

HUELLA AMBIENTAL DEL CAFÉ EN COLOMBIA

DOCUMENTO GUÍA



Versión 1.0

Preparado por:

Quantis
Simon Gmünder

Centro Nacional Para la Producción Más Limpia
Carlos Toro

**Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
AGROSAVIA**
Juan Mauricio Rojas Acosta

**Federación Nacional de Cafeteros de Colombia
Centro Nacional de Investigaciones de Café
Cenicafé**
Nelson Rodríguez Valencia

Autores contribuyentes

Centro Nacional Para la Producción Más Limpia
Gloria Restrepo – CNPML

Quantis
Juanita Barrera
Sebastien Humbert

**Embajada Suiza en Colombia -Ayuda Humanitaria y
Desarrollo (COSUDE)**
Diana Rojas
Maly Puerto

**Federación Nacional de Cafeteros de Colombia
Centro Nacional de Investigaciones de Café
Cenicafé.**
Alvaro Gaitan B. PhD.

CADIS
Nydia Suppen

**Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria
AGROSAVIA**
Felipe López-Hernández

Fotos proporcionadas por:

*Federación Nacional de Cafeteros de Colombia
Centro Nacional de Investigaciones de Café
Cenicafé y proyecto GIA - Manos al Agua.*

La información contenida en este documento es el resultado del trabajo técnico de CNPMLTA, Quantis International, la Federación Nacional del Café de Colombia, Cenicafe y empresas asociadas. Los contenidos y opiniones no reflejan la posición oficial de la Embajada de Suiza en Colombia - Ayuda Humanitaria y Desarrollo (COSUDE), ni de ANDI. Además, esta publicación no es para uso comercial.

ISBN: 978-958-8368-14-6



Impreso por: Gráficas Pajon

ABREVIATURAS

| | |
|-------|--|
| FA | Factor de Asignación |
| BSUP | Biomasa Superficial |
| BSUB | Biomasa Subterránea |
| B2B | Empresa a Empresa |
| B2C | Empresa a Consumidor |
| SAC | Sistema Agroforestal de Café |
| FC | Factor de Caracterización |
| FHC | Fórmula de Huella Circular |
| CTUe | Unidad Tóxica Comparativa para los Ecosistemas |
| CTUh | Unidad Tóxica Comparativa para los Humanos |
| MI | Materia Inerte |
| CPS | Café Pergamino Seco |
| DQR | Puntuación de Calidad de los Datos |
| HA | Huella Ambiental |
| IA | Impacto Ambiental |
| FVU | Fin de la Vida Útil |
| DAP | Declaración Ambiental de Producto |
| UF | Unidad Funcional |
| FNC | Federación Nacional de Cafeteros de Colombia |
| BPA | Buenas Prácticas Agrícolas |
| GEI | Gases de Efecto Invernadero |
| RG | Representatividad Geográfica |
| GRI | Iniciativa de Reporte Global |
| PCG | Potencial de Calentamiento Global |
| HHSC | Separador Hidráulico de Tolva y Tornillo Sinfin |
| ILCD | Sistema Internacional de Datos de Referencia sobre Ciclos de Vida |
| IPCC | Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático |
| MIP | Manejo Integrado de Plagas |
| ISO | Organización Internacional de Normalización |
| JRC | Centro Común de Investigación |
| ACV | Análisis del Ciclo de Vida |
| ICV | Inventario del Ciclo de Vida |
| AICV | Análisis del Impacto del Ciclo de Vida |
| CUS | Cambio de Uso del Suelo |
| HAOn | Huella Ambiental de Organización |
| QWDB | Base de Datos de Agua de Quantis |
| NAMA | Acciones Nacionalmente Apropriadas de Mitigación |
| COVNM | Compuestos Orgánicos Volátiles Distintos del Metano |
| RCP | Reglas de Categoría de Producto |
| HAP | Huella Ambiental de Producto |
| RCHAP | Reglas de Categoría para la Huella Ambiental de Producto |
| SMAT | Pozo Séptico |
| COS | Carbono Orgánico del Suelo |
| TeR | Representatividad Tecnológica |
| TiR | Representatividad Temporal |
| ST | Secretaría Técnica |
| UNEP | Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente |
| IDUU | Identificador Único Universal |
| WFLDB | Base de Datos Global de Análisis de Ciclo de Vida de los Alimentos |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| INTRODUCTION..... | 8 |
| 1. ANTECEDENTES..... | 8 |
| 2. OBJETIVOS DE ESTA GUÍA..... | 10 |
| 3. ¿A QUIÉN VA DIRIGIDA ESTA GUÍA?..... | 10 |
| 2. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE DEL ESTUDIO DE HA..... | 11 |
| 2.1 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO DEL ESTUDIO..... | 11 |
| 2.2 ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO DE CAFÉ..... | 11 |
| 2.3 DEFINICIÓN DE LA UNIDAD FUNCIONAL | 12 |
| 2.4 LÍMITES DEL SISTEMA — PROCESOS Y ETAPAS DEL CICLO DE VIDA..... | 12 |
| 2.5 LÍMITES GEOGRÁFICOS Y TEMPORALES..... | 14 |
| 2.6 REGLAS DE CORTE..... | 14 |
| 2.7 MANEJO DE PROCESOS DE SALIDA MÚLTIPLE — REGLAS DE ASIGNACIÓN..... | 15 |
| 2.8 SELECCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL..... | 16 |
| 2.9 MODELO DEL CAMBIO CLIMÁTICO..... | 17 |
| 2.10 MODELO DEL AGUA..... | 17 |
| 3. RECOLECCIÓN DE DATOS..... | 19 |
| 3.1 INTRODUCCIÓN..... | 19 |
| 3.2 REQUISITOS DE LA RECOPIACIÓN DE DATOS..... | 20 |
| 3.2.1 Cultivo de café verde, producción post cosecha y fabricación..... | 21 |
| 3.2.2 Empaque..... | 21 |
| 3.2.3 Uso..... | 21 |
| 3.2.4 Fin de vida útil..... | 21 |
| 3.3 FUENTES DE DATOS..... | 21 |
| 3.3.1 Datos primarios - Muestreo..... | 21 |
| 3.3.1 Datos secundarios | 22 |
| 3.4 CULTIVO DE CAFÉ..... | 23 |
| 3.4.1 Introducción..... | 23 |
| 3.4.2 Variedades de café..... | 23 |
| 3.4.3 Clasificación de los sistemas de cultivos..... | 23 |
| 3.4.4 Germinación y almácigo..... | 27 |
| 3.4.5 Preparación de campo..... | 27 |
| 3.4.6 Crecimiento del cultivo..... | 28 |
| 3.4.7 Crecimiento del cultivo..... | 29 |
| 3.4.8 Aplicación de fertilizantes..... | 29 |
| 3.4.9 Aplicación de pesticidas y manejo de arvenses..... | 31 |
| 3.4.10 Riego..... | 32 |
| 3.4.11 Uso de maquinaria..... | 33 |
| 3.4.12 Transporte | 33 |
| 3.4.13 Emisiones de pesticidas..... | 34 |
| 3.4.14 Emisiones relacionadas con el nitrógeno provenientes de la aplicación de fertilizantes | 34 |
| 3.4.15 Emisiones de fósforo y fosfato al agua..... | 36 |
| 3.4.16 Emisiones de co2 provenientes de la aplicación de urea y ca..... | 36 |
| 3.4.17 Emisiones de metales pesados..... | 36 |
| 3.4.18 Suelos de turba..... | 36 |
| 3.4.19 Ocupación y transformación del suelo..... | 36 |
| 3.4.20 Reserva de carbono por el uso y transformación del suelo..... | 36 |
| 3.4.21 Ocupación y transformación del suelo..... | 39 |
| 3.4.22 Cosecha..... | 39 |
| 3.4.23 Renovación..... | 41 |

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| 3.5 PROCESAMIENTO POST-COSECHA | 41 |
| 3.5.1 Introducción..... | 41 |
| 3.5.2 Balance de masa..... | 43 |
| 3.5.3 Balance hídrico..... | 43 |
| 3.5.4 Demanda energética..... | 44 |
| 3.5.5 Transporte..... | 44 |
| 3.5.6 Tratamiento de aguas residuales y contaminación..... | 44 |
| 3.5.7 Tratamiento de la pulpa y emisiones relacionadas..... | 48 |
| 3.6 TRILLA DE CAFÉ..... | 48 |
| 3.6.1 Introducción..... | 48 |
| 3.6.2 Balance de masa de la trilla de café..... | 48 |
| 3.6.3 Balance hídrico..... | 49 |
| 3.6.4 REQUERIMIENTOS DE ENERGÍA..... | 49 |
| 3.6.5 Transporte..... | 49 |
| 3.6.6 Emisiones de agua..... | 49 |
| 3.7 FABRICACIÓN..... | 50 |
| 3.7.1 Café tostado y molido..... | 50 |
| 3.7.2 Café instantáneo..... | 51 |
| 3.7.3 Datos predeterminados para la fabricación..... | 51 |
| 3.8 EMPAQUE..... | 53 |
| 3.8.1 Empaque post-cosecha..... | 53 |
| 3.8.2 Empaque posterior..... | 53 |
| 3.9 DISTRIBUCIÓN..... | 53 |
| 3.10 Uso..... | 54 |
| 3.10.1 Tipos de café..... | 54 |
| 3.10.2 Producción, uso y mantenimiento de las máquinas de café y hervidores..... | 56 |
| 3.10.3 Producción y lavado de tazas y otros platos..... | 56 |
| 3.10.4 Otros ingredientes..... | 57 |
| 3.11 FIN DE LA VIDA ÚTIL..... | 57 |
| 4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO E INTERPRETACIÓN..... | 58 |
| 4.1 CONCEPTO GENERAL DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO..... | 58 |
| 4.2 INTERPRETACIÓN DEL CONCEPTO GENERAL..... | 60 |
| 4.3 IDENTIFICATION OF ENVIRONMENTAL HOTSPOTS..... | 61 |
| 4.4 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DEL MEDIO AMBIENTE..... | 65 |
| 4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO..... | 66 |
| 4.6 CALIDAD DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRE..... | 68 |
| 4.7 LIMITACIONES DE UN ESTUDIO DE LA HUELLA AMBIENTAL..... | 68 |
| 5. PRESENTACIÓN DE INFORMES Y COMUNICACIÓN..... | 69 |
| 5.1 INFORMES..... | 69 |
| 5.2 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN..... | 69 |
| 5.3 COMUNICACIÓN..... | 69 |
| 6. VALOR AGREGADO Y DESAFÍOS DE LAS EMPRESAS COLOMBIANAS RESPECTO | 70 |
| 7. APLICACIÓN DE MEDIDAS..... | 73 |
| 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | 79 |
| 9. REFERENCIAS..... | 80 |
| 10. ANEXOS | 84 |
| 10.1 TÉRMINOS Y DEFINICIONES..... | 84 |
| 10.2 EMISIONES DE FOSFATO..... | 86 |
| 10.3 EMISIONES DE METALES PESADOS..... | 87 |

INTRODUCCIÓN

I. ANTECEDENTES

En Colombia se comenzó a cultivar el café a principios del siglo XVIII y comercialmente a partir de la década de 1850. El café Arábica que se cultiva en Colombia tiene una gran importancia socioeconómica, ya que actualmente representa el 4% del producto interno bruto (PIB). Más de 550.000 familias cultivan café en Colombia, por lo general en sistemas agrícolas mixtos que combinan el cultivo de café con ganadería, cultivos de plátano o maíz, entre otras actividades agrícolas. Cerca del 96% de las fincas cafeteras están clasificadas como pequeños productores, que cultivan cinco o menos hectáreas de tierra (SICA, 2017). El cultivo de café en Colombia cubre un área total de 877.144 ha en 600 municipios en 22 departamentos (FNC, 2018).

Para cualquier actividad agrícola a largo plazo, socialmente responsable y amigable con el medio ambiente es fundamental gestionar los recursos de manera adecuada. La FNC estableció una estrategia ambiental que prevé equilibrar el progreso económico, la calidad de vida del productor y los recursos ambientales. Esta estrategia de gestión ambiental se centra principalmente en i) la adaptación y mitigación del cambio climático y los riesgos climáticos y ii) la gestión eficiente de los recursos ambientales.

Además de la necesidad de establecer prácticas de gestión amigables con el medio ambiente desde la perspectiva del productor de café, también están aumentando las exigencias de las políticas y empresas con respecto a los datos que respalden las declaraciones ambientales en la producción agrícola.

En los últimos años también han surgido otras iniciativas y estudios relacionados con la producción sostenible del café. Los análisis cuantitativos y basados en el ciclo de vida de la cadena de suministro del café han demostrado su eficiencia para medir, controlar, minimizar y comunicar la huella ambiental potencial de la producción de café.

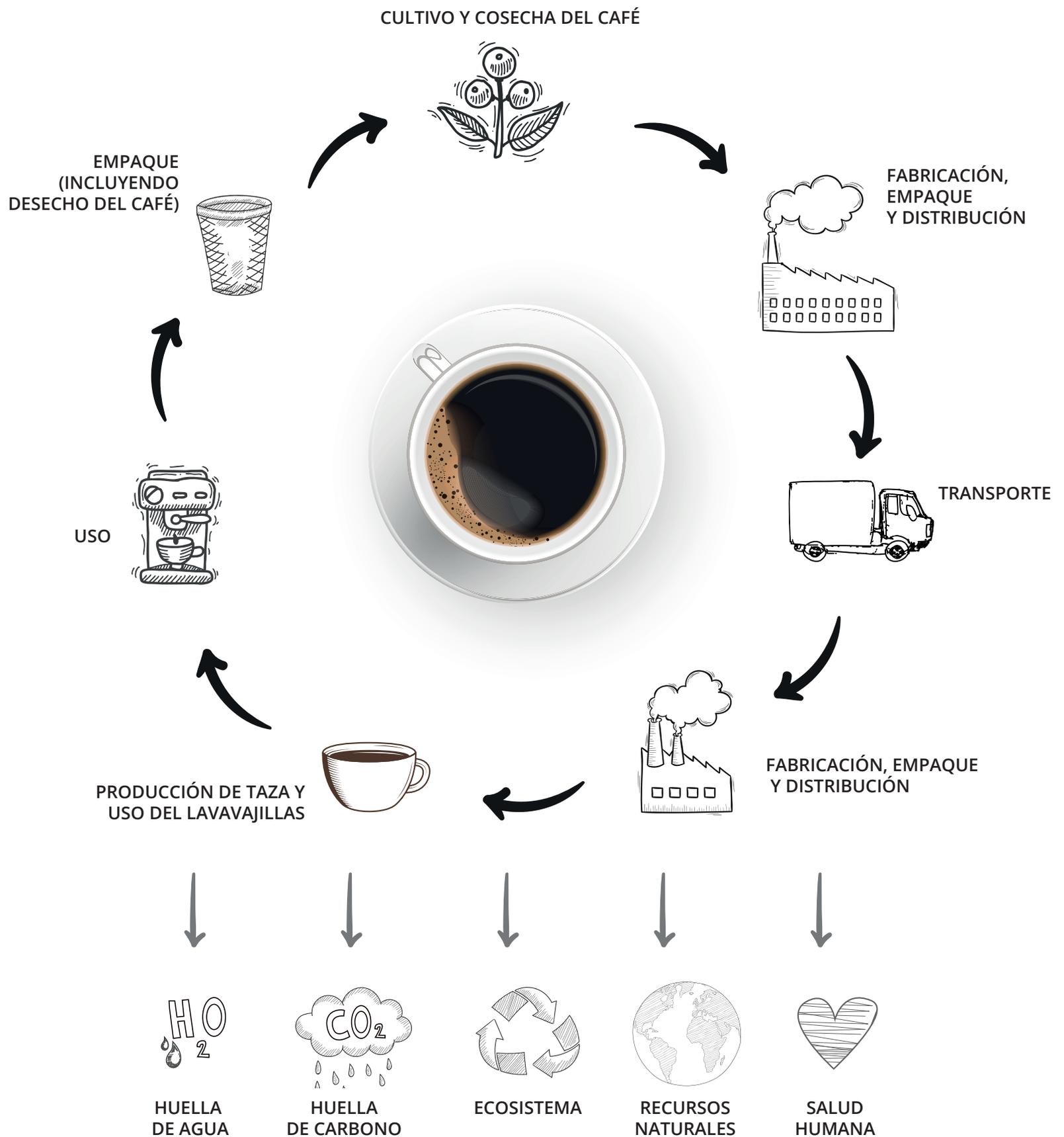


Figura 1: Análisis del ciclo de vida de una taza de café

En el año 2013, la Comisión Europea lanzó la iniciativa “mercado único para productos verdes”. La iniciativa incluyó una fase de prueba donde realizaron estudios de huella ambiental de producto (HAP) para varias categorías de productos, incluyendo el café. Los estudios de HAP son un método que se basa en el análisis del ciclo de vida (ACV) para cuantificar impactos ambientales relevantes de los productos (bienes o servicios). La FNC, a través de Cenicafé, estuvo representada en la secretaría técnica y apoyó el desarrollo de una metodología para medir la huella ambiental del café.

