracterizan quince (15) unidades productivas, cuya principal actividad es la producción de leche, a través de un estudio descriptivo, realizando una agrupación según tamaño, área destinada a pastoreo, producción de leche, número de animales total, número de hembras en producción y demás componentes empleados en el desarrollo de sus actividades. Esto se efectúa a través de la aplicación de encuestas, como herramienta diagnóstica diligenciada por medio de visitas en la zona de estudio a los propietarios de las ganaderías. Posteriormente, se detalla el cálculo y análisis de resultados de huellas ambientales para las fincas muestreadas. Se hace un análisis comprensivo de diferentes indicadores de huella, con el fin de identificar el valor promedio y las características que determinan una unidad de más o menos impacto.

INTRODUCCIÓN

La producción de alimentos es identificada como una de las actividades humanas que más impacto genera en el medio ambiente. En Colombia, el sector agropecuario es responsable del 80 % de la huella hídrica verde (IDEAM, 2019) y del 23 % de las emisiones de CO₂ (IDEAM y PNUD, 2016). Sin embargo, es el sector agropecuario una de las principales fuentes de ingreso y el que permite brindar seguridad alimentaria en Boyacá y departamentos alrededor. Es por esto que se justifica evaluar las huellas ambientales de la producción agropecuaria en unidades productivas, para identificar las tendencias actuales y facilitar la formulación de oportunidades de mejora, que permitan reducir sus impactos en el medio.

En Colombia, el sector agropecuario es responsable del 80 % de la huella hídrica verde (IDEAM, 2019) y del 23 % de las emisiones de CO₂ (IDEAM y PNUD, 2016).

4.1 OBJETIVO Y ALCANCE DEL ESTUDIO

El objetivo es evaluar la influencia de las prácticas agropecuarias, en indicadores de huellas ambientales y calcular su valor promedio.

El alcance es de la cuna a la puerta, incluye producción de materias primas, uso directo en finca, hasta que el producto se vende en finca. No incluye la infraestructura, como caminos o construcciones, ni producción de máquinas asociadas a cultivo o transporte.

Las unidades funcionales analizadas son:

- Operación de una unidad de producción agropecuaria con vocación en ganadería de leche.
- Productos lácteos que proveen beneficios nutricionales y de salud a los seres vivos, apta para consumo humano.

Los flujos de referencia son:

- Un (1) año de operación promedio de la finca
- Un (1) litro de leche

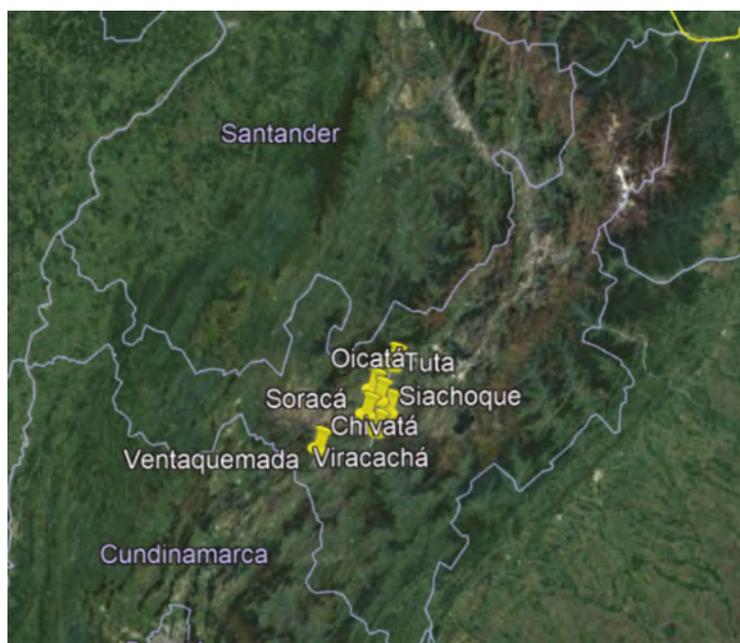
El periodo de evaluación es una representación promedio, a través de datos obtenidos de encuestas a los productores, para datos de los últimos meses o práctica usual. Los datos de base de datos no tienen un único periodo de evaluación, se buscaron datos que representaran el escenario convencional.

4.2 CARACTERIZACIÓN DE SISTEMAS DE PRODUCCIÓN LECHERA EN LA ZONA CENTRAL DE BOYACÁ

4.2.1 DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA

Se presenta la evaluación situacional de quince (15) sistemas productivos lecheros, ubicados en municipios de la zona central de Boyacá (Figura 4.1), el diagnóstico enmarcado en la caracterización de fincas y la evaluación de indicadores.

FIGURA 4.1. Mapa de municipios con unidades productivas evaluadas



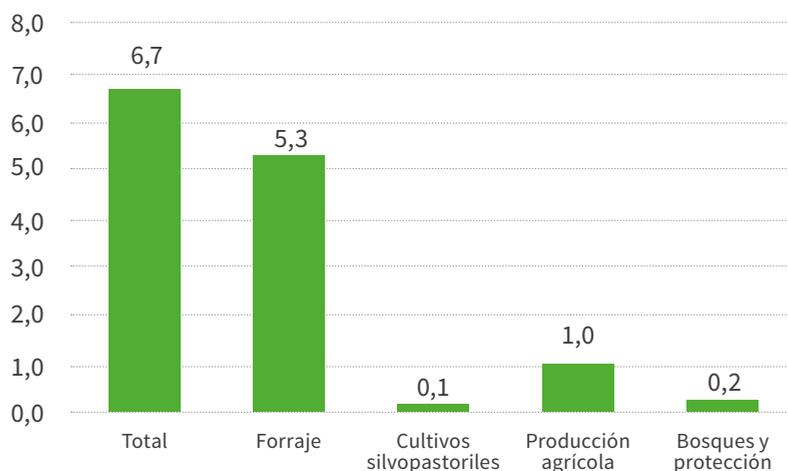
Fuente: elaboración propia a partir de datos del estudio y Google Earth.

Se desarrolla un estudio con enfoque mixto, de tipo descriptivo, a partir de un muestreo no probabilístico por conveniencia, involucrando a aquellos productores que manifiestan su interés de participar en el proyecto. Mediante la herramienta del diagnóstico rural participativo, se realiza socialización de las características del proyecto y la búsqueda de productores interesados en participar en el mismo. Con base en la identificación de las unidades productivas de ganadería bovina y el interés de los productores, se realiza la selección de unidades investigativas para el estudio.

4.2.2 DESCRIPCIÓN TÉCNICA DE LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS

Descripción de predios

La estructura de las fincas muestreadas se basa en pequeñas unidades productivas lecheras, de tipo extensivo, cuyas áreas van de 2 a 26 Ha, de las cuales se encuentran destinadas a la producción de forraje el 79,3 %, a la agricultura 15,2 % y el área forestal está representada en cultivos silvopastoriles 1,5 % y bosque protegido 2,7 %, la distribución del área por hectáreas y destino productivo se encuentra en la figura 4.2.

FIGURA 4.2. *Distribución del área*

Fuente: elaboración propia.

Las instalaciones pecuarias son escasas, el ordeño se realiza de forma mecánica en el 20 % de las producciones, ninguno de los sistemas cuenta con tanque de enfriamiento, área de cuarentena, registros, ni procesos documentados sobre la rutina de ordeño, lo cual repercute en posibles riesgos para el bienestar humano y animal, así como las consecuencias sanitarias y económicas dentro del sistema productivo.