En el año 2014, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL) creó un grupo de trabajo técnico para coordinar la posición de la Red Iberoamericana con respecto a la HAP del café. El grupo de trabajo se reúne una vez al año para informar sobre el progreso local y las iniciativas relacionadas con la reducción de la huella ambiental, la lucha por la unificación y la armonización de un enfoque de cálculo, el desarrollo de capacidades para todos los miembros y la concepción de la posición de América Latina con respecto al cálculo, comparación y comunicación de la HAP del café.

Entre los años 2018 y 2020, el Programa Global Agua de la Agencia Suiza para el Desarrollo (SDC), la Asociación Nacional de Empresarios de Colombia - ANDI, la FNC, Cenicafé, Buencafé Liofilizado de Colombia, Industrial Colombia de Café COLCAFÉ, Procafecol (Tiendas Juan Valdez), Almacafé, Quantis y el Centro Nacional de Producción más Limpia (CNPML) decidieron aplicar los principios de HAP a las cadenas de valor de café colombianas seleccionadas. Se recolectó información de 16 fincas cafeteras, de tres sitios donde se procesa café y de los principales centros de trillado de café. Sin embargo,

2. OBJETIVOS DE ESTA GUÍA

Esta guía explica cómo calcular una huella ambiental de café en Colombia que cumpla con los requisitos de la HAP. Esta guía:

- Proporciona información técnica sobre la metodología, datos predeterminados e indicadores utilizados para el cálculo.
- Se enfoca en el cultivo y procesamiento del café; las demás etapas del ciclo de vida solo se describen brevemente.
- Proporciona una visión general de las mejores prácticas relacionadas con el cultivo de café y el procesamiento post cosecha que pueden reducir la huella ambiental.
- No proporciona información sobre los análisis comparativos y las comunicaciones.

3. ¿A QUIÉN VA DIRIGIDA ESTA GUÍA?

Esta guía técnica va dirigida a los expertos en el cálculo de los resultados de la huella ambiental del café con base en los conceptos del ACV..

calcular una huella ambiental no es tan sencillo ya que las iniciativas y estudios locales, nacionales, regionales y globales actuales difieren significativamente en términos de los objetivos y alcances, las metodologías propuestas y los datos utilizados para calcular la huella ambiental del café.

Con el fin de aumentar la consistencia, comparabilidad y calidad de estos estudios de huella ambiental, SDC, FNC, Quantis y CNPML desarrollaron esta guía para establecer un método consistente para calcular la huella ambiental del café en Colombia y que también podría ser útil para otros Países de América Latina. Esta guía contribuye al desarrollo de una Huella Ambiental de producto para el café y al fortalecimiento de los esfuerzos regionales y mundiales de la CEPAL.

A nivel nacional y local, esta guía y los estudios piloto contribuyen a fortalecer las actividades de producción y consumo sostenibles al proporcionar información científica a las familias cafeteras rurales, a empresas como Colcafé y Buencafé, a los consumidores y otras partes interesadas del sector cafetero.

La guía se basa en el borrador de las RCHAP para el café y, en la medida de lo posible, en otras iniciativas y normas como el enfoque de la Red de Huella Hídrica (WFN, por sus siglas en inglés) implementado en el proyecto GIA (Gestión Inteligente del Agua - Manos al Agua), las RCP francesas para el café verde (Syndicat Français du Café, 2013), las RCP para el carbono en el café verde (Environdec, 2013), las RCP para el café Moka y Espresso (Environdec, 2018, 2019), la base de datos global del ciclo de vida de alimentos (Quantis, 2016) y las pautas de ecoinvent v3 (Weidema et al., 2013).

Aunque esta guía se enfoca principalmente en Colombia, la metodología descrita para calcular la huella ambiental del café se podría aplicar a otros países de América Latina y puede ayudar a estandarizar los cálculos de la huella ambiental entre los demás países productores de café.

La guía se puede utilizar para evaluar todas las huellas ambientales del café o los estudios de huella única (p. ej., los análisis de la huella de carbono o huella de agua).

¹ La principal referencia de esta guía son las RCHAP v6.3, que se basan en varias normas internacionales como ISO 14040/44. Por consiguiente, se utiliza la misma terminología y metodología la PEF.

2. DEFINICIÓN DEL OBJETIVO Y EL ALCANCE DEL ESTUDIO DE HA

2.1 DEFINICIÓN DEL OBJETIVO DEL ESTUDIO

Incorporar prácticas de gestión sostenible y enfoque de ciclo de vida mejorará la imagen y el valor de la marca. Estudiar la huella ambiental de los productos, los servicios o de toda una empresa permite identificar los puntos críticos ambientales a lo largo de la cadena de valor, y también permite controlar el progreso y realizar un análisis comparativo de los sistemas que cumplen la misma función.

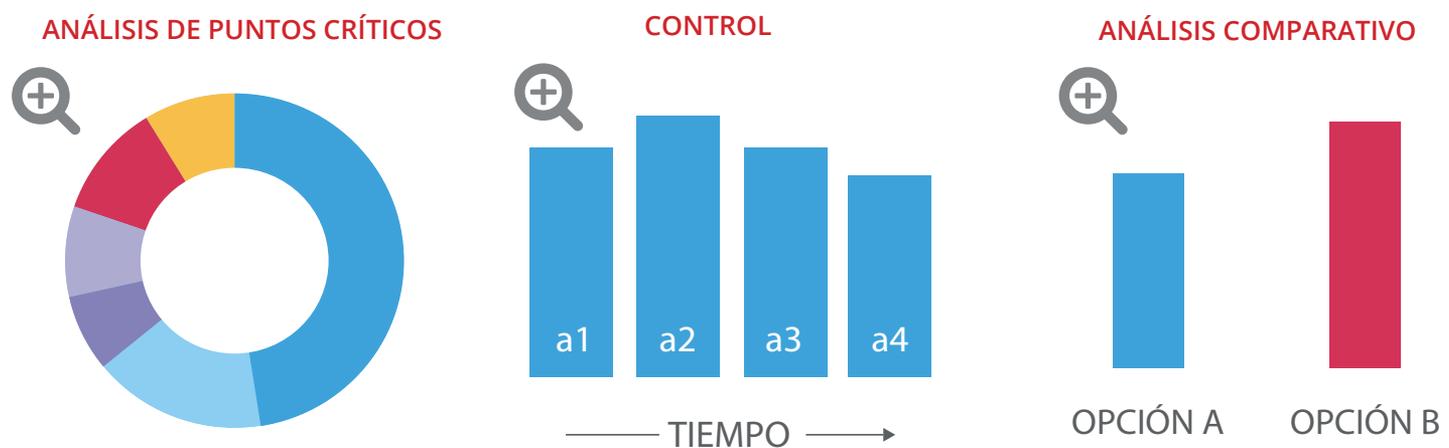


Figura 2: Conocimiento derivado del análisis de la huella ambiental

Es fundamental definir claramente la razón por la cual se realiza el estudio (aplicación prevista) y a quién se informarán los resultados del estudio (audiencia prevista) ya que esto determina el curso del estudio (p. ej., nivel de detalle, conjunto de huellas ambientales calculadas, verificación, etc.). Normalmente los objetivos incluyen:

Toma de decisiones internas: Identificar los puntos críticos ambientales permite mejorar y dar seguimiento al desempeño ambiental, crear un diseño ecológico para los productos y establecer estrategias significativas de gestión ambiental y sostenibilidad corporativa.

External communication (e.g., business to business (B2B), business to consumer (B2C)): sustainability reporting, raising investment capital, and marketing innovative products and services².

2.2 ESPECIFICACIÓN DEL PRODUCTO DE CAFÉ

Las categorías de productos consideradas en esta guía incluyen las siguientes etapas del ciclo de vida:

- **Café verde** enviado al puerto de origen (FOB) (código CPA A01.27.11 para "Almendras de café sin tostar" que corresponde a la clasificación UN CPC 01610 - "Café, verde")
- **Café tostado** y molido a granel y al por menor (código CPA 10.83.11 para "Café descafeinado o tostado")

Si se analiza todo el ciclo de vida del café (de principio a fin),

la etapa de uso se modela acorde al borrador de las RCHAP para las bebidas a base de café, de acuerdo con la siguiente definición:

- **Bebida a base de café:** comercializada en cualquier mercado y destinada a los consumidores finales. Las bebidas a base de café pueden incluir otros ingredientes como azúcar, crema, leche y cacao en polvo.

En cualquier caso, se debe definir claramente el alcance del análisis.

² Esta guía se basa en los datos y metodología para el cálculo de la EF, no para las comunicaciones y análisis comparativos.

2.3 DEFINICIÓN DE LA UNIDAD FUNCIONAL

Se debe definir cuidadosamente la unidad funcional, especialmente si los resultados se utilizarán para realizar una comparación o análisis comparativo de productos, procesos o servicios. Comparar funciones (no productos) es un concepto clave en los estudios de huella ambiental. Las unidades funcionales sugeridas para el café son:

Tabla 1: Aspectos clave para determinar la unidad de análisis (con base en el borrador de las RCHAP para el café)

| PRODUCTO | ASPECTO | GRANOS DE CAFÉ VERDE | CAFÉ EMPACADO EN TIENDA | TAZA DE CAFÉ CONSUMIDA EN CASA |
|-------------------|--------------------------------|---|---|--|
| ¿Qué? | Función prevista | Granos de café verde | Café empacado en tienda | Taza de café consumida en casa |
| ¿Cuánta cantidad? | Magnitud de la función | Un kilogramo | Café instantáneo | Bebida a base de café |
| ¿Cuánto tiempo? | Duración del producto previsto | Una vez | Café tostado y molido a granel | Tamaño de porción típico asociado con la tecnología específica (p. ej., máquina de café espresso, café de filtro o café instantáneo) |
| ¿Qué tan bueno? | Nivel de calidad esperado | 11.5% de humedad cuando se envía al puerto de origen (FOB - franco a bordo) o al almacén del tostador; CIF (costo, seguro y flete) si se procesa a nivel nacional | Café tostado y molido de una sola porción (cápsulas y vainas) | Una vez |

La unidad funcional predeterminada para el café verde es un kilogramo. Por lo general se deben convertir las unidades de “quintal”, unidad que utilizan varios países de América Latina para registrar la producción de café (correspondiente a 50 kg), a sacos de yute de 60 kilos de “aroba” (12,5 kg de café).

La taza de café que se describe en esta guía se consume en casa. Si se consume en una cafetería, tienda de espresso o en otro lugar, también se debe considerar la huella asociada con el establecimiento.

2.4 LÍMITES DEL SISTEMA – PROCESOS Y ETAPAS DEL CICLO DE VIDA

Los límites del sistema deben incluir todas las etapas del ciclo de vida que se requieren para producir café verde, café tostado y molido, o una bebida a base de café (según el objetivo y el alcance del estudio). Las principales etapas del ciclo de vida están ilustradas en la Figura 3 y se describen con más detalle en las siguientes secciones.

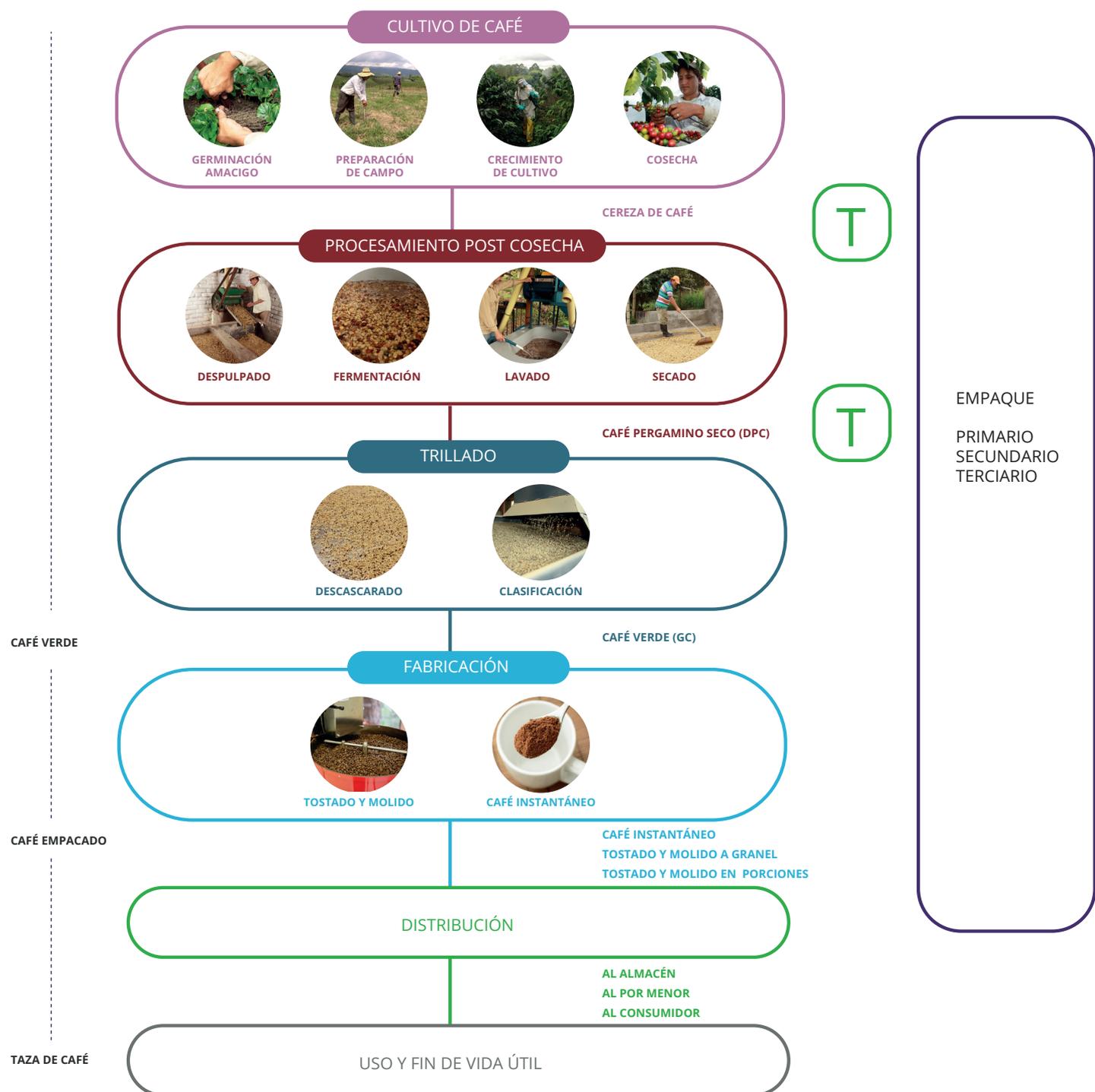


Figura 3: Resumen de las principales etapas del ciclo de vida del café

Cultivo de café: Incluye la producción y germinación de semillas, almácigo de plántulas de café, preparación del campo, manejo del campo y cosecha de las cerezas de café. El cultivo del café debe incluir todas las materias primas relevantes y la energía necesaria para producir las cerezas de café, así como los procesos y emisiones relevantes en la finca (vea el capítulo 3.4 para obtener más información).

Procesamiento post cosecha: Las cerezas de café cosechadas se procesan para obtener almendras de café verde ("café pergamino") al eliminar la pulpa (despulpado) y el mucílago antes de lavar y secar los granos de café. El procesamiento post cosecha debe incluir todas las materias primas relevantes y la energía necesaria para producir el café verde, así como los procesos y emisiones

relevantes en la planta de procesamiento post cosecha (vea el capítulo 3.5 para obtener más información).

Trillado: Consiste en eliminar mecánicamente la cáscara del café pergamino seco y obtener granos de café verde seleccionados por tamaño, densidad o peso específico, lo que elimina muchos tipos de impurezas.

Fabricación: Se pueden distinguir dos procesos de fabricación, para café molido y tostado, así como para el café instantáneo. La fabricación debe incluir todas las materias primas relevantes y la energía necesaria para producir el café tostado / molido o instantáneo, así como los procesos y emisiones relevantes en la planta de fabricación (vea el capítulo 3.7 para obtener más información).

Empaque: Según las RCHAP para el café, se deben considerar tres niveles de empaque: primario, secundario y terciario.

- **El empaque primario** (al menos en esta guía) representa el empaque que por lo general no se puede separar del café hasta su consumo (p. ej., el empaque en contacto directo con el producto, la tapa, el laminado hermético utilizado para proteger las cápsulas y cualquier etiqueta adherida).
- **El empaque secundario** por lo general es comprado por el consumidor y se puede separar del paquete primario antes del consumo (como las fundas y cajas) sin afectar la conservación.
- **El empaque terciario** se utiliza para facilitar la distribución y por lo general no llega al consumidor (p. ej. las estibas, film plástico, bandejas de cartón).

Se debe tener en cuenta las materias primas y fabricación del empaque para cada material de empaque de forma individual. Debe incluir la extracción de recursos, el procesamiento de los empaques y el transporte entre los sitios de extracción y fabricación.

Distribución: La distribución al consumidor también puede hacer parte de las actividades principales, ya que algunas empresas tienen control directo sobre ello. El transporte y la distribución al consumidor deben tener en cuenta los hábitos de compra (transporte en automóvil, a pie, en bicicleta o en transporte público; entrega a domicilio, entrega a la oficina). También el transporte al puerto, almacenamiento, carga en la embarcación y transporte al consumidor. Estos procesos incluyen los vehículos usados en centros de distribución (p. ej., montacargas), estacionamiento, iluminación y limpieza (incluido el uso de sal durante el invierno), cercas, gestión de áreas verdes, servicios ofrecidos al cliente como baños y cafeterías dentro de los almacenes o centros de distribución, e infraestructura de recolección de residuos (en el establecimiento minorista).

Etapas de uso: Esta etapa debe tener en cuenta las cadenas de suministro de la cafetera (incluidos los hervidores de agua), tazas, lavado y consumo de bebidas. Las distintas tecnologías incluyen las máquinas de café espresso, cafeteras Moka, café de filtro y café instantáneo, entre otros. Los servicios de devolución de cafeteras, reparaciones de cafeteras y piezas de repuesto se deben excluir del análisis. Esto se considera dentro de la vida útil promedio de las máquinas, incluso si los impactos de los centros de reparación y su logística son bastante diferentes de la producción y distribución de una nueva máquina. Además, el lugar de almacenamiento en el hogar también se debe excluir del análisis.

Si se utilizan otros ingredientes (p. ej. leche o azúcar), se deben considerar los pasos de producción y suministro, abastecimiento y fabricación para cada ingrediente.

Esto incluye las actividades agrícolas, el procesamiento y el transporte desde las fincas hasta los consumidores.

Etapas de final de la vida útil: Debe considerar la recolección en el punto de uso (p. ej. la producción y mantenimiento del contenedor, bolsa de compost, etc.), el transporte de desechos desde los hogares a los centros de recolección y tratamiento, y el tratamiento de desechos (incineración, relleno sanitario y reciclaje) de los empaques, así como el final de la vida útil del café molido, las cafeteras (incluido el hervidor de agua) y las tazas.

La infraestructura del lugar de recolección de residuos (para el final de la vida útil) se debe excluir del análisis.

Otros procesos que se deben incluir (si procede):

- Fabricación de los insumos de capital (para equipos como bombas de riego)
- Transporte de los empleados hacia y desde los lugares de trabajo
- Fabricación de cobertizos de maquinaria y otras edificaciones

Cualquier otro proceso que se relacione indirectamente con la producción de café (p. ej., las funciones administrativas de una empresa)

Cualquier exclusión debe estar debidamente justificada.

2.5 LÍMITES GEOGRÁFICOS Y TEMPORALES

Los datos para los procesos principales deben ser representativos de los procesos de producción reales, así como del sitio / región donde ocurre el proceso. El límite temporal que se aplica a los cálculos es un promedio de los tres años consecutivos más recientes del cultivo de café (Comisión Europea, 2018).

2.6 REGLAS DE CORTE

Los datos para los flujos elementales hacia y desde un sistema de productos que contribuyen a un mínimo del 99% de la huella ambiental se deben incluir para todas las categorías de impacto (vea el capítulo 2.8). Esto no incluye los procesos que están explícitamente fuera del límite del sistema como se describe en la Sección 2.4.

2.7 MANEJO DE PROCESOS DE SALIDA MÚLTIPLE – REGLAS DE ASIGNACIÓN

Las asignaciones económicas de los cultivos múltiples con respecto a la producción, transporte, centros de distribución y supermercados (para infraestructura, agua y consumo de energía) por lo general se aplican en la etapa de uso (uso de la máquina, uso de lavavajillas) y la etapa de fin de la vida útil. Se debe seguir el procedimiento general de asignación de las RCHAP (Comisión Europea, 2018).

Tabla 2: Asignación de la producción de café (Environdec, 2013; Comisión Europea, 2018)

| CATEGORÍA | PROCEDIMIENTO DE ASIGNACIÓN |
|---|--|
| Distintos grados de las almendras de café | Se pueden hacer asignaciones económicas para los distintos tipos de granos de café si hay información disponible. En este caso, se debe especificar claramente y se debe mostrar la diferencia en los resultados en comparación con las asignaciones en masa (el enfoque predeterminado). |
| Fertilizantes | <p>Cuando se trate de café y otro “cultivo comercial” (cultivo producido por su valor comercial), el enfoque de asignación debe reflejar la siguiente jerarquía:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Divida el proceso en subprocesos al obtener los datos primarios sobre los fertilizantes que se utilizan para el café y para el otro cultivo comercial. En el caso del estiércol, el 100% de la “producción” se asigna al animal; mientras que el transporte, el almacenamiento y la manipulación en la finca se asignan a la producción de café. • Si no se puede hacer, use el valor predeterminado proporcionado en (Environdec, 2013) • Utilice la asignación económica si se incluye el cultivo comercial. En caso de que el cultivo comercial no esté incluido en la tabla o haya más de un cultivo comercial, asigne el 100% al café. |
| Uso de combustible | Asignación económica utilizando los valores locales promediados durante los últimos tres años, a menos que se disponga de datos específicos del cultivo. |
| Pesticidas y herbicidas | Sin asignación económica a menos que un producto afecte tanto al café como a los cultivos asociados. Si este es el caso, utilice el enfoque de asignación especificado para los fertilizantes. |
| Los productos relacionados exportados y cualquier otro insumo / proceso que requiera de una asignación económica entre los productos relacionados | <ul style="list-style-type: none"> • Siempre que sea posible, utilice un enfoque de asignación económica que utilice valores locales promedios durante los últimos tres años. Si no dispone de un valor económico para la cáscara del café, se debe establecer un valor económico sustituto con base en el precio local del fertilizante “N” y transferirlo al valor de “N” en la cáscara. • Utilice un enfoque de asignación económica con base en valores promedio de los últimos tres años para cualquier madera proveniente de procesos de poda o reemplazo, vendida por la finca. • Si se exporta gas o electricidad desde la fábrica, se debe adoptar un enfoque de asignación económica utilizando los precios de la red local. • La cáscara vendida para generación de energía debe adoptar un enfoque de asignación económica (valor promedio de los últimos tres años). Si no dispone de un valor económico, debe establecer un valor sustituto a partir de fuentes alternativas de combustible junto con un valor calorífico comparativo para las cáscaras generadas. • Si los subproductos permanecen en el sistema del café (cáscaras usadas como fertilizante o energía para secado, borra para uso en calderas), no se necesita de una asignación. |
| Transporte | En masa para el café instantáneo, tostado y molido, y en volumen para el café en cápsulas, salvo en caso de que se recopilen datos específicos y se compruebe que se deben aplicar la asignación de volumen para varios transportes. |
| Infraestructura de centro de distribución y supermercados, consumo de agua y energía | Las asignaciones se basan en el volumen y la duración (vea RCHAP v6.3). |
| Etapa de uso | Para uso del hervidor de agua, la asignación se basa en la cantidad de agua que se puede hervir a lo largo de su vida útil; para las cafeteras, la asignación se basa en la cantidad de café que se puede preparar a lo largo de su vida útil; para lavavajillas, la asignación se basa en el volumen que utiliza el lavavajillas (RCHAP v6.3). |
| Fin de la vida útil | De acuerdo con la fórmula de la huella circular (Comisión Europea, 2018). |

2.8 SELECCIÓN DE LAS CATEGORÍAS DE IMPACTO AMBIENTAL

Los resultados de la huella ambiental son expresiones relativas y no predicen los impactos en los puntos finales de la categoría, la superación de los umbrales, los márgenes de seguridad o los riesgos.

Las pautas de las RCHAP definen claramente la siguiente lista de indicadores de impacto de la HA y sus modelos de impacto subyacentes tal como se ilustra en la Tabla 3.

Tabla 3: Recomendación de indicadores de la a nivel medio (Comisión Europea, 2018)

| CATEGORÍA DEL IMPACTO | INDICADOR | UNIDAD | MODELO DE AICV RECOMENDADO (ha 2.0) |
|---|--|---|--|
| Cambio climático | Potencial de calentamiento global (PCG100) | kg CO2 eq. | Modelo de referencia de 100 años del IPCC (IPCC, 2013) |
| Agotamiento del ozono | Potencial agotamiento de ozono (PAO) | kg CFC-11eq | PAO estado estacionario (WMO, 1999) |
| Toxicidad humana, efectos cancerígenos | Unidad tóxica comparativa para los humanos (CTUh) | CTUh | Modelo USEtox (Rosenbaum et al., 2008) |
| Toxicidad humana, efectos no cancerígenos | Unidad tóxica comparativa para los humanos (CTUh) | CTUh | Modelo USEtox (Rosenbaum et al., 2008) |
| Materia particulada / inorgánicos respiratorios | Efectos en la salud humana asociados con la exposición a PM2.5 | Incidencias de enfermedad | Modelo de MP recomendado (UNEP, 2016) |
| Radiación ionizante, salud humana | Eficiencia de la exposición humana en relación con U235 | kBq U235 | Modelo efectos sobre la salud humana Dreicer et al. (1995) |
| Formación de ozono fotoquímico | Aumento de la concentración de ozono troposférico | kg COVNM eq. | (Frischknecht, Braunschweig, Hofstetter, y Suter, 2000) |
| Acidificación | Excedencia acumulada (AE) | mol H+ eq. | LOTOS-EUROS (Van Zelm et al., 2008) implementado en ReCiPe 2008 |
| Eutrofización, terrestre | Excedencia acumulada (AE) | mol N eq. | Excedencia acumulada (Posch et al., 2008; Seppälä, Posch, Johansson, y Hettelingh, 2006) |
| Eutrofización, agua dulce | Nutrientes que llegan al agua dulce (P) | kg P eq. | Excedencia acumulada (Posch et al., 2008; Seppälä et al., 2006) |
| Eutrofización, agua marina | Nutrientes que llegan al mar (N) | kg N eq. | Modelo EUTREND (Struijs, Beusen, van Jaarsveld, y Huijbregts, 2009) implementado en ReCiPe |
| Ecotoxicidad (agua dulce) | Unidad tóxica comparativa para ecosistemas (CTUe) | CTUe | EUTREND (Struijs et al., 2009) implementado en ReCiPe |
| Uso del suelo | Índice de calidad del suelo (producción biótica, resistencia a la erosión, filtración mecánica y reposición de aguas subterráneas) | Índice adimensional : kg de producción biótica / (m ² *a) kg de suelo / (m ² *area) | Modelo USEtox, (Rosenbaum et al., 2008) |
| Escasez de agua | Potencial de privación del usuario (privación — consumo de agua ponderado) | m ³ de agua / (m ² *a) | Índice de calidad del suelo basado en LANCA (Beck et al., 2010; Bos, Horn, Beck, Lindner, y Fischer, 2016) |
| Uso de recursos, minerales y metales | Agotamiento de los recursos abióticos (reservas finales de ADP) | m ³ g. agua / (m ² *a) | Agua disponible remanente (AWARE) en (UNEP, 2016) |
| Uso de recursos, vectores energéticos | Agotamiento de los recursos abióticos - combustibles fósiles (ADP-fósiles) 8 | kg mundo eq. privado | CML (Guinee, Bruijn, Duin, y Huijbregts, 2002) y (van Oers, de Koning, Guinee, y Hupperts, 2002) |

Otras normas e iniciativas podrían requerir un conjunto distinto de indicadores:

- **Versiones de la HAP:** Se están desarrollando categorías y modelos de impacto. Esta guía utiliza los coeficientes de caracterización, normalización y ponderación v2.0 tal como se usaron en la fase piloto de la HAP. La HA v3.0 está en desarrollo, con cambios significativos especialmente en los indicadores de toxicidad esperados: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml>.
- **Las RCP de café espresso y moca** requiere informar los impactos ambientales para la declaración ambiental Tipo III (una declaración ambiental que provee datos ambientales cuantificados utilizando parámetros predeterminados y, si procede, información ambiental adicional (ISO, 2006c)). La lista de indicadores incluye (Environdec, 2018, 2019):
 - Indicadores de impacto (p. ej., PCG, potencial de acidificación, potencial de eutrofización, formación de ozono troposférico, potencial de agotamiento abiótico, fósiles y elementos, potencial de escasez de agua)
 - Uso de recursos (p. ej., recursos energéticos primarios - renovables y no renovables, material secundario, combustibles secundarios - renovables y no renovables, uso neto de agua dulce),
 - Flujos y producción de residuos
 - Otra información ambiental (p. ej., certificación)

Otras normas e iniciativas podrían requerir un conjunto distinto de indicadores:

- **Estudios de huella de carbono:** Según IPCC, el indicador PCG (GWP) en general es el mismo para todos los estudios (Bhatia et al., 2018; BSI, 2011, 2012; ISO, 2013; Penny, Fisher, y Collins, 2012).
- **WFN:** Las huellas hídricas azul, verde y gris de acuerdo con la WFN (WFN, 2019). Estas huellas son indicadores de inventario (cantidades de agua en lugar de indicadores de impacto) y, por consiguiente, son diferentes de los indicadores de ISO 14046 (ISO, 2017b) y HAP.

Según el objetivo y alcance del estudio, se debe considerar solo una parte de la información descrita en el próximo capítulo. Por ejemplo, si el objetivo del estudio es medir la huella de escasez de agua, entonces no se necesita información relacionada con la calidad del agua o la huella de carbono, por lo tanto, no es necesario recolectar información sobre las emisiones en el aire, agua y suelo.

En el Anexo A de las RCHAP v6.3 se encuentra una lista de los coeficientes de normalización y ponderación que se utilizan para identificar las categorías más relevantes del impacto de

2.9 MODELO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

De acuerdo con las RCHAP v6.3, las emisiones de carbono deben separarse en tres categorías diferentes:

- **El carbono fósil** representa todas las emisiones de carbono que se originan de la oxidación y / o reducción de combustibles fósiles. Esta categoría de impacto también incluye emisiones de la turba y la calcinación / carbonatación de la piedra caliza.
- **El carbono biogénico** utiliza un enfoque simplificado que solo modela los flujos que influyen en los resultados del impacto del cambio climático (es decir, las emisiones de metano biogénico). Para los análisis integrales de los productos finales con una vida útil superior a 100 años, se debe modelar un crédito de carbono. Para los productos intermedios (de la cuna a la puerta), se desconoce la vida útil del producto final. Por lo tanto, no se deben modelar créditos de carbono en este punto del ciclo de vida. El contenido de carbono biogénico en la fábrica (contenido físico y contenido asignado) siempre se debe reportar como "información técnica adicional".
- **El cambio en el uso del suelo** es una subcategoría que tiene en cuenta la absorción y emisión de carbono (CO₂, CO y CH₄) que se generan por los cambios en las reservas de carbono causados por el uso del suelo y cambio en el uso del suelo. Todas las emisiones y remociones de carbono se deben modelar de acuerdo con las pautas

2.10 MODELO DEL AGUA

Los indicadores de inventario sugeridos para todos los estudios de huella hídrica incluyen la extracción, consumo y liberación de agua.

La **extracción de agua** incluye la suma del volumen de agua que se utiliza en el ciclo de vida de un producto, con excepción del agua utilizada en turbinas (para la producción de energía hidroeléctrica). El uso de agua dentro del cauce de agua no se considera como extracción de agua, y si se usa la base de datos hídrica de Quantis (QWDB), se debe verificar el balance hídrico para identificar los procesos que tienen altas cantidades de agua turbinada (p. ej., energía hidroeléctrica). El uso de agua fuera del cauce se considera como extracción de agua, que incluye el agua que se evapora, consume o libera nuevamente corriente abajo. Se tiene en cuenta el agua potable, el agua de riego y el agua utilizada en procesos industriales (incluido el agua de refrigeración). También se considera el agua dulce y el agua de mar (y se deben excluir o reportar por separado).

El consumo de agua a menudo se usa para describir el agua que se extrae de la misma cuenca de drenaje, pero que no regresa a ella. El consumo de agua es el resultado de la evaporación, transpiración, integración en un producto o liberación en una cuenca diferente o en el mar. A menudo el cambio en la evaporación causado por el cambio en el uso del suelo se considera como consumo de agua (p. ej., reservorio para energía hidroeléctrica). Sin embargo, las represas a menudo también regulan los flujos de agua y pueden ayudar a reducir la escasez de agua durante períodos de sequía. Por consiguiente, la evaporación resultante del cambio en el uso del suelo solo se debe tener en cuenta si también se consideran estos aspectos temporales (ejemplo en la norma ISO 14073). De lo contrario, sugerimos no considerar la evaporación de las presas al evaluar la escasez de agua. Lo mismo para reservorios artificiales que regulan la disponibilidad de agua para las empresas. El cambio neto de la huella hídrica verde relacionado con el cambio de uso del suelo no se debe considerar al evaluar la huella de agua, ya que esto podría dar lugar a interpretaciones erróneas (p. ej., la tala de bosques primarios reduce la huella hídrica verde). Las empresas no siempre miden y controlan el consumo de agua, pero se puede extrapolar indirectamente en función de la extracción y liberación de agua.

La liberación de agua es el agua que se devuelve directamente al medio ambiente o a un sistema de tratamiento de aguas residuales, generalmente con una calidad diferente a la del agua extraída.

Dependiendo del alcance del estudio, también se debe considerar otra información adicional sobre los aspectos temporales y geográficos, así como la calidad del agua. Consulte las siguientes normas y guías (Gmünder et al., 2018; ISO, 2014, 2017b, 2017a) para obtener más información sobre la huella hídrica.

4 El uso del cauce de agua incluye, por ejemplo, la energía hidroeléctrica, la navegación, la pesca o las actividades recreativas que se realizan dentro de un canal.