4.2.2.1 COMPOSICIÓN DE LA GANADERÍA

El número de bovinos en las unidades muestreadas es de 257 en total, ganadería compuesta en mayor proporción por vacas en ordeño 40 %, seguidas en número por terneras o terneros 28 %, vacas secas 14 %, novillas de vientre o de reemplazo 13 %, novillos 4 % y toros 2 %, los detalles de la composición de la ganadería y la distribución de los animales de acuerdo a su etapa productiva, edad y sexo se muestran en la Tabla 4.1.

TABLA 4.1. Composición de la ganadería

	Vacas en producción	Vacas secas	Terneras o terneros	Novillas de vientre	Novillos	Toros y Toretos	Número total de animales
Media	7	2	5	2	1	0	17
Mediana	6	2	4	0	0	0	12
Moda	4	2	3	0	0	0	25
Desviación estándar	5	2	3	3	1	0	11
Varianza de la muestra	21	5	10	10	1	0	127
Coefficiente de asimetría	1	1	1	1	2	1	1
Rango	17	7	11	10	3	1	35
Mínimo	2	0	1	0	0	0	5
Máximo	19	7	12	10	3	1	40
Suma	102	35	73	34	9	4	257

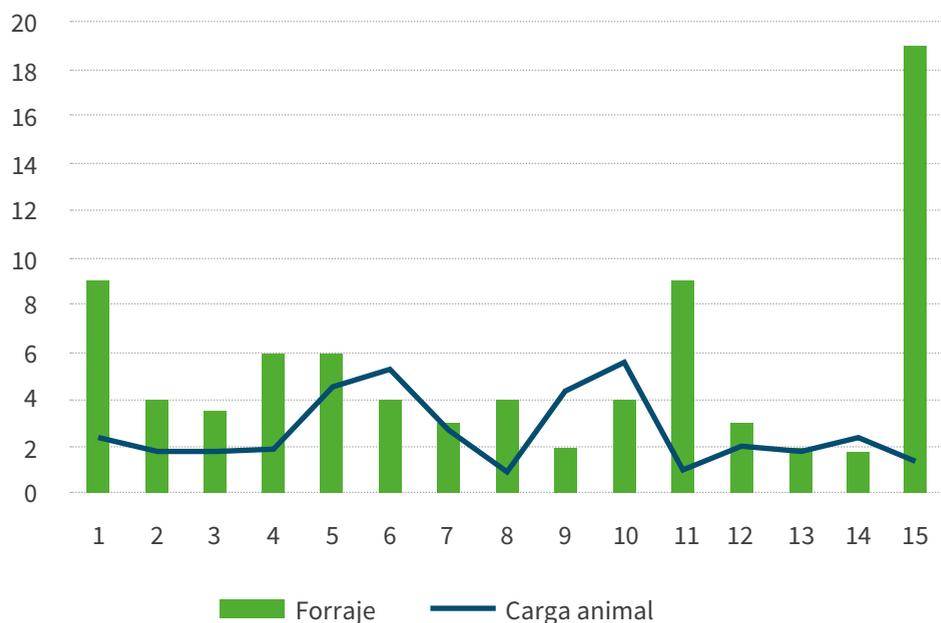
Fuente: elaboración propia.

La raza predominante es la Normando (32 %) y sus cruces (44 %), en menor porcentaje está la raza Holstein (11 %) seguida de Ayrshire (9 %) y Jersey (5 %), aunque el objetivo de producción principal es la leche, se utilizan en mayor proporción bovinos doble propósito.

Manejo del forraje y alimentación

La alimentación se basa en forraje, en las 79,3 ha predominan pastos nativos: 49 % incluyendo Kikuyo (*Pennisetum clandestinum*), seguido de mezcla de pastos nativos y mejorados 47 % y solamente el 4 % restante corresponde a pastos mejorados.

En la Figura 4.2 se evidencia el tamaño del predio, el área destinada a la producción de forraje, con media de 5,3 ha, y la carga animal con media de 2,6 U/Ha.

FIGURA 4.3. *Forraje y carga animal*

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la alimentación complementaria, en el 60 % de los sistemas productivos suministran entre 0,5 y 2 kg de alimento concentrado a vacas en producción, en dos de los predios usan ensilaje y en uno heno. En el 100 % de los sistemas suministran a las vacas en producción sal mineralizada.

4.2.2.2 DISPONIBILIDAD DE RECURSO HÍDRICO Y COMPONENTE ARBÓREO

El recurso hídrico es obtenido en mayor proporción del acueducto veredal (87 %) y del acueducto municipal (13 %), las fincas cuentan además con reservorio (40 %), pozo (13 %) y fuente superficial (13 %).

TABLA 4.2. Fuentes de agua

	Total	Porcentaje
Acueducto municipal	2	13 %
Acueducto veredal	13	87 %
Fuente superficial cercana	2	13 %
Reservorio	6	40 %
Pozo	2	13 %

Fuente:elaboración propia.

El componente forestal está constituido por especies de aliso (*alnus acuminata*), eucalipto (*eucaliptus globulus*), acacia forrajera (*acacia melanoxylon*), pino (*leucaena leucocephala*), cedro (*cedrela montana*) y ciprés (*cupressus lusitánica*), usado en mayor proporción para el establecimiento y arreglo de cercar, seguido de la producción de leña, barreras naturales, madera para construcciones rurales o para venta. Solo un predio lo aprovecha como suplemento nutricional del ganado.

Disposición de residuos

Las excretas se utilizan para la producción de compostaje; en el 53 % de los predios no existe otra práctica de transformación o aprovechamiento, dado que en el resto de sistemas se esparcen en fresco sobre los potreros. Otros residuos orgánicos se degradan al aire libre y solo en dos sistemas se incluyen en el compostaje. En el caso de los residuos peligrosos, se cuenta con servicio especial de recolección y disposición, mientras que los residuos sólidos no peligrosos son quemados en el 30 % de los sistemas.

4.2.3 DESCRIPCIÓN DE PARÁMETROS PRODUCTIVOS Y REPRODUCTIVOS

La producción de leche es en promedio de 7,4 kg/animal/día, con eficiencia productiva de 2.655 kg/ha/año. La finalidad del mercado es la producción de leche que comercializan de forma directa en la finca 93 % y el 7 % restante es utilizado para autoconsumo, solo un predio realiza procesamiento y produce queso.

TABLA 4.3. Producción de leche

	Kg/cabeza/día	Kg/ha/año
Media	7,4	2655,8
Error típico	1,0	357,1
Desviación estándar	3,8	1383,1
Varianza de la muestra	14,8	1913102,4
Rango	14,6	5250,0
Mínimo	0,4	150,0
Máximo	15,0	5400,0
Suma	110,7	39837,3

Fuente: elaboración propia.

La producción de leche lleva a una ganancia máxima en los sistemas productivos de 1.982.200 COP/mes y promedio de 556.220 COP/mes, con promedio diario de venta de 935 COP/kg, costos de producción de 625 COP/kg y ganancia de 310 COP/kg.

TABLA 4.4. Costo de producción, precio de venta y ganancia

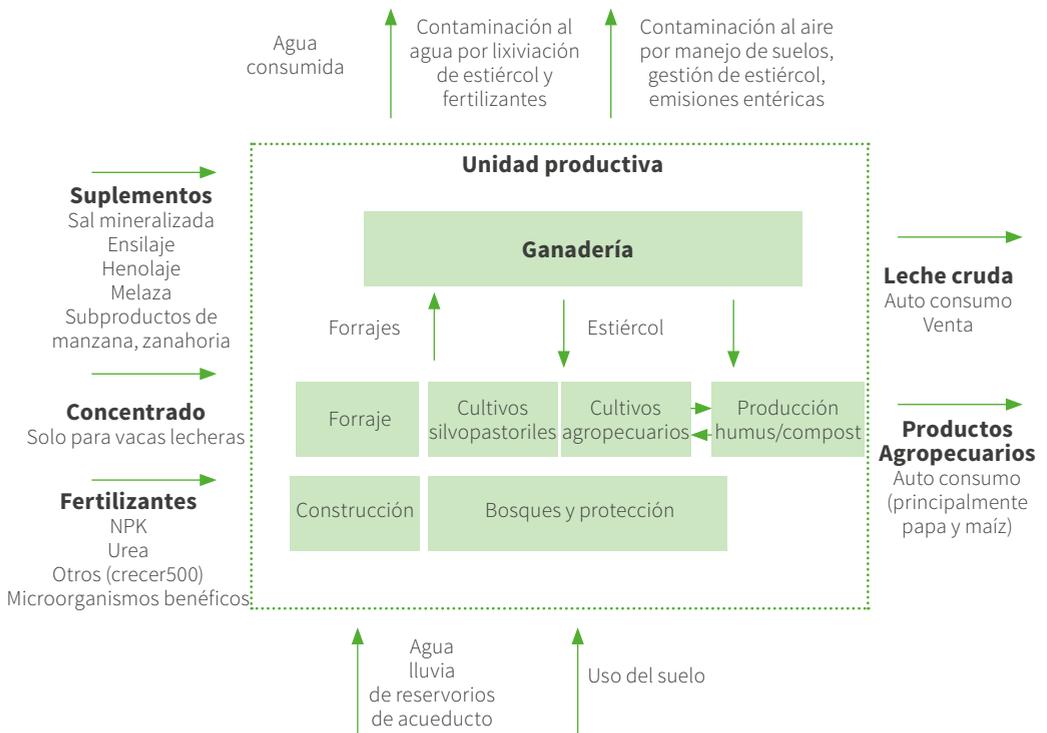
	Precio de venta COP/kg leche	Costos de producción COP/kg leche	Ganancia COP/ kg leche
Media	935	625	310
Error típico	31	37	70
Mediana	950	700	300
Moda	900	700	250
Desviación estándar	118,6	144,9	270,0
Varianza de la muestra	14069,5	20983,8	72885,7
Rango	500	500	900
Mínimo	600	300	150
Máximo	1100	800	1050
Suma	14020	9370	6150

Fuente: elaboración propia.

4.3 DATOS DE INVENTARIO PARA LAS HUELLAS AMBIENTALES

El primer paso para realizar el análisis de huellas ambientales, luego de definido su objetivo y alcance, es realizar un diagrama de flujos y procesos. En la figura 4.4 se presenta el diagrama de una unidad productiva típica.

FIGURA 4.4. Diagrama de flujos y procesos en una unidad productiva típica



Fuente: elaboración propia.

Al ser un proceso agropecuario, los flujos más importantes son los directos, relacionados con usos del suelo, agua y generación de contaminación orgánica por la actividad ganadera. Sin embargo, como se mostraba en la sección anterior, hay algunos insumos de tipo alimentario o para fertilización, que son parte de las entradas al proceso. La Federación Internacional de la Leche (IDF, 2010), recomienda que se realice una asignación mediante el valor económico. Como el único producto a la venta reportado es

la leche cruda, y solo en una finca se reportó queso, los productos agropecuarios de autoconsumo se evalúan, pero todos los impactos se asocian a los lácteos.

Debido a la baja tecnificación, no hay un gran consumo de energía en combustibles o electricidad para máquinas en los procesos. Aunque se reportó consumo para usos domésticos, estos no se consideran en el inventario, por estar destinados principalmente a las personas y no a las actividades ganaderas y de cultivos.

Los valores y rangos promedio para los flujos de entrada del inventario descritos en la Figura 4.4 se presentan a continuación:

TABLA 4.5. *Inventario anual para una unidad productiva promedio*

Flujo	Fuente y cálculo	Valor promedio (rango)
<i>Salidas</i>		
<i>Cantidad de leche cruda</i>	Encuesta: producción de leche para autoconsumo y venta por mes. Se suman y multiplican por 12 meses.	17.496 kg/año (5.040-69.960)
<i>Productos agropecuarios</i>	Encuesta: hectáreas. Criterio experto: los mayores volúmenes son principalmente en cultivos de papa y maíz. Se cultiva dos veces al año, una vez cada cultivo. Rendimiento: Evaluaciones Agropecuarias Municipales en Boyacá (Ministerio de Agricultura, 2014)	6,7 ha (2-26) Rendimiento promedio: 930 kg/ha
<i>Flujos internos</i>		
<i>Forraje</i>	Encuesta: hectáreas y número de cabezas. Cantidad forraje/cabeza base seca:	Se suman todos los forrajes
<i>Pastos nativos</i>	ecuación 10.18 b IPCC con base en peso y digestibilidad de alimento	15.971 kg/año (0-38.933) 3 ha (0-9)
<i>Pastos mejorados</i>	Digestibilidad y humedad: según se muestra en tabla “propiedades de los alimentos y suplementos ganaderos”.	2.527 kg/año (0-23.725) 0,2 ha (0-1)
<i>Mezclas de pastos</i>	Se obtuvo la cantidad en base seca y se convirtió a masa total con el número de cabezas y la humedad de cada tipo.	20.098 kg/año (0-91.703) 3 ha (0-19)
<i>Pastos de corte</i>		Ninguna finca reporto
<i>Subproductos de cosecha</i>	Encuesta: cantidad por cabeza al día y número de vacunos. Se multiplicaron entre sí y por 365 días	2.567 kg/año (0 – 18.250)

<i>Materias primas</i>		
<i>Concentrado</i>	Encuesta: cantidad por cabeza al día y número de vacas en producción. Se multiplicaron entre sí y por 365 días	2.360 kg/año (0-13.870)
<i>Suplementos</i>		
<i>Sal mineralizada</i>		1.207 kg/año (0-4.380)
<i>Ensilaje</i>	Encuesta: cantidad por cabeza al día y número de vacas en producción. Se multiplicaron entre sí y por 365 días	4.331 kg/año (0-29.200)
<i>Henolaje</i>		973 kg/año (0-14.600)
<i>Melaza</i>		229 kg/año (0-2.190)
<i>Fertilizantes</i>		
<i>NPK</i>	Encuesta: cantidad aplicada por hectárea trimestral, mensual o semanal, multiplicado por 4, 12 o 52 al año; y por el número de hectáreas con fertilización.	560 kg/año (0-7.600)
<i>Urea</i>		500 kg/año (0-5.400)
<i>Otros</i>		0,3 kg/año (0-5)
<i>Biopreparados</i>	Criterio experto: áreas con fertilización son las áreas de cultivos agrícolas, silvopastoriles, y forraje. En fincas que reportaron aplicación, pero no cantidades, se asumió una aplicación de NPK 100 kg/ha y Urea 50 kg/ha trimestral.	Solo una finca reportó 1.050 kg/año
<i>Hongos antagonicos</i>		Ninguna finca reportó uso de hongos antagonicos, minerales
<i>Minerales</i>		
<i>Humus</i>	Una finca reportó cal, se asumió dos toneladas por ha al año.	Solo una finca reportó 2.400 kg/año
<i>Compost</i>		Ninguna finca reportó uso
<i>Microorganismos benéficos</i>		Solo una finca reportó 560 kg/año
<i>Cal</i>		Solo una finca reportó 2000 kg/año
<i>Flujos directos</i>		
<i>Agua extraída</i>	Suma de agua extraída de reservorios o pozos, para bebida o limpieza de animales, y riego. Encuesta: se preguntó si hay riego y cantidad en litros/día. Solo una finca contestó que irriga 5000 L/día. Estimación: el agua de bebida de terneros es 114 l/día (Le Riche et al., 2017, citado por Palhares et al., 2020), y para novillos y adultos es de 78,4 L (Appuhamy et al., 2016) citado por (Palhares et al., 2020). Criterio experto: se asume un gasto diario en limpieza de 5 litros por unidad productiva.	615 m ³ /año (158-1.661)