5 La QWDB se basa en los datos de ecoinvent v2.2. El balance hídrico se calcula para cada proceso unitario. Para obtener más información consulte: https://quantis-intl.com/wp-content/uploads/2017/02/wdb_technicalreport_2012-03-19_quantis-1.pdf

6 La extracción de agua se puede calcular como „agua liberada (excepto el agua turbinada)” + “agua consumida”

3. RECOLECCIÓN DE DATOS

3.1 INTRODUCCIÓN

La recopilación de datos y modelado del sistema se realizan en la fase de ICV. Ambos procesos se realizan de acuerdo con los objetivos y los requisitos definidos durante la fase de delimitación del alcance. Los resultados del ICV aportan información en la fase de análisis del impacto de la HA. Los resultados del ICV también proporcionan retroalimentación con respecto al alcance, ya que éste a menudo requiere ajustes.

Por lo general, la fase del ICV (incluida la recopilación, adquisición y modelado de datos) requiere el mayor esfuerzo y cantidad de recursos en un ACV.

La fase de inventario incluye la recopilación de datos necesarios para los flujos hacia y desde un proceso unitario. El conjunto de datos de un proceso unitario es el elemento más pequeño que se considera en un análisis del ICV para el cual se cuantifican los datos de entrada y salida (ISO, 2006d). El ICV es el conjunto de datos combinado de intercambios de flujos elementales, de residuos y de productos.

- **Flujos elementales:** incluye todas las entradas de recursos y salida de emisiones que se relacionan directamente con el contexto de un proceso (material / energía que ingresa al sistema en estudio y que proviene del entorno sin una transformación humana previa, o material / energía que sale del sistema y que se libera al entorno sin una transformación humana posterior).
- **Flujos de productos:** Son bienes y servicios, ambos como el “producto” de un proceso y como insumos / consumibles unidos al proceso que esta siendo analizado.
- **Flujos de residuos:** (tanto de aguas residuales como de residuos sólidos / líquidos) se deben vincular con los procesos de gestión de residuos para garantizar que los impactos ambientales sean modelados completamente.

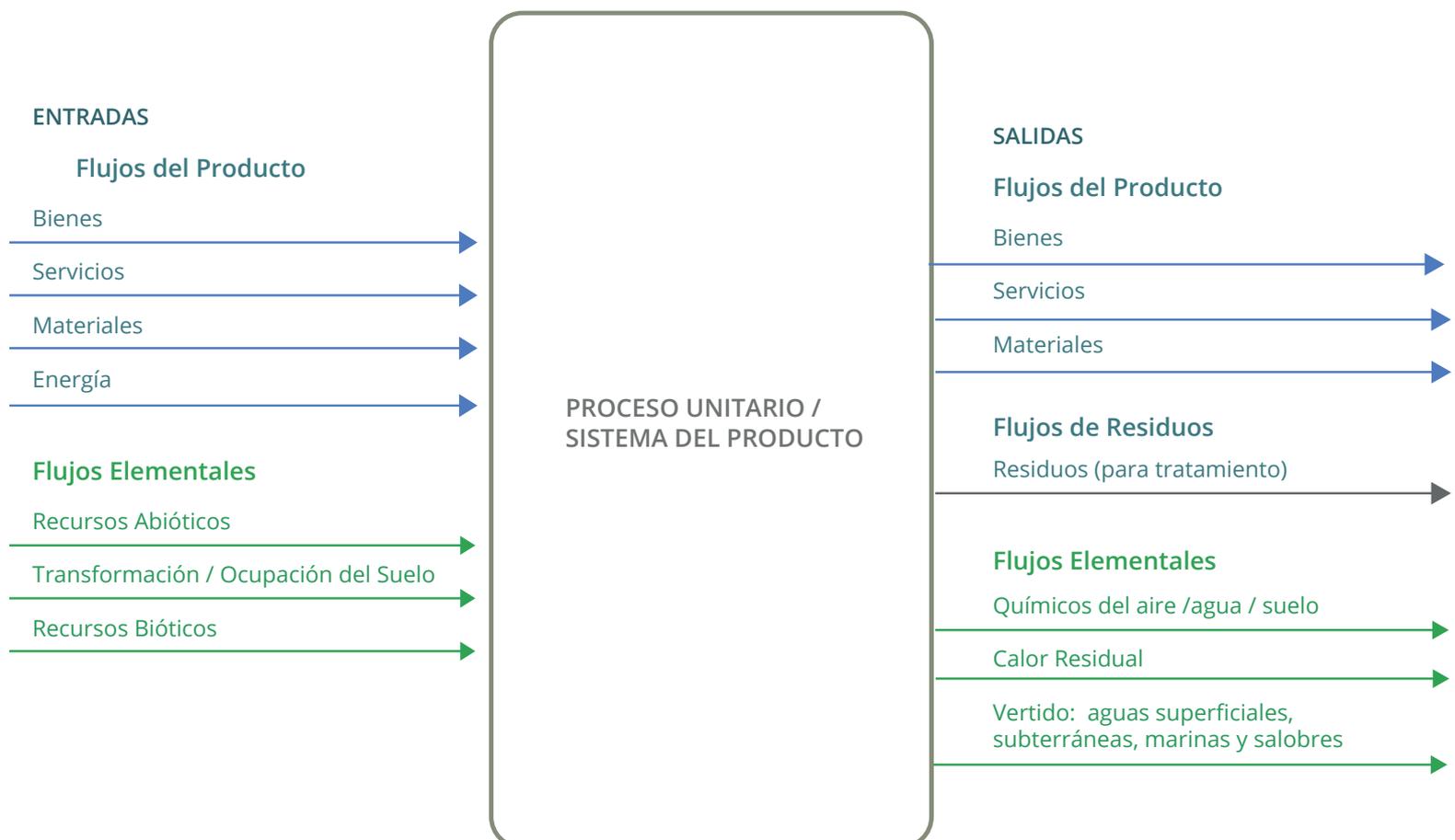


Figura 4: Representación conceptual de un proceso unitario (basado en ISO/TR 14073, 2017)

3.2 REQUISITOS DE LA RECOPIACIÓN DE DATOS

Lo ideal sería usar **datos de la empresa** (“datos primarios” o “datos específicos del sitio”) para todas las etapas del ciclo de vida - CV. Los datos específicos se refieren a datos que se miden o recolectan directamente de una o más instalaciones que representativas de las actividades de una empresa.

La HAP se basa en un enfoque material, por lo que los procesos más relevantes son aquellos que impulsan el perfil ambiental de producto. Para estos procesos, se debe usar datos de mayor calidad en comparación con los procesos menos relevantes, independientemente de dónde ocurran los procesos en el CV de un producto. Los datos que tienen una menor influencia en los resultados y / o aquellos a los que las empresas no pueden acceder fácilmente se pueden basar en datos genéricos (“**datos secundarios**”). No debe existir carencia de datos, se debe usar datos secundarios cuando no existan datos primarios disponibles. Los datos secundarios se reemplazan por datos primarios cuando sea necesario cumplir con el requisito general del estudio respecto a la calidad de los datos.

Tabla 4: Resumen de los requisitos de datos para las distintas etapas del ciclo de vida (adaptado de RCHAP v6.3)

| ETAPA | DATOS DE ENTRADA MÁS RELEVANTES PARA CENTRAR LOS ESFUERZOS DE RECOPIACIÓN DE DATOS EN (DATOS ESPECÍFICOS) | ICV MÁS RELEVANTES PARA LOS QUE SE DEBEN UTILIZAR DATOS SECUNDARIOS (DATOS GENÉRICOS) |
|----------------------------|---|--|
| Cultivo de café | <ul style="list-style-type: none"> Tipo y producción del café Tipos y cantidades de fertilizantes utilizados Tipos y cantidades de pesticidas utilizados Tipos y cantidades de energía utilizada para el riego Tipo y cantidad de agua utilizada de cada recurso Uso previo del suelo (especialmente deforestación) Tipos y cantidades de energía utilizada por las máquinas | <ul style="list-style-type: none"> Conjunto completo de datos de ICV para producción de fertilizantes, pesticidas, maquinaria, riego y energía (huella indirecta relacionada con la producción de estos insumos) Emisiones directas en el campo debido al modelo de fertilizantes o pesticidas |
| Procesamiento post cosecha | <ul style="list-style-type: none"> Tipos y cantidades de energía consumida Tipo y cantidad de agua utilizada de cada recurso Datos sobre la contaminación del agua Tipos y cantidad de desechos y subproductos (p. ej., pulpa y otros desechos orgánicos) | <ul style="list-style-type: none"> Conjunto completo de datos del ICV para el transporte modelo y producción de empaques |
| Transporte del café | <ul style="list-style-type: none"> Distancia y tipo de transporte desde el país productor de café hasta la fábrica Tipos y cantidades de empaques primarios y secundarios para transportar los granos de café | <ul style="list-style-type: none"> Conjunto completo de datos del ICV para energía y maquinaria Procesos del fin de vida útil |
| Suministro de empaques | <ul style="list-style-type: none"> Tipos y cantidades de empaques primarios Tipos y cantidades de empaques secundarios | <ul style="list-style-type: none"> Tipos y cantidades de empaques terciarios Conjunto completo de datos del ICV para la producción de empaques (huella indirecta relacionada con la producción de empaques) |
| Fabricación | <ul style="list-style-type: none"> Tipos y cantidades de energía consumida | <ul style="list-style-type: none"> Conjunto completo de datos del ICV para la producción de energía |
| Distribución | <ul style="list-style-type: none"> Empaque y masa / volumen del producto Distancia Carga real del camión | <ul style="list-style-type: none"> Conjunto completo de datos del ICV para el transporte Conjunto completo de datos del ICV para la energía (para almacenamiento en minoristas y centros de distribución) |
| Etapas de uso | <ul style="list-style-type: none"> Tipo y cantidad de energía consumida para la preparación de bebidas Tipo de máquina utilizada y BOM (si es una máquina específica) Tipo de taza utilizada | <ul style="list-style-type: none"> Conjunto completo de datos del ICV para energía, lavavajillas, material de las tazas, cafetera o hervidor de agua (huella indirecta relacionada con la producción de estas entradas) Fracción de uso del lavavajillas, uso de la cafetera |

⁷ Según la Guía de HAP (Comisión Europea, 2013), “existe una carencia de datos cuando no hay datos específicos o genéricos disponibles que sean suficientemente representativos del proceso dado en el ciclo de vida del producto”.

3.2.1 Cultivo de café verde, producción post cosecha y fabricación

Las RCHAP para el café verde establecen los siguientes requisitos de datos: Si el alcance del análisis es el **cultivo de café verde o café empacado**, se deben recolectar datos primarios / específicos del sitio con respecto al cultivo, procesamiento y transporte del café. Los requisitos específicos se describen en las siguientes secciones.

Para el cultivo de café, se deben utilizar datos específicos del tipo de cultivo y datos específicos del país / región o clima con respecto a la producción, agua, uso del suelo, cambio de uso del suelo, cantidad (N, P) de fertilizante (artificial y orgánico) y de pesticida (por ingrediente activo) por hectárea por año. Para las plantas perennes (incluidas plantas enteras y porciones comestibles de las plantas perennes), se debe asumir una situación de estado estable (es decir, todas las etapas de desarrollo están proporcionalmente representadas en el período de tiempo estudiado) utilizando un período de tres años para estimar las entradas y salidas.

Si las diferentes etapas en un ciclo de cultivo son desproporcionadas, se debe hacer una corrección al ajustar el área del lote del cultivo a las diferentes etapas de desarrollo en proporción al área de cultivo esperada en un estado estable teórico. Las correcciones se deben justificar y registrar. El ICV de las plantas y cultivos perennes no se debe realizar hasta que el sistema de producción realmente produzca. Se debe promediar datos de los últimos tres años. Los “años no productivos” y los valores muy altos o muy bajos se deben tratar de forma correcta (los valores se deben excluir o contabilizar según el tipo de datos).

Si el alcance es **bebida a base de café**, se pueden usar datos genéricos para el cultivo de café verde, según el borrador de las RCHAP para el café, debido a la dificultad para recolectar estos datos (Quantis, 2016).

3.2.2 Empaque

Si el estudio especifica una marca de café, se deben utilizar datos específicos para el **empaque primario y secundario** (Quantis, 2016). La sección 3.8 muestra una lista de datos específicos de empaque que se pueden recolectar.

Si no se especifica la marca, se pueden usar datos semi-específicos.

3.2.3 Uso

El uso y producción de la cafetera pueden ser un proceso relevante como lo demuestran los resultados del estudio de la HAP del café. Por lo tanto, se deben usar datos específicos para la producción y el uso **de cafeteras si el estudio especifica la marca de una cafetera** (Quantis, 2016). La sección 3.10 muestra una lista de los datos específicos de la producción y uso de la cafetera que se pueden recolectar.

Si no se especifica una marca, se pueden usar datos semi-específicos. Tenga en cuenta que algunas cafeteras incluyen una taza. En este caso, se deben utilizar datos específicos del tipo de taza.

3.2.4 Fin de la vida útil

Si la empresa cuenta con sistemas específicos dedicados a la recolección y tratamiento de cápsulas, el fin de la vida útil se debe modelar utilizando datos específicos (Quantis, 2016). El modelo de fin de vida útil debe seguir los requisitos descritos

3.3 FUENTES DE DATOS

Esta guía utiliza diferentes fuentes de datos para proporcionar valores predeterminados que, en teoría, reflejan la producción promedio del café colombiano.

3.3.1 Datos primarios - muestreo

Los datos primarios deben representar los procesos de producción reales y el sitio / región donde ocurren los procesos. Los datos primarios se pueden obtener a partir de tres enfoques de muestreo diferentes ((Envirodec, 2013).

Muestreo completo: En algunos casos se recomienda tomar muestras de todos los sitios que producen un determinado producto. Es probable que se presenten estos casos cuando hay una pequeña cantidad de sitios o cuando los sitios son muy variables, por ejemplo, cuando el producto se obtiene en múltiples geografías.

⁸ La hipótesis que subyace el análisis del ICV total de los productos hortícolas es que las entradas y salidas del cultivo están en un “estado estable”, lo que significa que todas las etapas de desarrollo de los cultivos perennes (con distintas entradas y salidas) se deben representar proporcionalmente en el período de tiempo del cultivo estudiado. La ventaja de este enfoque es que se pueden usar las entradas y salidas de un período relativamente corto para calcular el ICV total de un producto de cultivo perenne. Los cultivos perennes hortícolas pueden tener una vida útil de 30 años o más (por ejemplo, en el caso de los árboles frutales y árboles de nueces).

Muestreo aleatorio: En los casos en que hay muchos sitios que probablemente sean de naturaleza muy similar, se puede utilizar el muestreo aleatorio para obtener un conjunto de datos promediados.

Muestreo estratificado: En los casos en que hay una gran cantidad de fincas para muestrear que varían significativamente entre sí, el muestreo aleatorio podría pasar por alto ciertos aspectos importantes de esta variación. En estos casos, se recomienda adoptar un enfoque estratificado para el muestreo.

Si no es factible realizar un muestreo completo, una muestra estratificada brindará mayor precisión que una muestra aleatoria simple, siempre que se hayan elegido sub poblaciones (estratos) para que los elementos de la misma sub población tengan características (al menos con respecto a las que están siendo estudiados) que sean lo más similares posible. Para las RCHAP, se debe utilizar una muestra estratificada.

Esta guía utiliza datos de campo de 16 fincas cafeteras ubicadas en las regiones cafeteras en el norte, centro y sur de Colombia: Antioquia (8), Caldas (3), Cauca (1), Cesar (1), Tolima (1), Quindío (1) y Risaralda (1). Las áreas de cultivo varían de dos a 200 ha, y están ubicadas en altitudes entre los 1150 m y 1950 m. Doce fincas usan sistemas de cultivo bajo sombra o semi sombra, mientras que seis fincas cultivan al sol. Siete fincas cafeteras son sitios experimentales de CENICAFÉ. El tamaño de la muestra obviamente no permite establecer valores promedio a nivel nacional.

3.3.2 Datos secundarios

Este estudio utiliza diferentes fuentes de datos secundarios, incluyendo:

Estadísticas nacionales de las publicaciones de la FNC que incluyen estadísticas oficiales y mejores prácticas. Estas publicaciones describen los procesos de cultivo, procesamiento y fabricación del café en Colombia. La FNC ha realizado investigaciones sobre la producción de café, los métodos de cosecha, los procesos de molienda húmeda, la calidad y la gestión de subproductos. Su investigación se utilizó para elaborar esta guía (Arcila Pulgarín, Farfan, Moreno, Salazar, y Hincapie, 2007; FNC, 2018; S. Sadeghian y Jaramillo Robledo, 2017).

NAMA Colombia, presenta estadísticas relacionadas con la producción de café en Colombia, una descripción de todas las etapas de la producción de café y la cuantificación de los gases de efecto invernadero (Lavola et al., 2019).

Normas y bases de datos de la huella ambiental como RCHAP, ecoinvent y WFLDB, que se utilizan para recuperar principios,

métodos y enfoques de modelado científico para cuantificar los impactos ambientales asociados con todas las fases de procesamiento.