	<p>Se asume 40 días de riego, ya que este se hace una vez a la semana, durante los meses secos. Para fincas que reportaron existencia de riego, pero no cantidad, se usa dato aproximado de finca que reportó (199 mm riego de cultivos silvopastoriles y forrajes). Este valor es coherente y menor que el requerimiento de agua del cultivo pasturas kikuyo según Capera y Figueroa para un área en la zona cundiboyacense (2016, p.65)</p> <p>Se multiplica el agua de bebida y limpieza por 365 días y la de riego por 40 días.</p>	
<i>Agua consumida por bebida animales y limpieza</i>	Se asume 20 % del agua bebida y de limpieza. El resto retorna como orina o agua residual.	111 m ³ /año (32-255)
<i>Agua consumida por riego</i>	Estimación: Se asume una irrigación efectiva del 40%, coherente con un valor medio de eficiencia global para diferentes sistemas de irrigación (Gurovich, 1985)	22 m ³ /año (0-151) Solo 5 fincas reportaron riego, con una irrigación promedio de 67 m ³ /año
<i>Uso del suelo</i>	Encuesta: hectáreas dedicadas a usos antrópicos: construcción, cultivos, forrajes.	6,7 ha (2-26)
<i>Contaminación por lixiviación</i>		
<i>Nitrógeno</i>	Contenido de nitrógeno y fósforo de los excrementos producidos según la ecuación 10.29 (IPCC, 2006), tipo de sistema de gestión de estiércol (compostaje, aplicación en fresco a prados, ninguno) y las especificaciones de productos fertilizantes. Para calcular el factor de lixiviación del nitrógeno, se consideró una distribución equitativa del estiércol en los diferentes tipos de gestión reportados. Para determinar la lixiviación de nitrógeno y fósforo desde productos aplicados, se usó la metodología de la WFN como se describe en la tabla 4.7.	168 kg N/año (31-476)
<i>Fósforo</i>		12 kg P/año (0-120) Solo dos fincas reportaron uso de fertilizantes con contenido de fósforo.

Fuente: elaboración propia con base en las fuentes indicadas en la misma tabla.

Adicionalmente, para los cálculos según la norma IPCC en su nivel 2, se requieren datos relacionados con la alimentación. Los datos usados fueron:

TABLA 4.6. *Datos de propiedades de alimentación usadas*

	% proteína cruda	% humedad	Digestibilidad (% base seca)	Fuente
Pastos nativos (kikuyo, falsa poa, carretón o pasto azul)	7	80	55	Se tomó un valor medio de pastos para este tipo de especies, según (INATEC, 2016)
Pastos mejorados	10	80	65	
Mezcla de pastos nativos y mejorados	9	80	60	
Pastos de corte	8,2	80	60	Se tomó un valor para axonopus scoparius y se asumió la misma humedad de pastos nativos (Rodríguez-López, 2018)
Ensilaje	20,5	40	59,5	Datos tomados para ensilajes y henolajes de diferentes cultivos (Gaggiotti et al., 1998)
Henolaje	18,8	40	60,9	
Melaza	4	23	80	Tomado de (CONtexto Ganadero, 2018) y (Fajardo- Castillo y Sarmiento-Forero, 2007)
Subproductos cosecha papa	9	79,5	79	Tomado de (Siebald et al., s. f.)

Fuente: elaboración propia con base en las fuentes anotadas en la misma tabla.

Por último, se requieren los datos de las cuencas y zonas donde se generan las huellas. Los municipios donde están las unidades productivas se ubican en dos cuencas, la cuenca del alto Chicamocha y la cuenca del río Garagoa.

FIGURA 4.5. Cuencas de las unidades productivas asociadas al estudio

Fuente: elaboración propia con base en datos del estudio y Google Earth.

TABLA 4.7. Datos asociados a la zona y cuencas para cálculo de huellas

Datos	Valor	Fuente
Temperatura promedio	10 C	Datos de Google
Entrada atmosférica de N	< 1,5	Mapa global de la WFN (Franke et al., 2013)
Textura del suelo	Franco-arenoso	Autores, observación cualitativa
Drenaje	Bien drenado	Autores, observación cualitativa
Contenido de P	300	Mapa global de la WFN (Franke et al., 2013)
Intensidad de lluvia	Moderada	Autores, observación cualitativa
Aplicación agroquímicos	Baja	Autores, observación cualitativa
Rendimiento de cultivos	Bajo	Autores, observación cualitativa
Prácticas de gestión	Promedio	Autores, observación cualitativa
Factores de lixiviación	0,01 para nitrógeno 0,0001 para fósforo	Cálculo con metodología de la WFN (Franke et al., 2013)
Objetivos de calidad del agua	1,5 mg/L para N 0,021 mg/L para P	POMCA río Chicamocha (Resolución 3560, 2015). En todos los casos, el contaminante crítico para la huella gris fue el nitrógeno.
Concentración natural	0,1 mg/L para N 0,20 mg/L para P	Para el nitrógeno, se toma el límite máximo que menciona Chapman para ríos no contaminados <0,1 mg/L (Chapman, 1996). Para el fósforo, se usa la metodología de WFN (Franke et al., 2013), para un río mesotrópico.

Índice de escasez**Cuenca del alta del río Chicamocha**

0,658

Tomado de (Puerto y Gmünder, 2017) con datos del ENA 2014 (IDEAM, 2014)

Cuenca del río Garagoa

0,375

Fuente: elaboración propia con base en las fuentes anotadas en la misma tabla.

4.4 RESULTADOS DE HUELLAS DIRECTAS Y ANÁLISIS

A continuación, se presentan los resultados obtenidos para las huellas de las fincas evaluadas, basados en los datos descritos en el inventario.

4.4.1 HUELLA ECOLÓGICA

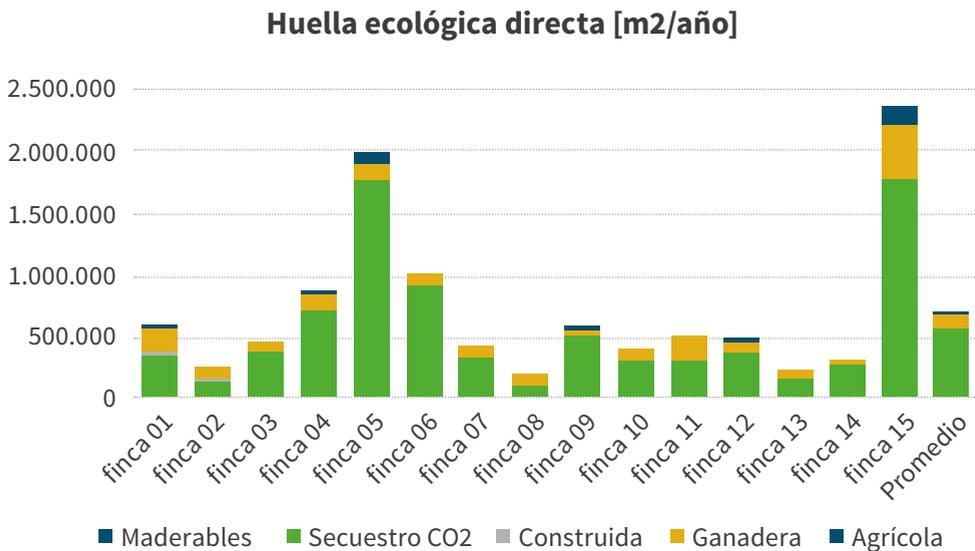
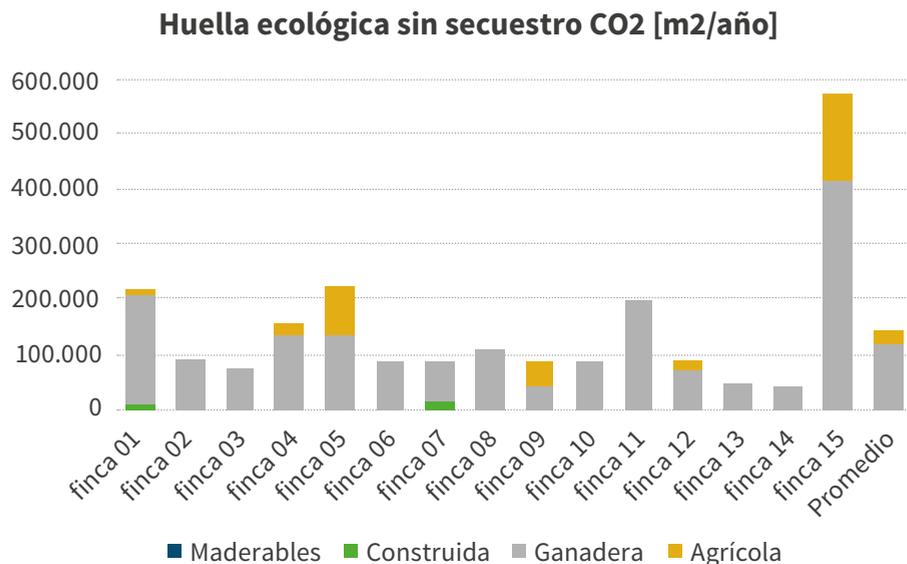


FIGURA 4.6. Huella ecológica anual directa

Fuente: elaboración propia.

La mayor parte de la huella ecológica se asocia al área requerida para secuestro del carbono generado. Las fincas con los mayores impactos se asocian a mayores emisiones de gases de efecto invernadero, que son las fincas 15, 5 y 6. Para una finca promedio, la huella ecológica directa es 967.305 m² en un año, asociada en un 85.1 % al secuestro de carbono, 12,4 % a la ganadería, 2,3 % a la agricultura y 0,3 % a áreas construidas.

FIGURA 4.7. *Huella ecológica anual directa sin secuestro de carbono*

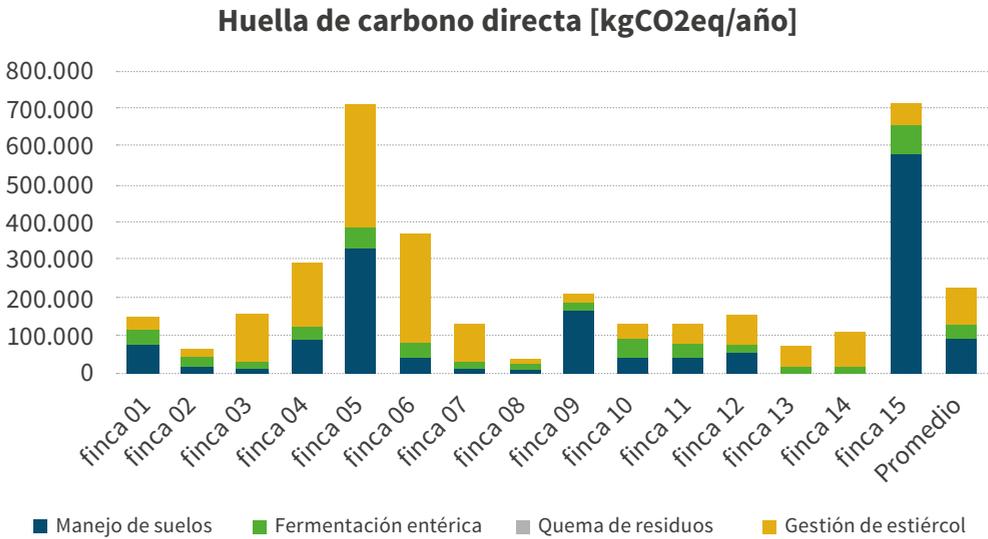


Fuente: elaboración propia.

Al evaluar las huellas sin secuestro de carbono, se observa que la finca 15 sigue siendo una de las de mayor impacto. Las demás fincas tienen un comportamiento similar, aunque la finca 1, 4, 5 y 11 tienen un impacto ligeramente mayor en huella ecológica, principalmente asociada a usos ganaderos.

4.4.2 HUELLA DE CARBONO

FIGURA 4.8. Huella de carbono anual directa



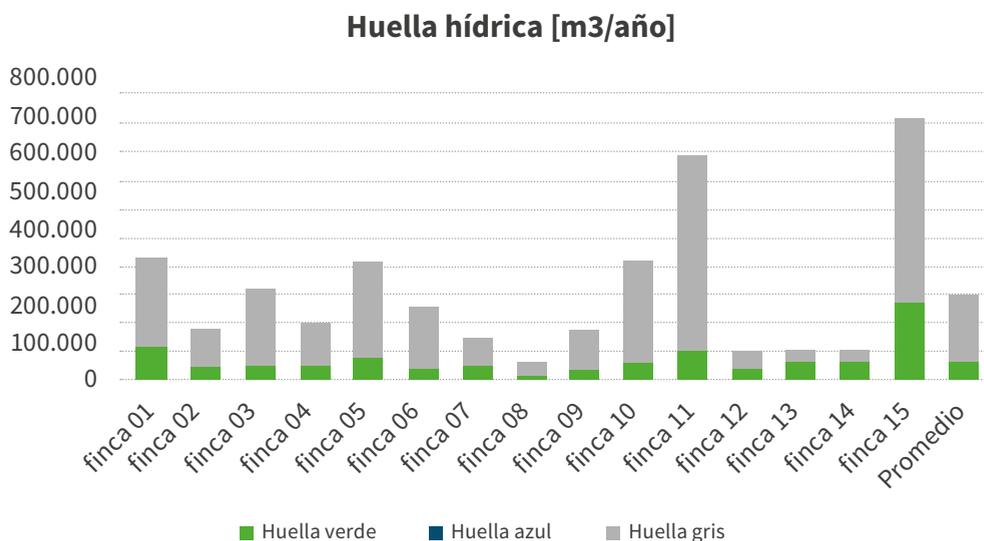
Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la huella de carbono, los principales contribuyentes son el manejo del suelo, debido a las emisiones de óxido nítrico, por estiércol depositado naturalmente en pasturas por el ganado. En segundo lugar las emisiones de metano, debido a la fermentación entérica en el ganado y en tercer lugar, las emisiones de óxido nítrico y metano asociadas a la gestión del estiércol, por ser principalmente esparcido en el mismo terreno. Las fincas con los mayores impactos son las 5, 6 y 15. Estos valores se asocian a la productividad de las fincas, así como al tipo de alimentación. En promedio, una finca emite de manera directa 227.915 kg CO₂ equivalentes al año a 14 % por emisiones entéricas, 43 % por gestión de estiércol y 44 % por manejo de suelos. Ninguna finca reportó quema de residuos, por lo tanto, no hay emisiones asociadas a este proceso.