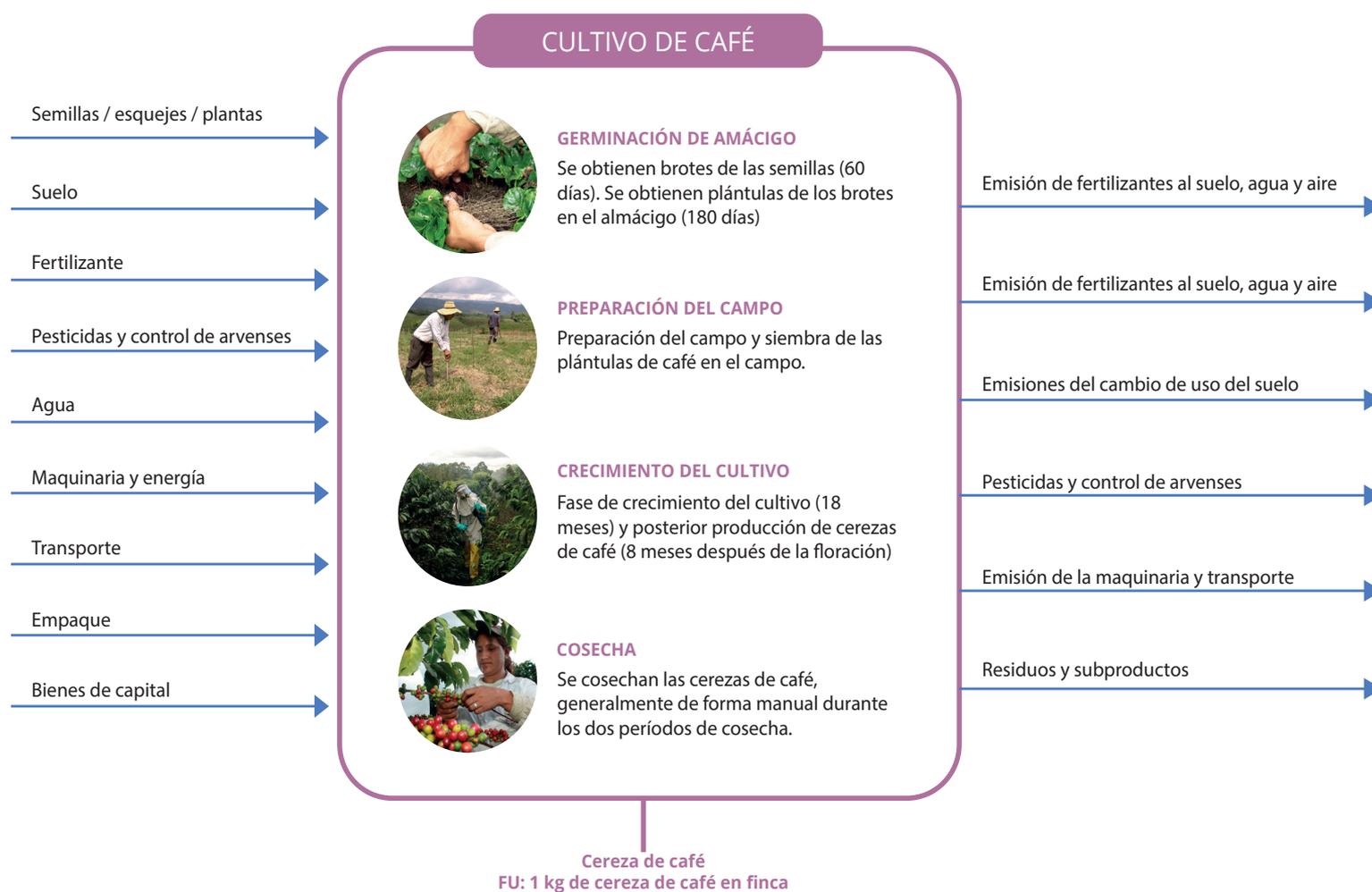
Base de datos del ICV: Normalmente se utilizan bases de datos especializadas para calcular huellas ambientales indirectas. Algunas bases de datos están disponibles de forma gratuita y otras a un costo determinado. Las principales bases de datos del ICV son ecoinvent, Gabi y la base de datos de HAP / HAO, entre otras.

Otros valores de la literatura y estimaciones de expertos

3.4 CULTIVO DE CAFÉ

3.4.1 Introducción

Figura 5: Sistema de producción de café a nivel de finca



3.4.2 Variedades de café

Los sistemas de producción de café en Colombia producen principalmente variedades de las especies de café Arábica. Las variedades de Arábica han demostrado altos grados de adaptación y una estabilidad potencial y productiva bajo las condiciones que prevalecen en la zona cafetera colombiana. La productividad depende fundamentalmente del sistema de cultivo elegido (Gómez, 1990). La investigación determinó que el mejor rendimiento de producción se da en algunas de las progenies componentes de Variedad Castillo®, en entornos contrastantes, por lo que se creó una mezcla específica para algunas regiones (Alvarado et al., 2005).

3.4.3 Clasificación de los sistemas de cultivo

El cultivo del café depende principalmente de las características del suelo, el relieve y el clima. A continuación, se describen los sistemas de exposición solar y de producción agroforestal que existen en Colombia.

- **Sistema de exposición solar:** El objetivo de un sistema de exposición solar es optimizar la interacción de los recursos (suelo-planta-clima) para aumentar la productividad. La FNC recomienda los sistemas de exposición solar para los cafetales cuyos suelos tienen una buena capacidad de almacenamiento de agua. Si los suelos son susceptibles a la erosión, el sistema de exposición solar debe ir acompañado de buenas prácticas de conservación del suelo, como por ejemplo sembrar en la dirección opuesta de una pendiente, establecer barreras vivas y manejar la cubierta noble.

- **Sistemas agroforestales:** En Colombia, los cultivos de café se siembran bajo una exposición solar total, pero es común ver plantaciones con varios tipos y cantidades de cobertura arbórea (FNC- FNC 1997).

Los cafetales con niveles de sombra inferiores al 35% pueden clasificarse como sistemas de exposición total. Los cafetales con niveles de sombra entre 35-45% (sombra baja) y 45-55% (sombra promedio) se pueden clasificar como sistemas de semi sombra. Finalmente, los cafetales con niveles de sombra superiores al 55% pueden clasificarse como sistemas de sombra (MUÑOZ et al., 2013; S. Sadeghian, 2008). En Colombia, el 63% de las 877.144 hectáreas de cafetales están expuestas al sol, mientras que el 37% son sistemas agroforestales de sombra o semi sombra (Federación Nacional de Cafeteros, 2019b).

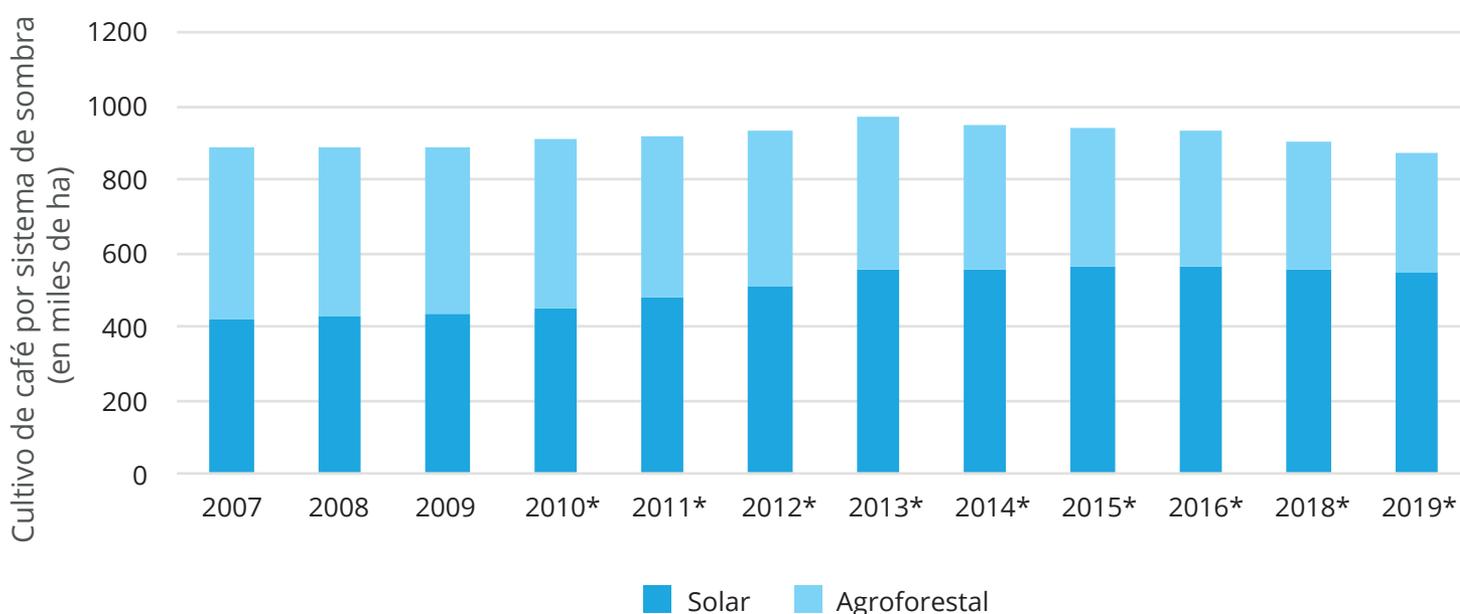


Figura 6: Cultivo de café por sistema de sombra (en 1000 de ha) entre los años 2007 y 2018 (FNC 2019b)

El cultivo y el procesamiento del café verde deberían diferenciar entre el café verde Arábica y el café verde Robusta (Environdec, 2018, 2019).

En Colombia, el café se puede clasificar en diferentes cafés “especiales”, divididos entre las siguientes tres categorías principales (Arcila Pulgarín et al., 2007; FNC de Colombia, 2018):

- **Cafés de origen:** Consiste en tres subtipos con base en las regiones y fincas de producción específicas — los “Cafés Regionales”, los “Exóticos” y los “Cafés de Finca”.
- **Granos de café especiales:** Incluye los “Cafés Selectos”, “Cafés Caracol” y “Cafés Supremo”. Los “Cafés Selectos” son una mezcla equilibrada de varios tipos de café que producen una taza de calidad excepcional. Los “Cafés Supremo” son cafés que se identifican según la clasificación granulométrica o el tamaño de grano (p. ej., “supremo” (por encima de malla # 17), “extra” o “especial” (por encima de malla # 16), “europeo” (por encima de malla # 15)). Los cafés “Caracol” se cultivan en áreas de gran altitud, donde los granos seleccionados con forma de caracol producen una taza única con alta acidez.
- **Café sostenible:** Incluye “Cafés de Conservación”, cafés de “Comercio Justo” y cafés con certificación orgánica (el café orgánico se cultiva sin utilizar agroquímicos como fertilizantes, fungicidas e insecticidas).

3.4.4 Germinación y el almácigo

Las semillas crecen hasta convertirse en plántulas en aproximadamente ocho meses. Esta es una etapa crucial para garantizar el éxito a largo plazo de los cafetales y puede durar 20 años o más. El primer paso de esta etapa consiste en seleccionar una variedad de café y obtener las semillas.



Figura 7: Producción de semillas, germinación y almácigo de plántulas

Producción de semillas: Los Comités de Cafeteros de Colombia producen semillas de calidad certificada para el país.

Germinación: Durante esta fase de crecimiento vegetativo, las semillas desarrollan el primer par de hojas cotiledonales. En esta etapa, se cultivan las plántulas sanas y bien formadas (chapolas). Esta etapa dura aproximadamente 60 días.

Las evaluaciones experimentales realizadas por Cenicafé (Castro-Toro, Rivillas-Osorio, Serna-Giraldo, y Mejía-Mejía, 2008) dieron como resultado 4.000 granos secos por kg y 93% de germinación al someter el sustrato germinador a un proceso fitosanitario para el control de hongos. La densidad de la siembra en el estado de germinación fue de aproximadamente 3.000 plántulas por metro cuadrado (FNC 2004). Las plantas fueron regadas con 169 L/m² (Rodríguez V. et al., 2018). También existen alternativas de gestión de control biológico, como la aplicación del hongo *Trichoderma harzianum* (Tricho-D ®) o alternativas de control químico, como el uso del fungicida tiabendazol (Mertect ®) con una dosis de 10 cc en 2 L de agua por 1 m² de germinador.

Almácigo: Una vez que las plántulas desarrollan dos cotiledones, están listas para ser trasplantadas. El suelo donde se siembran las plántulas debe estar libre de enfermedades y plagas. También se aplican agentes de control biológico como las micorrizas u hongos antagonistas para garantizar un buen crecimiento. Las plántulas permanecen allí hasta que aparecen las primeras ramas después de aproximadamente 180 días (Gaitán, Villegas, Rivillas, Hincapié, y Arcila, 2011).

Según Cenicafé, es conveniente llenar las bolsas con una mezcla de tierra y fertilizantes orgánicos bien descompuestos (S. Sadeghian y Jaramillo Robledo, 2017).

La siguiente tabla muestra los datos de entrada relevantes sobre la etapa de germinación y almácigo con base en las recomendaciones de la FNC. Tenga en cuenta que, en la práctica, existen grandes variaciones con respecto a los valores predeterminados según las prácticas agrícolas utilizadas.

Tabla 5: ICV de la etapa de germinación y almácigo (por planta) basado en diferentes fuentes

| ETAPA | CATEGORÍA | CANTIDAD (POR PLANTA) | UNIDAD | COMENTARIOS |
|------------|--------------------------|-----------------------|--------|--|
| Plántula | Semilla | 0,27 | g | Las evaluaciones experimentales realizadas por Cenicafe dieron como resultado una cantidad de 4.000 granos secos por kg y 93% de germinación al someter el sustrato germinador a un proceso fitosanitario para el control de hongos. |
| Germinador | Material de construcción | | | Por lo general el germinador está hecho de guadua y está elevado. |
| | Fungicida | 0,0017 | g | 5g de Monceren por m2. La densidad se estima en 3.000 plantas por m2 (FNC 2004) |
| | Agua | 56,3 | g | 169 L por m2, que es aproximadamente 56 ml por plántula. (Rodríguez V. et al., 2018) |
| Nursery | Suelo | 1,5 | kg | Estimado por la FNC — dos kg en total (suelo y fertilizante orgánico) (Florez Ramos, Quiroga Cardona, y Arias Suarez, 2018) |
| | Bolsa plástica | 2 | g | Bolsa plástica (17 cm de diámetro x 23 cm de altura). La bolsa usada se deja en la finca (incorporada en el suelo como mala práctica) o se deposita en un vertedero |
| | Agua | 2.2 | L | Se recomienda 97 L por m2 y 44 bolsas por m2 (Rodríguez V. et al., 2018) |
| | Fertilizante orgánico | 0,5 | kg | Recomendaciones de la FNC: - se agregan fertilizantes orgánicos (mezclados) extraídos de la pulpa. No se recomienda el uso de fertilizantes minerales. |

3.4.5 Preparación del campo



Figura 8: Descripción general de las principales etapas de la preparación del campo y las entradas y salidas relacionadas

Muestreo de suelo: Se lleva a cabo de 30 a 60 días antes de la siembra para tomar decisiones oportunas, principalmente con respecto al pH correctivo y la fertilización requerida. Se actualiza cada dos años.

Diseño de la plantación: Un factor determinante en la productividad de los sistemas de café es la densidad de la plantación (número de cafetos por unidad de área de tierra). La densidad de las plantas afecta la producción del cultivo y depende de varios factores, como la variedad, el desarrollo de las hojas, el sistema de cultivo solar o de sombra, la ubicación y la altitud (Androcioli Filho, 2002; Bartholo, Melo, y Mendes, 1998; Browning y Fisher, 1976; Cannell, 1985; Gallo, Van Raij, Quaggio, y Esteves Pereira, 1999; Uribe y Mestre, 1980, 1988). En Colombia la densidad de los cafetos oscila entre 4.900-7.000 cafetos por ha (FCN, 2018). Según los datos de la FNC, el promedio en 2018 fue de 5.196 cafetos / ha (FNC, 2018).

Se implementan prácticas de conservación del suelo para evitar la erosión del suelo. El terreno se prepara manualmente utilizando herramientas y materiales simples, como estacas de madera.

Siembra: Si el hoyo tiene un tamaño adecuado, esto permite que el café se desarrolle adecuadamente, especialmente por su sistema de raíces que garantiza una buena fijación al suelo y una mejor nutrición. El tamaño del hoyo debe ser de 30 cm de ancho por 30 cm de largo por 30 cm de profundidad, en suelos aptos para café. Se realizan modificaciones si los valores de pH son inferiores a 5,0 de acuerdo con los resultados del análisis del suelo. Las fuentes se seleccionan teniendo en cuenta los valores de calcio, magnesio y fósforo en el suelo. Las plántulas se transportan en animales de carga.

Control de arvenses: Las arvenses compiten por la luz, los nutrientes, el agua y el espacio, lo que limita el crecimiento y la producción de los cultivos. Se debe eliminar las arvenses agresivas en los cultivos, junto con las arvenses nobles en placas petri o en la zona de las raíces, para que los cafetos siempre estén bien formados, nutridos y puedan producir cultivos de buena calidad (Arcila Pulgarín et al., 2007). El control manual de arvenses es el método de control de arvenses más común en Colombia.

3.4.6 Crecimiento del cultivo

El cafeto es un arbusto perenne cuya vida útil en condiciones comerciales abarca los 20-25 años, dependiendo del sistema de cultivo y la ubicación. A partir de la germinación de la semilla, la planta comienza a producir frutos en las ramas al año de edad, continúa produciendo durante varios años y alcanza la productividad máxima entre los 6-8 años (Arcila Pulgarín et al., 2007).