En promedio, una finca emite de manera directa 227.915 kg CO₂ equivalentes al año a 14 % por emisiones entéricas, 43 % por gestión de estiércol y 44 % por manejo de suelos.

4.4.3 HUELLA HÍDRICA

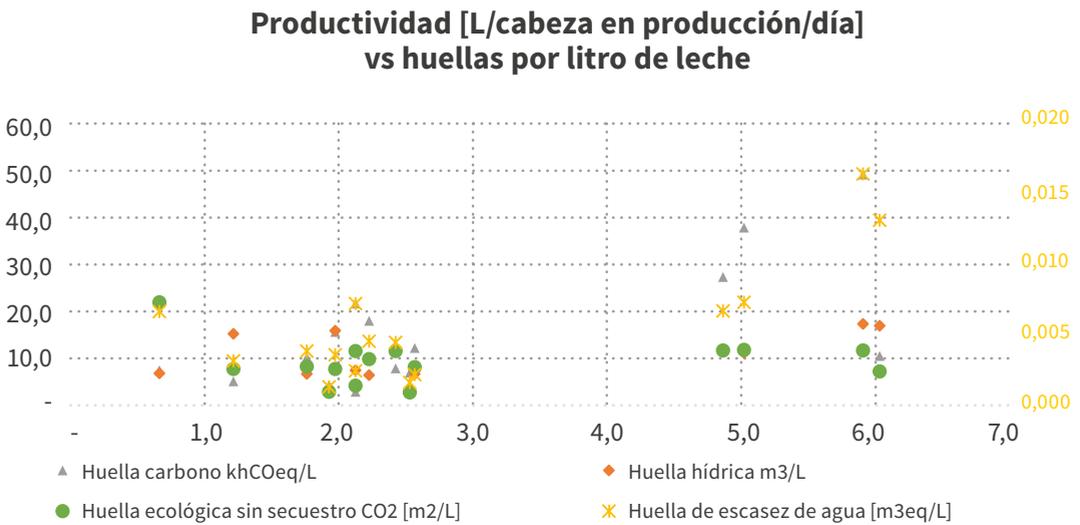
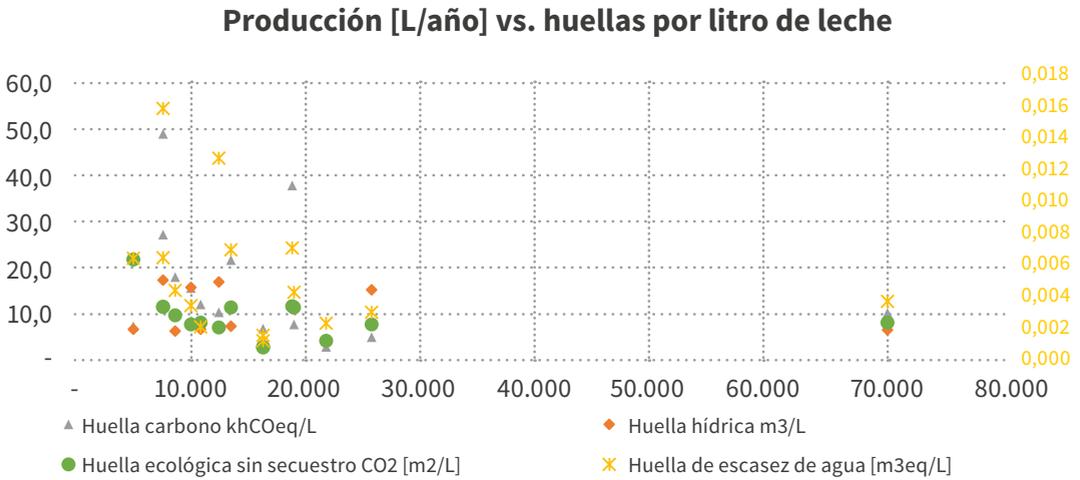
FIGURA 4.9. *Huella hídrica directa*



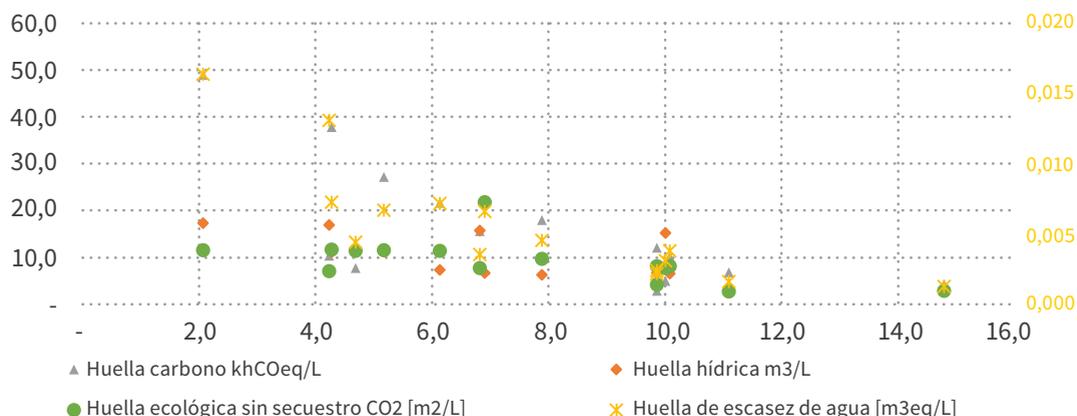
Fuente: elaboración propia.

La huella hídrica reportada varía entre 34.198 y 461.150 m³/año. Las fincas con mayores huellas asociadas son las fincas 15, 11, 10, 1, 5 y 6. El mayor volumen de impacto está asociado a la huella gris, por lixiviación de contaminantes de nitrógeno y fósforo. La huella hídrica de una unidad productiva promedio es 154.434 m³ al año, 77,6 % es huella gris; 22,3 %, verde y 0,1 %, azul.

FIGURA 4.10. Análisis de parámetros de finca versus huellas



Carga animal [cabeza eq/Ha forrajes-silvopastoril] vs. huellas por litro de leche



Fuente: elaboración propia.

Al comparar las características de las fincas con los resultados de huellas, se observa que la mayoría de las fincas producen menos de 30.000 kg leche /año y sus huellas por litro de leche son muy variables. Solo la finca 15 produce alrededor de 70.000 kg/leche y sus huellas por litro de leche son relativamente pequeñas, pero no son las más bajas calculadas. La carga animal tiene una leve relación de proporcionalidad con las huellas de carbono y de escasez de agua, pero no están fuertemente relacionadas con las huellas hídrica y ecológica por litro de leche producido. Por último, la productividad en litro de leche por cabeza de ganado en producción es el parámetro que más fuertemente muestra que al ser mayor, se reduce el impacto o las huellas ambientales por litro de leche.

Por último, la productividad en litro de leche por cabeza de ganado en producción es el parámetro que más fuertemente muestra que al ser mayor, se reduce el impacto o las huellas ambientales por litro de leche.