Figura 9: Descripción del crecimiento del café

Las siguientes secciones describen estos procesos con más detalle.

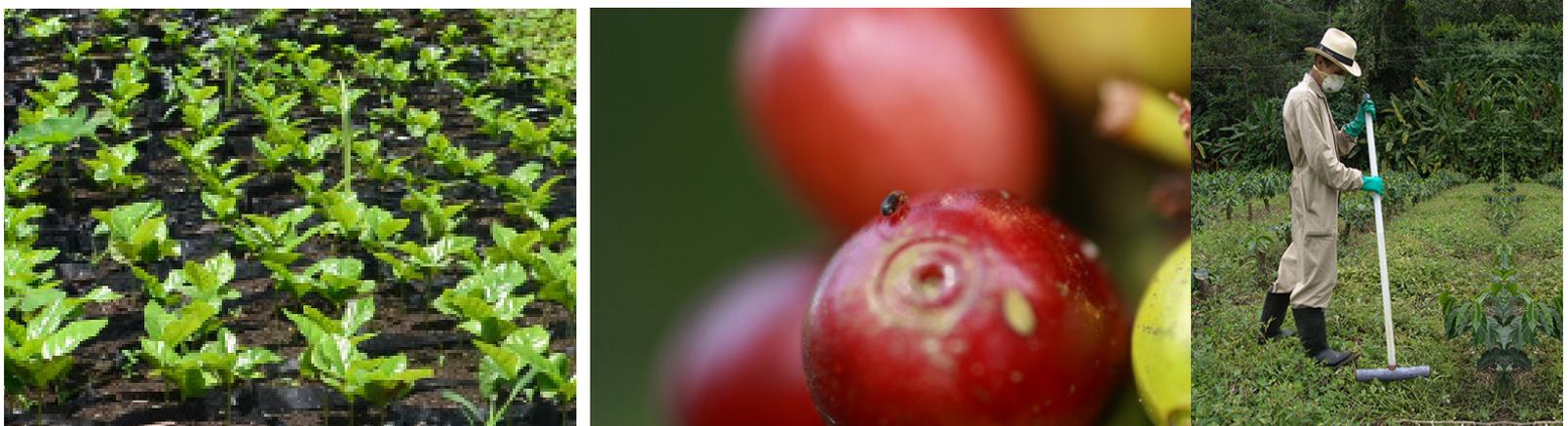


Figura 10: Imágenes de cafetales en Colombia

3.4.7 Productividad y rendimiento

Los datos de rendimiento se deben recolectar en kg de cerezas de café por ha. Se deben recolectar datos sobre el rendimiento para todas las edades de los cafetales (promedio de tres años) y para todas las áreas (no solo los sitios de producción). Si las diferentes etapas en un ciclo de cultivo son desproporcionadas, se deben hacer correcciones al ajustar las áreas de cultivo asignadas a diferentes etapas de desarrollo en proporción a las áreas de cultivo esperadas en un estado estable. Los “años no productivos” y los valores muy altos o muy bajos se deben tratar de forma correcta (se deben excluir o contabilizar según el tipo de datos recolectados).

La productividad promedio del café verde en Colombia fue de 18,6 sacos de 60 kg de café verde por ha (FNC, 2018), lo que equivale a 116 kg de café verde por ha.

La productividad puede variar significativamente según la densidad de siembra, la sombra, la edad, la variedad, las condiciones del clima y del suelo, la práctica de manejo y otros factores, y puede variar entre la falta de productividad (durante los primeros 18-24 meses de crecimiento del cultivo) y la producción de 10-13,5 t de café verde por ha en condiciones óptimas (Rendón y Flórez, 2017).

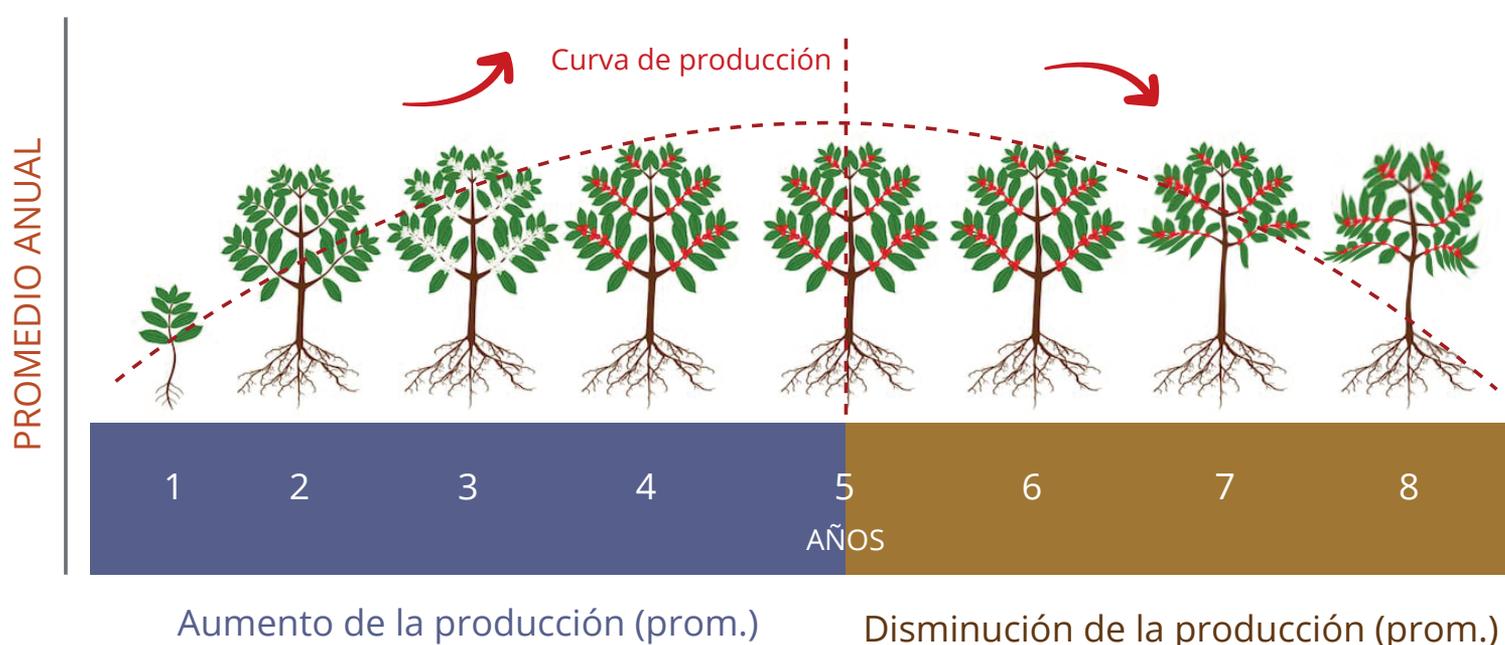


Figura 11: Ciclo de producción de un café

3.4.8 Aplicación de fertilizantes

La fertilización es una práctica importante en la producción de café, ya que proporciona a las plantas los elementos necesarios en cantidades suficientes y equilibradas (Arcila Pulgarín et al., 2007; S. Sadeghian, 2008). Se usan tanto fertilizantes sintéticos como fertilizantes orgánicos, incluyendo compost, Bocashi, lombrinaza, biofertilizantes, biofermentos, abono verde y mantillo vegetal.

El nitrógeno se considera el nutriente más limitante; cuando se elimina de la fertilización, el rendimiento puede disminuir hasta en un 80%. Al nitrógeno le sigue el potasio que, en suelos deficientes, puede reducir la producción hasta en un 30%.

Las tasas de fertilización recomendadas para cada etapa de desarrollo se basan en la agricultura sostenible donde se optimiza la efectividad de los insumos mientras se conserva el suelo y el medio ambiente. Según Sadeghian y González Osorio (2012), la fertilización está destinada a mejorar el contenido de materia orgánica y los nutrientes del suelo, teniendo en cuenta la demanda que tenga un cultivo en determinado sitio. Las decisiones deben estar respaldadas por los resultados del análisis del suelo a fin de reducir los riesgos económicos y ambientales. Si no hay muestras de suelo disponibles, la FNC proporciona tasas de fertilización genéricas para crecimiento y producción de cultivos (especificadas en la Tabla 6).

Según la información general de las empresas de fertilizantes, el café colombiano consume aproximadamente 350.000 t de fertilizantes de síntesis química cada año. Esto sugiere que para la producción de café se aplican en promedio menos de 400 kg de fertilizantes por ha/año. Estos resultados se encuentran en el mismo rango que la aplicación de fertilizantes en promedio en la agricultura colombiana, que se estima en 499 kg ha/año (Sánchez Navarro, Lis-Gutiérrez, Campo Robledo, y Herrera Saavedra, 2013). Esta cantidad se considera baja si el objetivo es lograr una alta productividad (K. Sadeghian, 2017). De acuerdo con las NAMA, se supone que el 49% de la cantidad de fertilizante proviene del nitrógeno, el 43% del potasio y el 8% de otros fertilizantes; se toma en cuenta la composición de nutrientes de cada tipo de fertilizante (S. Sadeghian y González Osorio, 2012). La Tabla 6 muestra la cantidad de fertilizantes de los 16 sitios del estudio, así como los valores promedio de fertilización del borrador de las RCHAP (2016).

Tabla 6: Cantidades de fertilizantes minerales de diferentes fuentes. Los valores que se utilizaron en este estudio están marcados con * y consisten en los valores oficiales de NAMA Colombia, complementados con otros elementos donde no había información disponible.

| ELEMENTO/ COMPUESTO | RECOMENDADO POR FNC | | ESTUDIO DE CASO | BORRADOR DE LAS RCHAP | NAMA CO | NAMA PE |
|------------------------|--|----------------------------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|---------------------|
| | CRECIMIENTO DEL CULTIVO (g/planta) | FASE DE PRODUCCIÓN (kg/ha) | PROMEDIO (kg/ha) | PROMEDIO (kg/ha) | PROMEDIO (kg/ha) | PROMEDIO (kg/ha) |
| N | 60 | 300 | 199 | 104 | 81* | 72-143 |
| P2O5 | 15 | 50 | 39 | 48 | 17* | |
| K2O | 15 | 260 | 140 | 179 | 103* | |
| MgO | 5 | 50 | 7* | 2 | | |
| S | | 50 | | | | |
| B | | | 0.3* | 6 | | |
| CaO | | | 5* | | | |
| Total | 95 | 710 | 390 | 339 | 221 | |

Los fertilizantes orgánicos adicionales aplicados como la pulpa descompuesta y la lombrinaza son indispensables (S. Sadeghian y González Osorio, 2012).

Consejos y trucos: Datos de entrada sobre fertilizantes

Un error común al calcular la HA de los productos agrícolas es que se usa la cantidad de P en lugar de P₂O₅ o K en lugar de K₂O. En este caso, use el peso molecular para convertir la cantidad aplicada.

Los principales fertilizantes minerales utilizados son N, K₂O y P₂O₅, pero incluyen Ca, Mg y otros fertilizantes que se aplicaron para proporcionar microelementos en el estudio.

Incluya fertilizantes orgánicos (p. ej., abono o compost) además de fertilizantes minerales, incluidos los materiales orgánicos que se aplicarán al campo (p. ej., residuos de los cultivos o el procesamiento). Si bien su producción podría tener una huella ambiental insignificante, podría ser relevante para el modelo de emisiones.

Otro error común es relacionar directamente la cantidad total de fertilizante con los datos del inventario. Sin embargo, los datos de inventario generalmente no se proporcionan por kg de fertilizante, sino por kg de nutrientes. Por ejemplo, la urea por lo general contiene 46% de N; si se usan 100 kg de urea por hectárea, la huella ambiental de la producción de fertilizantes se calcula como 46 kg multiplicados por los datos del proceso "urea, como N, en el almacén regional".

Algunos fertilizantes se aplican en mezclas específicas (p. ej., 15-5-5), pero las bases de datos del ICV no proporcionan valores de huella ambiental para cada mezcla específica. Sin embargo, se puede crear un valor al sumar el ICV de cada nutriente.

3.4.9 Aplicación de pesticidas y manejo de arvenses

El manejo integrado de plagas (MIP) es una serie de medidas de control destinadas a reducir las poblaciones de plagas que afectan a un cultivo sin causar daños económicos, de forma que se continúe permitiendo la producción de cultivos y la comercialización competitiva (NCA, 1968, Andrews y Quezada, 1989, Dent, 1999). Se puede lograr un IPM mediante una nutrición adecuada, un desyerbado oportuno o mediante controles biológicos y químicos. La Tabla 7 a continuación proporciona una lista de las sustancias químicas aplicadas en las fincas cafeteras muestreada.

En el desyerbado tradicional, los agricultores despejan completamente el suelo usando herramientas manuales como azadones o machetes y, durante los últimos 20 años, también aplican herbicidas (también incluidos en la Tabla 7).

Tabla 7: Pesticidas aplicados en siete fincas cafeteras (ingredientes activos en g/ha/año)

| INGREDIENTE ACTIVO | VALORES PROMEDIO DE SIETE FINCAS CAFETERAS (g/ha/año) |
|-----------------------|---|
| Azoxistrobina | 2.0 |
| Carbendazim | 5.9 |
| Ciproconazol | 4.6 |
| Clorantraniliprol | 3.7 |
| Clorpirifos | 242.8 |
| Ciantraniliprol | 6.9 |
| Cimoxanil | 0.5 |
| Difenoconazol | 0.2 |
| Fentoato | 6.5 |
| Fipronil | 12.3 |
| Fluazifop-P-Butil | 0.3 |
| Glifosato | 3.1 |
| Glufosinato de amonio | 135.6 |
| Mancozeb | 25.4 |
| Metaldehído | 7.5 |
| Oxicloruro de cobre | 1.2 |
| Propargita | 927.9 |
| Sulfluramida | 0.3 |
| Tetradifón | 0.05 |
| Tiabendazol | 5.2 |
| Tiametoxam | 9.5 |
| Triadimenol | 4.9 |

Consejos y trucos: Datos de entrada sobre pesticidas

Los datos requeridos incluyen el tipo, la cantidad y los ingredientes activos de los pesticidas aplicados.

Para los estudios de huella ambiental, es relevante la cantidad total de ingredientes activos (no la cantidad total de un pesticida, que puede venir en diferentes concentraciones). Por consiguiente, para cada pesticida se deben determinar los ingredientes activos y sus respectivas concentraciones. Si no se proporcionan estos valores de composición, se pueden encontrar los valores predeterminados en Internet.

Para algunas emisiones, no existen coeficientes de caracterización para los pesticidas. Sin embargo, se debe considerar el impacto de cada emisión (coincidencia entre el inventario y el método de análisis del impacto). Para evitar las faltas de coincidencia entre el inventario y el análisis del impacto, verifique que cada emisión tenga un coeficiente de caracterización.

3.4.10 Riego

El café colombiano generalmente no se riega, y el consumo de agua para el cultivo del café es bajo en comparación con otros cultivos (Arevalo U., Sabogal M., Lozano A., y Martinez A., 2018). Sin embargo, se usa un poco de agua en la etapa de germinación y almácigo (vea el capítulo anterior) y, dependiendo de las condiciones climáticas, algunos cultivos de café pueden usar riego.

Consejos y trucos: Datos sobre riego

Los datos requeridos incluyen la cantidad de agua (m³ por ha/año o por t), la fuente de agua (agua superficial o subterránea), la eficiencia de riego (%), la fuente y demanda energética y la infraestructura de riego.

La eficiencia de riego se usa para calcular tanto la cantidad de agua infiltrada como la cantidad de agua evaporada.

Para calcular la huella de escasez de agua, se debe proporcionar la ubicación geográfica del nivel de una cuenca o subcuenca.

Dependiendo del objetivo y el alcance de un estudio, se debe proporcionar la cantidad de agua utilizada mensualmente como una relación con el índice mensual de escasez de agua. Para medir la cantidad de agua utilizada para el riego en un sistema de riego, siga la Guía de análisis de la huella hídrica del café de Colombia (Rojas Acosta et al., 2019).

3.4.II Uso de maquinaria

La mayoría de los cafetales en Colombia se encuentran en las montañas y, debido a sus empinadas laderas, la mayoría del trabajo se realiza manualmente. Se puede usar maquinaria para eliminar vegetación y / o para la fumigación, renovación y transporte.

- **Eliminación de vegetación:** incluye el uso de equipos motorizados y segadoras. Un estudio indica que, en promedio, se dedican 6,4 días al año para el desyerbado por hectárea. Esto se traduce en aproximadamente 25 L de gasolina y un L de aceite (Suarez R y Carvajal M, 2018).
- **Fumigación:** incluye el uso de equipos motorizados de espalda y equipos semi estacionarios. Un estudio indica que, en promedio, se dedican 7,2 días al año para el desyerbado por hectárea. Esto se traduce en aproximadamente 28 L de gasolina y un L de aceite (Suarez R y Carvajal M, 2018).
- **Renovación:** incluye poda con una motosierra. Por lo general se recolectan datos sobre la cantidad de diésel consumido. Se puede usar el conjunto de datos de ecoinvent para el “diésel, quemado en máquinas de construcción” como un valor sustituto. Este conjunto de datos incluye la producción y combustión de diésel, así como los bienes de capital.