4.4.4 HUELLAS DE UN LITRO DE LECHE

Para un litro de leche, los valores promedio se presentan a continuación

FIGURA 4.11. *Huellas directas por litro de leche*

Producción	Litros	Unidad	Cantidad (rango)
Huella ecológica 48,6 m ² /l (11,3-134.4)	Construida	m ² /l	0,1 (0-1)
	Agrícola	m ² /l	1,1(0-5,8)
	Ganadera	m ² /l	7,9 (2,4-21,8)
	Maderables	m ² /l	-
	secuestro CO ₂	m ² /l	39,4 (7,2-122,8)
Huella carbono 15,8 kgCO ₂ eq/l	Fermentación entérica	kgCO ₂ eq/l	2,2 (0,7-5,4)
	Gestión de estiércol	kgCO ₂ eq/l	8,1 (0,8-38,1)
	Nitrificación suelos	kgCO ₂ eq/l	5,5 (0,3-21,9)
	Quema de residuos	kgCO ₂ eq/l	0
Huella hídrica 9,592 m ³ /l	Huella azul	m ³ /l	0,009 (0,002-0,025)
	Huella verde	m ³ /l	1,985 (1,178-3,039)
	Huella gris	m ³ /l	7,598 (1,372-15,355)
Huella de la escasez de agua		m ³ _{eqAWARE} /l	0,006 (0,001-0,16)
Inventario huella de agua	Agua extraída	m ³ /l	0,043 (0,010-0,114)
	Agua consumida	m ³ /l	0,009 (0,002-0,025)
	Agua vertida	m ³ /l	0,033 (0,008-0,089)
	Nitrógeno al agua	kg Neq/l	0,011 (0,002-0,021)
	Fósforo al agua	kg Peq/l	0,0004 (0-0,049)

Fuente: elaboración propia.

Los valores de huellas son comparables con los reportados por otras fuentes descritas en la Figura 4.12. Aunque, no se puede realizar una comparación estricta debido a que las metodologías, alcances, suposiciones y exclusiones en el sistema varían para cada estudio y no necesariamente coinciden con el presente, para facilitar la comparación, los resultados de este estudio se dividieron en 1,029 kg/L como densidad de la leche.

FIGURA 4.12. Comparación de huellas de este estudio con otras fuentes

	Unidad	Este estudio	Referencias
Huella de carbono	kgCO ₂ eq/kg leche	15,3	91,6 (entre 11,3 y 153,93) – caso departamentos de Colombia (Vejarano, 2020). 3,52 – caso en Inglaterra (Acosta, 2009) 1,1 (entre 0,6 y 1,5) – para 10 países en Europa y Estados Unidos (Pirlo, 2012). No incluye manejo del suelo. 0,83 para pequeños productores en Kenia (Weiler, 2013)
Huella hídrica	m ³ /kg leche	9,3	2– para productores en Boyacá (Corredor-Camargo, et. Al. 2017). 1,02 (0,86 verde, 0,72 gris) – promedio global (Meokonnen y Hoekstra, 2010) 0,08 – 0,62 (Consentino et. Al, 2015)
Agua consumida	m ³ /kg leche	0,009	0,007 – para productores en Boyacá (Corredor-Camargo, et. Al. 2017) 0,0086 (Meokonnen y Hoekstra, 2010)

Fuente: elaboración propia y fuentes ya mencionadas en la tabla.

Aunque no es posible obtener comparaciones definitivas, es probable que la baja productividad de la leche comparada con sistemas en países del norte influya en una mayor huella de carbono. Así mismo, la metodología de la IPCC se caracteriza por usar factores conservativos, que tienden a dar valores altos. Respecto a la huella hídrica, la diferencia más importante se asocia a la estimación de la huella gris, ya que la mayoría de los estudios no la considera, y si lo hacen, es desde la perspectiva de fertilizantes aplicados. En este caso, además, se utilizó la metodología de la IPCC para estimar el nitrógeno lixiviado al agua, que como se mencionó, es una metodología conservadora que suele dar valores altos de impacto. Por último, la siguiente gráfica muestra los valores de las huellas totales, de la huella ecológica de la ganadería y del agua extraída, como una relación al promedio.

CONCLUSIONES

A partir de la caracterización de las fincas muestreadas, se evidencia que son pequeñas unidades productivas lecheras de alrededor de 7 ha, de tipo extensivo, cuyas áreas se destinan en mayor porcentaje a la producción de forraje, seguido de la agricultura, siendo mínimo el destino al área forestal. Esto sumado a la composición de la ganadería de media 17 cabezas de ganado, reflejan lo indicado por la Gobernación de Boyacá (2020), cuando señala que el departamento posee alrededor de 69% de sistemas ganaderos pequeños, de menos de 20 cabezas de ganado, de tal manera, que el mayor porcentaje de sistemas productivos de la región son similares a la muestra realizada.

Lo anterior supone un reto adicional para la productividad de los sistemas, ya que se debe generar procesos de diversificación y creación de sistemas multiestrato de la producción, para incrementar la cantidad de biomasa y productos por unidad de área, teniendo en cuenta la poca disponibilidad de tierra para llevar a cabo las actividades productivas de la mayor parte de los sistemas de producción ganadera de la región.

En el uso del suelo, el manejo del forraje y la alimentación en las fincas muestreadas reflejan prácticas de monocultivo, con bajo componente arbóreo. Esto dificulta el desarrollo de procesos productivos sostenibles, por lo cual debe generarse estrategias de diversificación, que no solo brinden una mayor productividad, sino que también se traduzcan en una mayor capacidad de resiliencia a nivel productivo y socioambiental de las unidades, para mitigar el impacto negativo que se puede generar ante las condiciones climáticas adversas.

Con respecto a las huellas ambientales, los mayores impactos están asociados a la gestión del estiércol, pues su manejo tradicional implica emisiones de CO₂ importantes y lixiviación de sus contaminantes asociados. Por ende, debe propenderse por la implementación de sistemas de gestión adecuados de los residuos sólidos, que mitiguen el impacto negativo que pueden tener sobre el medio y, a la vez, puedan constituirse en fuente alterna de materia orgánica, para el mejoramiento de la estructura de los suelos, por ejemplo, a través de la implementación de procesos de compostaje o la producción de abonos verdes que pueden reincorporarse al mismo sistema. En relación con las huellas, se observó que las fincas con los mayores impactos suelen estar asociadas a menores productividades de leche/cabeza en producción, así mismo, suelen tener un impacto alto en todas las huellas. Las huellas obtenidas son del mismo orden de magnitud de otras fuentes excepto para la huella de agua gris, que es más alta, pero no se puede concluir que el impacto al agua sea mayor en las fincas

evaluadas que otros sistemas productivos porque las metodologías y alcances de los cálculos son diferentes.

En la mayoría de los sistemas evaluados no se aplican buenas prácticas ganaderas (BPG) o su aplicación es mínima, por lo que los beneficios sociales, ambientales y económicos que se generan son escasos; algunos de los beneficios sociales que se pueden potenciar incluyen, un mejor aprovechamiento del uso del suelo, mejorando el estatus de las familias campesinas, la producción de leche para autoconsumo y la generación de empleo.

Por lo anterior, debe fomentarse la implementación de las BPG, como estrategia de mejoramiento a nivel productivo, no solo por los beneficios que a nivel económico se pueden obtener, sino también por aquellos beneficios que a nivel ambiental se pueden generar, por una disminución en el impacto negativo de los sistemas productivos y un mejoramiento en la gestión de sus recursos, lo cual se traduce en unas huellas ambientales de menor impacto.

Con respecto a la baja rentabilidad de las fincas muestreadas, el mejoramiento de los procesos puede llevar al aumento tanto por animal, por tiempo, como por área, lo que a su vez podría mejorar los índices de impacto ambiental. Sumado a esto, si se incrementa la diversidad a través de la creación de sistemas productivos multiestrato, se pueden mejorar tanto la productividad como la rentabilidad de las unidades productivas.