3.4.I2 Transporte

El transporte puede ocurrir en una finca cafetera o para suministrar los insumos requeridos a una finca cafetera. La huella ambiental del transporte en la finca por lo general se calcula en función de la cantidad de diésel y gasolina consumida (vea el capítulo anterior). Los datos de la HA para el transporte de los insumos agrícolas por lo general se derivan de las bases de datos de ICV (datos genéricos). Por lo general los valores de HA se expresan en t-km métricos con coeficientes de carga promediados que incluyen la proporción promedio de los viajes de regreso vacíos.

Consejos y trucos: Transporte

Ejemplo que usa 100 kg de abono por ha y un fertilizante orgánico que se transporta a una distancia de 200 km en un camión de tamaño mediano: se puede usar el conjunto de datos de ecoinvent para "transporte, flete, camión con 7,5-16 toneladas métricas, EURO3" para modelar la huella de transporte.

$100\text{kg de abono} / *200\text{km} * 1/1000 \text{ (t/km)} = 20 \text{ t.km/ha}$

La base de datos de ecoinvent proporciona conjuntos de datos sobre el tratamiento y mercado. Los conjuntos de datos sobre el mercado ya incluyen el transporte predeterminado (tenga cuidado de hacer doble conteo en los casos en que ya se ha agregado transporte adicional).

3.4.13 Emisiones de pesticidas

Las emisiones de pesticidas se modelan como ingredientes activos específicos. El método de análisis de impacto USEtox incluye un modelo de destino multimedio que simula el destino de los pesticidas, comenzando con diferentes compartimentos de emisiones (Rosenbaum et al., 2015). Las RCHAP v6.3 sugieren modelar los pesticidas aplicados en campos con un 90% emitido al compartimento del suelo agrícola, un 9% al aire y un 1% al agua (European Commission, 2018).

Se pueden usar datos más específicos si están disponibles. Todavía falta un modelo seguro para analizar la relación entre las cantidades aplicadas en el campo y las cantidades de los compartimentos de emisiones. El modelo PESTLCI podría solucionar este problema en el futuro, pero actualmente se está sometiendo a pruebas (Birkved y Hauschild, 2006).

3.4.14 Emisiones relacionadas con el nitrógeno provenientes de la aplicación de fertilizantes

De acuerdo con las RCHAP v6.3, las emisiones de fertilizantes (y abono) se deben diferenciar por tipo de fertilizante y cubrir las siguientes emisiones mínimas relacionadas con N:

- NH₃ al aire (de la aplicación de N-fertilizante)
- N₂O al aire (directo e indirecto) (de la aplicación de N-fertilizante)
- NO₃ al agua no especificada (lixiviación de la aplicación de N-fertilizante)

La Tabla 8 enumera los diferentes modelos de emisión de nutrientes.

Tabla 8: Resumen de los diferentes modelos de emisión de nutrientes en las principales normas y bases de datos

| EMISIONES | RCHAP (RCHAP del café, 2016). | WFLDB (Thomas Nemecek et al., 2015) | ECOINVENT (T Nemecek et al., 2011) | AGRIBALYSE (Koch et al., 2013) | NAMA CAFÉ DE COLOMBIA (Lavola et al., 2019) |
|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------|---|
| Amoniaco (NH ₃) | IPCC (2006) Nivel 1 | EMP (EEE 2013) Nivel 2 | Para CH: Agramon (Nivel 3) | EMEP (EEE 2009) | N/A |
| Óxido nitroso | IPCC (2006) Nivel 1 | IPCC (2006) Nivel 1 | Para RoW: EMP (EEE 2013) Nivel 2 | Nivel 2 | IPCC (2006) Nivel 1 |
| (N ₂ O) | IPCC (2006) Nivel 1 | Nitrato SALCA | IPCC (2006) Nivel 1 | IPCC (2006) Nivel 1 | N/A |

Las emisiones de nitrógeno se deben calcular utilizando las aplicaciones de nitrógeno del agricultor en los campos y excluir las fuentes externas (p. ej., la deposición por lluvia). Las RCHAP proporcionan factores de emisión para algunas, pero no todas, las sustancias. Para evitar las inconsistencias entre las diferentes RCHAP, algunos de los factores de emisión dentro de un contexto de HA son fijos, lo que simplifica el enfoque. Para los fertilizantes a base de nitrógeno, se deben utilizar los factores de emisiones de Nivel 1 del IPCC 2006 (Tabla 9), como se muestra en la Tabla 8. Tenga en cuenta que los valores proporcionados no se deben usar

para comparar distintos tipos de fertilizantes sintéticos; se debe usar un modelado más detallado para hacerlo. Si hay mejores datos disponibles, se puede utilizar un modelo de campo de nitrógeno más completo para las RCHAP siempre que (i) cubra, como mínimo, las emisiones anteriores, (ii) N permanezca equilibrado entre las entradas y salidas, y (iii) se describa de forma clara.

Tabla 9: Emisiones de N según las RCHAP v3.6

| EMISIÓN | EMISIÓN | COMPARTIMENTO | RCHAP (ENFOQUE 1) | RCHAP (ENFOQUE 2) |
|------------------|--|---|---|--|
| N ₂ O | N ₂ O (fertilizante sintético y abono; directo e indirecto) | 0,022 kg N ₂ O/ kg de fertilizante de N aplicado | 0,022 kg N ₂ O/ kg de fertilizante de N aplicado | 0,022 kg N ₂ O/ kg de fertilizante de N aplicado |
| NH ₃ | NH ₃ - Urea (fertilizante sintético) | kg NH ₃ = kg N * FracGASF= 1*0,1* (17/14) = 0,12 kg NH ₃ / kg de fertilizante de N aplicado | kg NH ₃ = kg N * FracGASF= 1*0,1* (17/14) = 0,12 kg NH ₃ / kg de fertilizante de N aplicado | kg NH ₃ = kg N * FracGASF= 1*0,15* (17/14) = 0,18 kg NH ₃ / kg de fertilizante de N aplicado |
| | NH ₃ - Nitrato de amonio (fertilizante sintético) | kg NH ₃ = kg N*FracGASF= 1*0,2* (17/14) = 0,24 kg NH ₃ / kg de abono de N aplicado | kg NH ₃ = kg N*FracGASF= 1*0,2* (17/14) = 0,24 kg NH ₃ / kg de abono de N aplicado | kg NH ₃ = kg N * FracGASF= 1*0,1* (17/14) = 0,12 kg NH ₃ / kg de fertilizante de N aplicado |
| | NH ₃ - otros (fertilizante sintético) | kg NO ₃ - = kg N*FracLEACH = 1*0,3*(62/14) = 1,33 kg NO ₃ -/ kg de N aplicado | kg NO ₃ - = kg N*FracLEACH = 1*0,3*(62/14) = 1,33 kg NO ₃ -/ kg de N aplicado | kg NH ₃ = kg N * FracGASF= 1*0,02* (17/14) = 0,024 kg NH ₃ / kg de fertilizante de N aplicado |
| | NH ₃ (abono) | No especificado | No especificado | kg NH ₃ = kg N*FracGASF= 1*0,2* (17/14) = 0,24 kg NH ₃ / kg de abono de N aplicado |
| NO ₃ | NO ₃ - (abono y fertilizante sintético) | | | kg NO ₃ - = kg N*FracLEACH = 1*0,1*(62/14) = 0,44 kg NO ₃ -/ kg de N aplicado |
| N ₂ | Fijación de N ₂ por cultivo | | Not specified | Para cultivos con fijación simbiótica de N ₂ : se supone que la cantidad fija es idéntica al contenido de N en el cultivo cosechado |
| | N ₂ | Aire | | 0,09 kg N ₂ / kg de N aplicado |

Los insumos derivados de la poda de árboles de sombra o el manejo de cafetales y sus emisiones relacionadas de N₂O pueden contribuir significativamente a la huella de carbono (Nojonen et al., 2012). Se requieren más investigaciones para reducir la incertidumbre de los factores de emisión.

3.4.15 Emisiones de fósforo y fosfato

De acuerdo con las RCHAP 6.3, las emisiones de fertilizantes (y abono) se deben diferenciar por tipo de fertilizante y cubrir las siguientes emisiones mínimas relacionadas con P:

PO₄, para agua no especificada o agua dulce (lixiviación y escorrentía de fosfato soluble proveniente de la aplicación del fertilizante de P)

P, para agua no especificada o agua dulce (partículas de suelo que contienen fósforo, proveniente de la aplicación de fertilizante de P).

Ya que las RCHAP no sugieren ningún modelo de emisiones relacionadas con P, hemos proporcionado detalles del modelo de emisiones utilizado en ecoinvent (T Nemecek et al., 2011) y la WFLDB (Thomas Nemecek et al., 2015), que se basa en el modelo SALC desarrollado por Pashun (vea el anexo 10.1).

3.4.16 Emisiones de CO₂ provenientes de la aplicación de urea y cal

Después aplicar urea y cal, se libera CO₂ fósil al aire. Las emisiones se pueden calcular en función de los valores de (De Klein et al., 2006) que se muestran en la Tabla 10.

Tabla 10: Coeficiente de las emisiones de CO₂ del IPCC (2006)

| EMISIÓN | COMPARTIMENTO | VALOR A APLICAR |
|------------------|---------------|---|
| De urea | Aire | 1,57 kg CO ₂ /kg Urea-N |
| De piedra caliza | Aire | $12/100 * 44/12 = 0,44$ kg CO ₂ /kg de piedra caliza |
| De dolomita | Aire | $12/92.2 * 44/12 = 0.48$ kg CO ₂ /kg de dolomita |

Para realizar el cálculo, considere el contenido de N de urea (normalmente 46%) y no el peso total de urea.

3.4.17 Emisiones de metales pesados

De acuerdo con las RCHAP v6.3, las emisiones de metales pesados de los insumos de campo deben modelarse como emisiones al suelo y / o lixiviación o erosión al agua. El inventario de agua debe especificar el estado de oxidación de un metal (p. ej., Cr+3, Cr+6).

La HAP no proporciona ningún modelo de metales pesados, por lo que sugerimos utilizar las emisiones de metales pesados calculadas por SALCA (Freiermuth, 2006). Las entradas a las tierras agrícolas y las salidas a las aguas superficiales y subterráneas se calculan en función de las entradas de metales pesados procedentes de las semillas, fertilizantes, productos fitosanitarios y depósitos del aire. No se toman en cuenta los residuos del cultivo que quedan en los campos ya que no salen del sistema. El contenido promedio de metales

pesados para las tierras cultivables, pastizales, praderas y cultivos hortícolas se utiliza para calcular las cantidades de metales pesados que se exportan por la erosión del suelo. Se consideran tres tipos de emisiones:

Lixiviación de metales pesados al agua subterránea (siempre valores positivos)

Emisiones de metales pesados en las aguas superficiales a través de la erosión de las partículas del suelo (siempre valores positivos)

Emisiones de metales pesados al suelo agrícola (valores positivos o negativos según los resultados del balance) Vea el anexo 10.3 para obtener información más detallada sobre los cálculos.

Parte del metal pesado se asimila durante el cultivo y se libera en una etapa posterior del ciclo de vida. De acuerdo con las RCHAP v6.3, se pueden omitir (si el inventario no tiene en cuenta las emisiones finales de metales pesados y, por lo tanto, no se debe tener en cuenta la absorción de metales pesados por parte de los cultivos) o incluir (si el inventario tiene en cuenta las emisiones finales (liberación) de metales pesados en el medio ambiente y, por lo tanto, también se debe tener en cuenta la absorción de metales pesados por parte de los cultivos).

3.4.18 Suelos de turba

De acuerdo con las RCHAP v6.3, los suelos de turba drenados deberían incluir las emisiones de dióxido de carbono con base en un modelo que relacione los niveles de drenaje con la oxidación anual de carbono. Por lo general el café de Colombia no se cultiva en suelos de turba.

3.4.19 Absorción de carbono

De acuerdo con las RCHAP v6.3, se debe utilizar un enfoque simplificado respecto a las emisiones y absorción de carbono biogénico para realizar el ACV de alimentos y bebidas. Esto significa que solo se debe incluir el metano biogénico en los estudios de huella ambiental y no se debe considerar ninguna otra emisión biogénica desde o hacia la atmósfera. Esto también significa que no se debe tener en cuenta el carbono contenido en las cerezas de café (y las respectivas absorciones y emisiones de CO₂ futuras) en el inventario. Esto puede diferir si se siguen otras pautas o normas.

3.4.20 Reserva de carbono por el uso y transformación del suelo

Aquí se tienen en cuenta los intercambios de carbono biogénico (CO₂, CO, y CH₄) por el cambio en el uso del suelo (LUC) de acuerdo con la norma PAS 2050-1.

El análisis debe incluir todos los cambios directos en el uso del suelo de los últimos 20 años, que se pueden calcular siguiendo estos pasos:

Paso 1: ¿El área de cultivo de café se expandió en los últimos 20 años?

Según la FNC (FNC 2019a), el área de cultivo aumentó ligeramente de 865.140 ha a 877.140 ha (aumento del 1,4%) desde el 2002 (comienzo de las estadísticas) hasta el 2018. Al escalar linealmente a 20 años, esto da como resultado un aumento de área del 1,5%.

Paso 2: ¿Para qué se usaba el suelo anteriormente?

Se puede demostrar el anterior uso del suelo al utilizar una serie de fuentes de información, como imágenes satelitales y datos de los estudios de tierra.

Dado que no se dispone de datos nacionales sobre el anterior uso del suelo, este estudio utiliza datos de las siete fincas cafeteras entrevistadas. Todas informaron que los antiguos pastizales se convirtieron en cafetales.

Se pueden usar las imágenes satelitales además de las entrevistas para recolectar datos sobre el uso histórico del suelo (Quantis, 2019).

Paso 3: ¿Qué tan altas son las reservas de carbono de cada uso del suelo?

Se consideran cinco reservas de carbono, incluido el carbono contenido en la biomasa superficial (BSUP), la biomasa subterránea (BSUB), el carbono orgánico del suelo (COS), la materia inerte (MI) y la hojarasca (L). Sin embargo, de acuerdo con las RCHAP v6.3, la absorción (acumulación) de carbono

en el suelo se debe excluir de los resultados de la huella ambiental, ya que en la práctica no se puede garantizar completamente la absorción a largo plazo (más de 100 años). Las reservas de carbono se pueden calcular de acuerdo con las pautas del IPCC 2006 (IPCC, 2006a). En general, existe una gran variabilidad entre los valores de las reservas de carbono de las distintas clases de uso del suelo. Si no hay datos primarios disponibles sobre las reservas de carbono, se pueden usar valores predeterminados. Algunas de las fuentes para los valores de las reservas de carbono de Colombia incluyen (Orozco et al., 2012; Ovalle, 2016; Phillips et al., 2011). En esta guía, se supone que la reserva de carbono de biomasa de los pastizales es de 7,57 tC / ha (IPCC, 2006a). Para los cafetales, diferenciamos entre las reservas de carbono de los sistemas agroforestales y los sistemas expuestos al sol. La Figura 12 muestra los valores de las reservas de carbono de biomasa de diferentes fuentes. Esta guía utiliza un valor de 10,5 tC / ha para la reserva de carbono de biomasa para los sistemas expuestos al sol con base en (Rikxoort, Schroth, Läderach, y Rodríguez-sánchez, 2014), quienes evaluaron la reserva de carbono promedio de 116 fincas cafeteras ubicadas en cinco países latinoamericanos: México, Guatemala, Nicaragua, El Salvador y Colombia. El rango de los valores de reserva de carbono para los sistemas agroforestales es muy alto, desde 5,5 tC / ha hasta casi 70tC / ha. Utilizamos un valor promedio de 30,2tC / ha (Rikxoort et al., 2014).

Actualmente, el 62,8% del café se cultiva en sistemas expuestos al sol y el 37,2% en sistemas agroforestales (vea el capítulo 3.4.2), lo que resulta en un promedio ponderado de 17,8 tC / ha para la reserva de carbono.