Las huellas ambientales constituyen unas herramientas que orientan la gestión de las unidades productivas; se pueden establecer programas de mejoramiento, a partir de la línea base que brinden estas huellas y mitigar el impacto negativo que puede generarse a nivel primario, para dar lugar a sistemas productivos sostenibles a nivel económico, ambiental y social.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Acosta K. (2009). Creating an Ecological Footprint Assessment: Using Component and Compound Economic Input Output Methods. Natural Step and Life Cycle Assessments. British Columbia Institute of Technology BCIT. https://www.bcit.ca/files/sustainability/pdf/bcit_ecofootprint__methods_final_report_.pdf

Appuhamy JADRN, Judy JV, Kebreab E, Kononoff PJ. (2016) Prediction of drinking water intake by dairy cows. *J Dairy Sci.* Sep;99(9):7191-7205. Doi: 10.3168/jds.2016-10950.

Bach V., Merger M. Brankatsch G., Finkbeiner M. (2013). Water Footprint of Mil. Conference: LCA XIII International Conference – Volume: Orlando, USA. https://www.researchgate.net/publication/271199349_Water_Footprint_of_Milk

Biblioteca del Campo (s.f.). Composición de los estiércoles. [Archivo pdf] <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6633/7/053.7.pdf>

Gurovich, L. 1985. “Fundamentos y Diseño de Sistemas de Riego” Libro de texto para estudiantes de Agronomía, profesionales y productores agrícolas. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José, Costa Rica. ISBN: 92 – 9039-064-6.

Capera A., Figueroa K (2016). Determinación e huella hídrica del pasto Kikuyo (*penisetum clandestinum*) mediante el programa Cropwat 8.0 en la finca Giragua ubicada en el municipio de Sutatausa (Cundinamarca). Tesis: Universidad de la Salle. https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/153

Consentino, C. Adducy M. Musto M. Paolino R. Freschi P. Pecora G. Adamo D. Valentini V. Low vs high “water footprint assessment” diet in milk production: A comparison between triticale and corn silage based diets. *Emir. J. Food Agric.* 27(3): 32-317 <https://www.ejfa.me/index.php/journal/article/download/676/496>

Chapman, D. (1996). Water Quality Assessment. London: E & FN SPON.

Contexto Ganadero. (2018, 1 de noviembre). Re: Conozca las 6 propiedades de la melaza en Bovinos [Archivo blog]. <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/conozca-las-6-propiedades-de-la-melaza-para-la-nutricion-de-bovinos>

Fajardo-Castillo, E. E. y Sarmiento-Forero, S. C. (2007). *Evaluación de melaza de caña como sustrato para la producción de saccharomyces cerevisiae* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana. <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8279/tesis26.pdf?sequence=1&isAllowed=y> <https://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis26.pdf>

Franke, N. A., Boyacioglu, H. y Hoekstra, A. Y. (2013). Grey Water Footprint Accounting Tier 1 Supporting Guidelines [Value of Water. Research Report Series No. 65]. UNESCO; IHE. https://waterfootprint.org/media/downloads/Report65-GreyWaterFootprint-Guidelines_1.pdf

Gaggiotti, M., Romero, L., Comerón, E., Bruno, O. y Baroni, A. (1998). Re: Calidad de los forrajes conservados [Archivo web]. http://rafaela.inta.gov.ar/productores97_98/p41.htm

Gobernación de Boyacá. (2020). *Plan de desarrollo 2020-2023*. Autor

Hoekstra AY, Chapagain AK, Aldaya MM, Mekonnen MM. (2011). The water footprint assessment manual: Setting the global standard. London: Earthscan. p 203.

IDF (International Dairy Federation). 2010. A common carbon footprint approach for dairy—The IDF guide to standard lifecycle assessment methodology for the dairy sector. In Bulletin of the IDF No. 445/2010.

Infoagro (s.f.). Abonos orgánicos. [Archivo web] https://www.infoagro.com/documentos/abonos_organicos.asp

Instituto Colombiano Agropecuario, ICA. (2008). RESOLUCION 3585 DE 2008. Recuperado de <https://www.ica.gov.co/areas/agricola-pecuaria/bpa-bpg.aspx>

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2014). Re: Informe Nacional del Agua 2014 [Archivo web]. <http://www.siac.gov.co/infonalagua>

Instituto Nacional Tecnológico, INATEC. (2016). *Pastos y Forrajes*. INATEC y JICA.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM., Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, PNUD. (2016). Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto Invernadero – Colombia. <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023634/INGEI.pdf>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. (2019). Informe Nacional del Agua 2018. http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvvirtual/023858/ENA_2018.pdf

Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC. (2006). Capítulo 2. Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra. En *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 4), pp. 2.1-2.66. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/4_Volume4/V4_02_Ch2_Generic.pdf

IPES/FAO (2010). Biopreparados para el manejo sostenible de plagas y enfermedades en la agricultura urbana y periurbana. 94 p. <http://www.fao.org/3/as435s/as435s.pdf>

Le Riche, E., VanderZaag, A., Burt, S., Lapen, D., & Gordon, R. (2017). Water Use and Conservation on a Free-Stall Dairy Farm. *Water*, 9(12), 977. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/w9120977>

Mekonnen, M.M. and Hoekstra, A.Y. (2010) The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (2014). Principales Cultivos por Área sembrada en el Año 2014 en Boyacá. <http://www.agronet.gov.co/Documents/Boyac%C3%A1.pdf>

Palhares, Julio Cesar Pascale, Novelli, Taisla Inara, & Morelli, Marcela. (2020). Best practice production to reduce the water footprint of dairy milk. *Revista Ambiente & Água*, 15(1), e2454. Epub February 21, 2020. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2454>

Pirlo, G. (2012) Cradle-to-Farm Gate Analysis of Milk Carbon Footprint: a Descriptive Review. *Ital J Anim Sci* vol.11:e20. <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.4081/ijas.2012.e20>

Puerto, M. y Gmünder, S. (2017). Re: AWARE para subzonas hídricas de Colombia [Archivo web]. <http://www.elaguanosune.org/gestion-del-conocimiento/estudios-de-caso/colombia/aware-para-subzonas-hidricas-de-colombia-metodo-de-boulay-et-al-2016-datos-anuales-para-ano-promedio-y-ano-seco-del-ena-2014-ideam/>

Resolución 3560 del 2015. Por medio del cual se establecen los objetivos de calidad de agua en la cuenca alta y media del río Chicamocha a lograr en el periodo 2016-2025.

Corpoboyacá. <https://www.corpoboyaca.gov.co/cms/wp-content/uploads/2015/10/resolucion-3560-2015.pdf>

Rodríguez-López, Y. (2018). *Evaluación nutricional del pasto de corte imperial 60 (axonopus scoparius) mediante dos métodos de fertilización* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD. <https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/21232/1/1056688291.pdf>

Siebold, E., Goic, L. y Matzner, M. (s. f.). Alimentación de rumiantes con papas de desecho. *Estación Experimental Remehue*, 88, http://www.produccion-animal.com.ar/informacion_tecnica/suplementacion/99-papa.pdf

Vejarano A. (2020). Huella de Carbono de la Ganadería Bovina de Carne y Leche en Colombia para cinco departamentos, Tesis: Universidad Santiago de Cali. <https://repository.usc.edu.co/bitstream/handle/20.500.12421/4995/HUELLA%20DE%20CARBONO.pdf?sequence=7&isAllowed=y>

Weiler, V. (2013). Carbon footprint (LCA) of milk production considering multifunctionality in dairy systems: A study on smallholder dairy production in Kaptumo, Kenya. Países Bajos: Doctoral dissertation, Thesis: Wageningen University



UNIVERSIDAD NACIONAL ABIERTA Y A DISTANCIA (UNAD)

Sede Nacional José Celestino Mutis
Calle 14 Sur 14-23
PBX: 344 37 00 - 344 41 20
Bogotá, D.C., Colombia

www.unad.edu.co



978-958-651-797-3