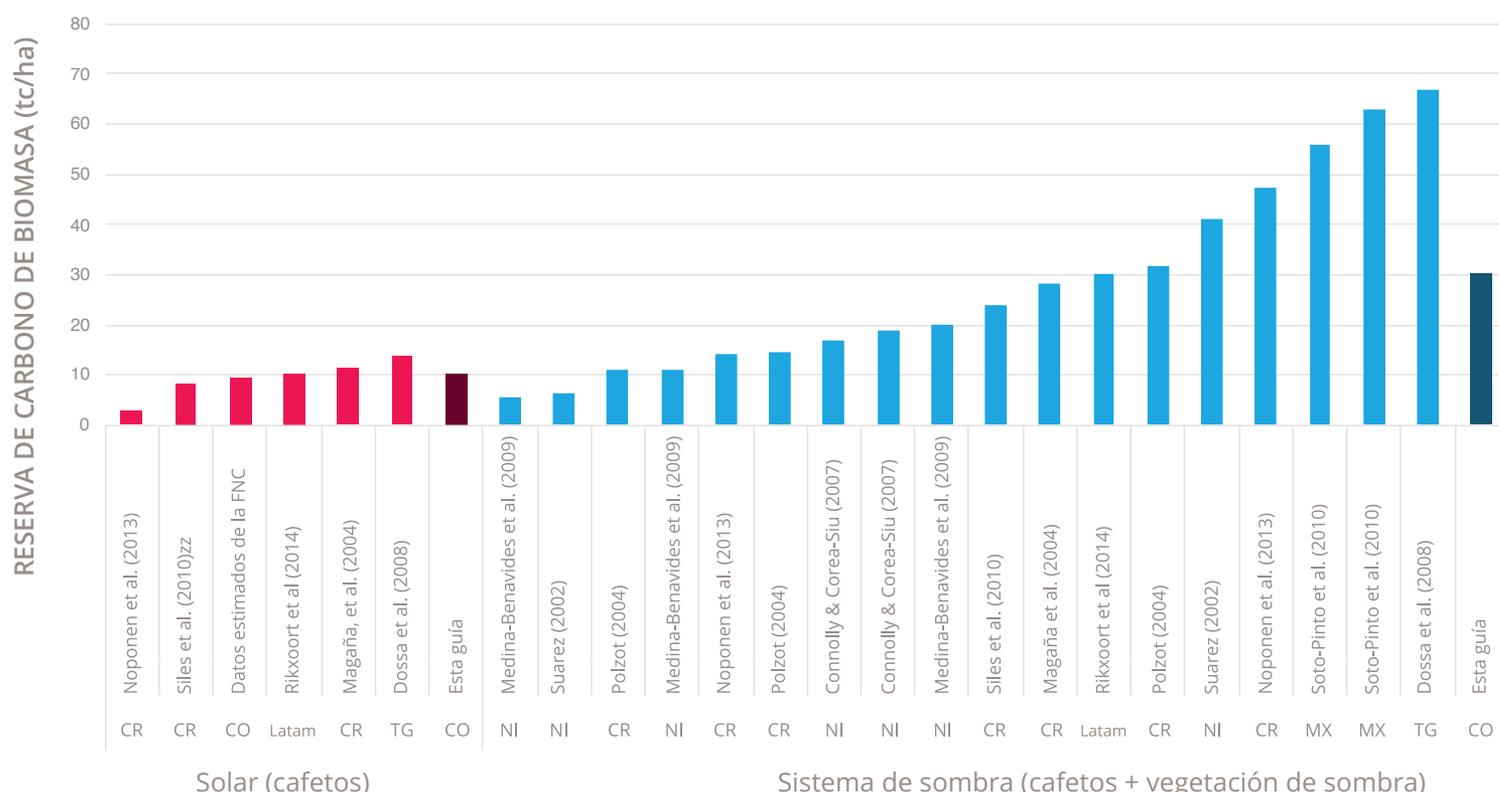


Figura 12: Reserva de carbono de biomasa en diferentes sistemas de cultivo (tC / ha)

Paso 4: ¿Cuáles son las emisiones de carbono relacionadas con el cambio de uso del suelo por cada kg de cereza de café?

Cambiar el uso del suelo de pastizales a cafetales aumenta las reservas de carbono en 10,3 tC / ha, lo que equivale a 38 t CO₂/ha (utilizando la relación de peso molecular de 44/12 para CO₂ y C). De acuerdo con la norma PAS2050-1, la emisión o absorción total (como en nuestro caso) se anualiza durante 20 años y se multiplica por el valor de expansión del suelo (1,5%). Las emisiones de CO₂ relacionadas con el cambio en el uso del suelo para el cultivo de café en Colombia son -28 kg CO₂/ha, o -4g CO₂ por kg de cereza de café. Los valores negativos indican que hay una absorción de carbono.

Considerar un cambio en la práctica de cultivo

En la última década, el sistema de cultivo de café cambió significativamente como se ilustra en la Figura 13. Desde el 2007 disminuyó la cantidad de cafetales más tradicionales que utilizan sistemas agroforestales, mientras que la cantidad de sistemas solares altamente productivos aumentó en un 16%. Este cambio redujo la reserva de carbono promedio del cultivo de café.

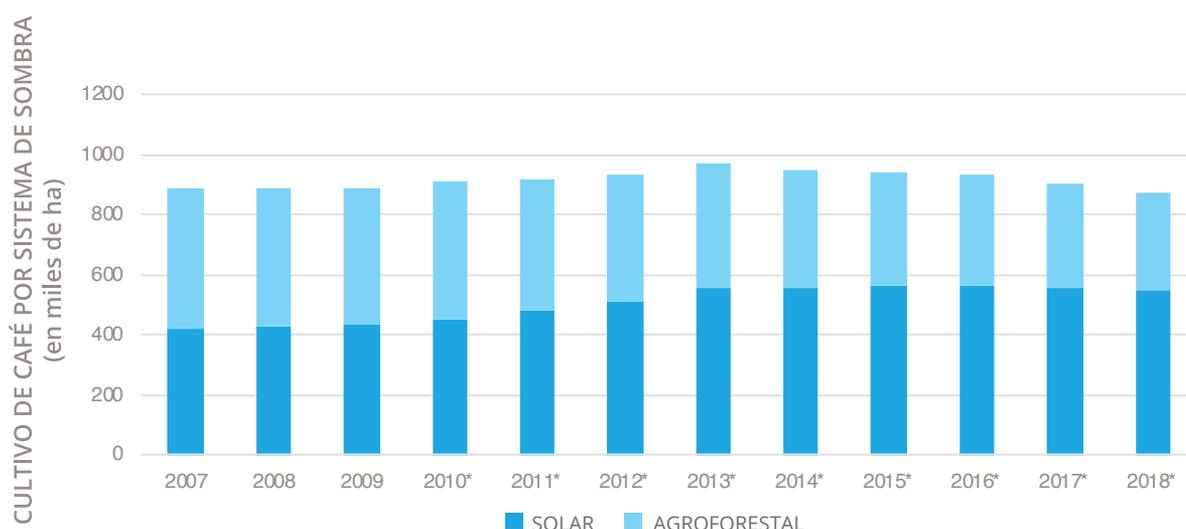


Figura 13. Cultivo de café en Colombia por sistema de sombra (en miles de ha). Datos recolectados de las estadísticas de la FNC (FNC 2019a)) de 2007 a 2018

Teniendo en cuenta el cambio del 16% en los sistemas solares de los cafetales junto con la reserva de carbono promedio de los sistemas agroforestales (30tC por ha) y de los sistemas expuestos al sol (10tC por ha), las emisiones netas de carbono son de 592 kg de CO₂ por ha y año (86g de CO₂ por kg de cereza de café).

Consejos y trucos: Normas diferentes, reglas diferentes

La mayoría de las pautas y normas de huella ambiental requieren calcular el cambio directo del uso del suelo en función de los datos a nivel de finca y sugieren o proporcionan metodologías para hacerlo en los casos en que no están disponibles dichos datos.

Por ejemplo, la norma PAS 2050-1 describe el cálculo de LUC a nivel nacional en función de los datos sobre la expansión y contracción de las tierras agrícolas, pastizales y tierras naturales (BSI, 2012).

Este enfoque se utiliza en muchas bases de datos del ICV.

Además, las RCP para Moka y Espresso sugieren basarse en la "Transformación del uso del suelo considerando el cambio directo en el uso del suelo y las emisiones de dióxido de carbono asociadas de acuerdo con la herramienta de uso del suelo de Blonk (2017), en caso de que el cultivo tenga menos de 20 años de edad". La herramienta de Blonk se basa en los principios de la norma PAS2050-1

3.4.21 Ocupación y transformación del suelo

La transformación del suelo provoca cambios en la calidad del ecosistema y afecta el equilibrio de los gases de efecto invernadero (vea el capítulo anterior). La ocupación del suelo también retrasa la recuperación. Los cambios en la calidad del ecosistema se modelan utilizando los flujos elementales de la ocupación y transformación del suelo. Normalmente se utilizan los siguientes flujos:

- La ocupación del suelo por lo general se mide en metros cuadrados x años (m².a), tipo de uso del suelo i y región k.
- La transformación de la tierra por lo general se expresa como metros cuadrados (m²), tipo de uso del suelo i, tipo de uso final del suelo j y región k.

Para analizar los impactos del uso del suelo sobre la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, es importante utilizar una clasificación integral de todos los usos del suelo que existen y las coberturas de tierra resultantes. Se puede encontrar una lista completa de los tipos de uso del suelo en (Koellner et al., 2012).

Consejos y trucos: Ocupación del suelo y transformación del suelo

El café utiliza el tipo de suelo “Cultivos permanentes, no irrigados, intensivos” según la clasificación de cobertura del suelo de CORINE, de acuerdo a como se usa en ecoinvent para los datos relacionados con la ocupación del suelo y para el tipo de uso final del suelo para la transformación del suelo.

La ocupación del suelo se calcula en función del rendimiento del cultivo. Esta guía utiliza un rendimiento de 6.889 kg de cerezas de café / ha / año, lo que da como resultado 1,45 m².a / kg de cereza de café.

Se tienen en cuenta la transformación del suelo de los últimos 20 años (o ciclo de cultivo). Usando los mismos valores que se utilizaron para la transformación del suelo en la sección anterior (1,5% de expansión de los pastizales). Esto se traduce en 0,015 ha / ha de cultivo de café. La transformación del suelo se anualiza durante un período de 20 años, lo que significa que las 0,015 ha / ha se dividen por el rendimiento de los 20 años y las hectáreas se convierten en m², lo que resulta en una transformación del suelo de 1,10E-03m² de “pastizales” a “cultivos permanentes, no irrigados, intensivos” (según ecoinvent).

3.4.22 Cosecha

En general, el café tarda entre siete y ocho meses en madurar (Arcila Pulgarín et al., 2007).

En Colombia existen dos períodos para la cosecha: de abril a junio y de septiembre a diciembre. El período de mayor cosecha se conoce como “cosecha principal”, y el período con el menor volumen se conoce como “mitaca” o “cosecha traviesa” (FNC, Cartilla Cafetera No. 19, 2004).

En términos generales, hay dos ciclos de floración y cosecha con respecto a Colombia:

- Primer período de floración: del 1 de noviembre al 30 de abril.
- Cosecha: del 1 de julio al 31 de diciembre.
- Segundo período de floración: del 1 de mayo al 31 de octubre.
- Cosecha: del 1 de enero al 30 de junio.

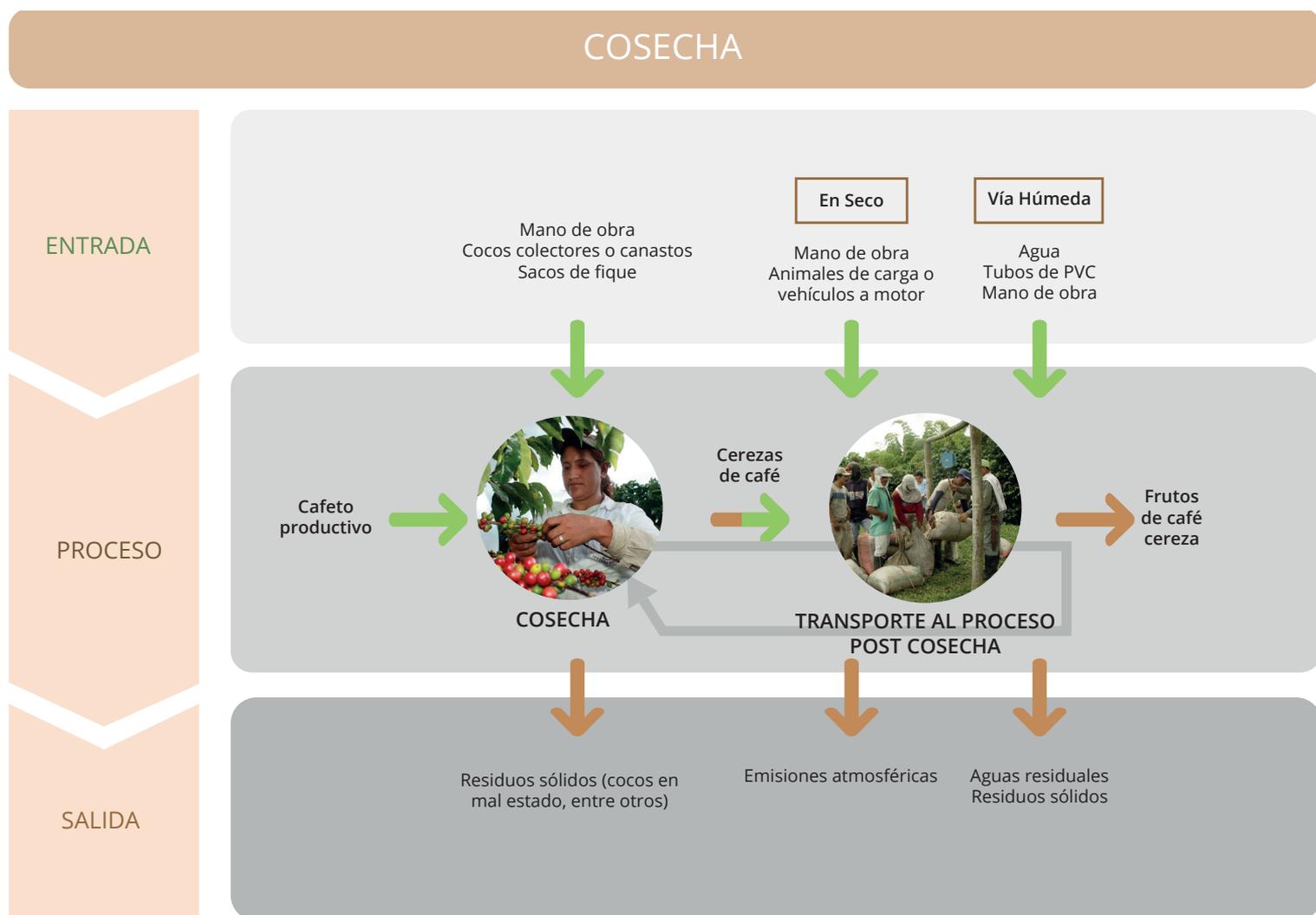


Figura 14: Descripción general del proceso de cosecha

En Colombia, tradicionalmente los frutos de café se cosechan manualmente de los árboles, con un canasto que se sujeta a la cintura del agricultor. Desde entonces se han desarrollado metodologías y tecnologías para mecanizar la cosecha. Sin embargo, en Colombia la recolección todavía se realiza de forma tradicional dada la topografía de la plantación y porque las condiciones climáticas tropicales crean distintos patrones de maduración en el mismo café.

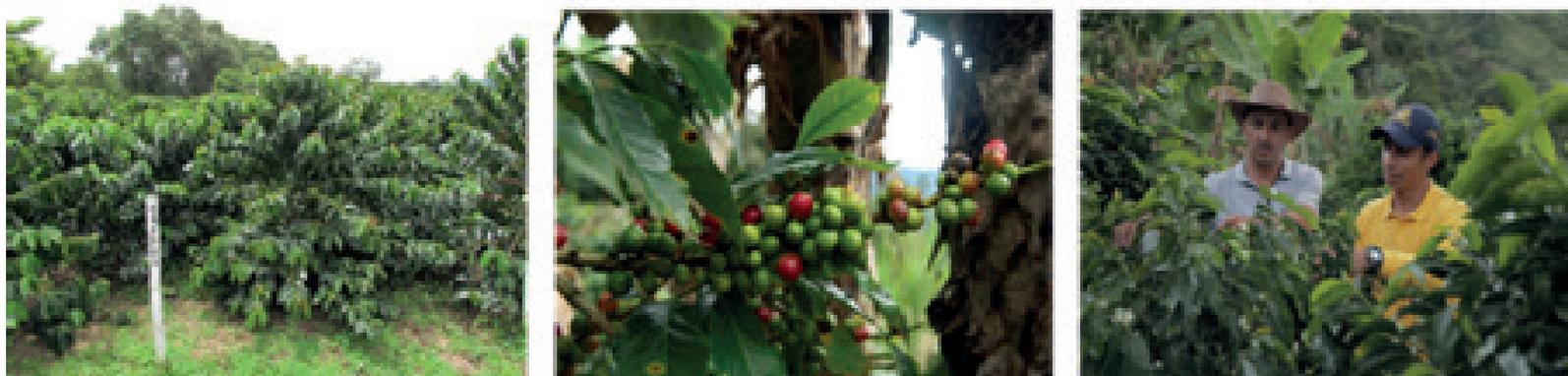


Figura 15: Cosecha de café en Colombia

3.4.23 Renovación

El objetivo de la renovación es mantener plantaciones de café jóvenes, saludables y productivas. En las plantaciones bajo el sol, la densidad de plantación determina la producción óptima. En los cafetales de bajo tamaño con altas densidades, la producción óptima se alcanza en 4-5 años. Después de este punto, la producción disminuye y se recomienda la renovación. Después de que una planta ha producido durante cuatro cosechas (cinco años), normalmente se corta a unos 30 cm del suelo. Esta poda se hace inmediatamente después de la cosecha principal, por lo que la planta no tiene flores ni frutos. Después del corte, la planta comienza un nuevo ciclo de crecimiento vegetativo y de producción, en el cual se maneja la nutrición de la misma manera que en el ciclo de plantación. Después de cuatro o cinco ciclos, se recomienda replantar las plántulas (vea el capítulo 3.4.5).

3.5 PROCESAMIENTO POST-COSECHA

3.5.1 Introducción

El proceso de post-cosecha comienza tan pronto como las cerezas de café han sido cosechadas. Cada grano tiene una piel exterior (exocarpio) que envuelve una sustancia dulce y pulposa (mesocarpio). El mucílago y el pergamino se encuentran debajo de la pulpa, y el grano está cubierto por una delicada y translúcida membrana (piel plateada).

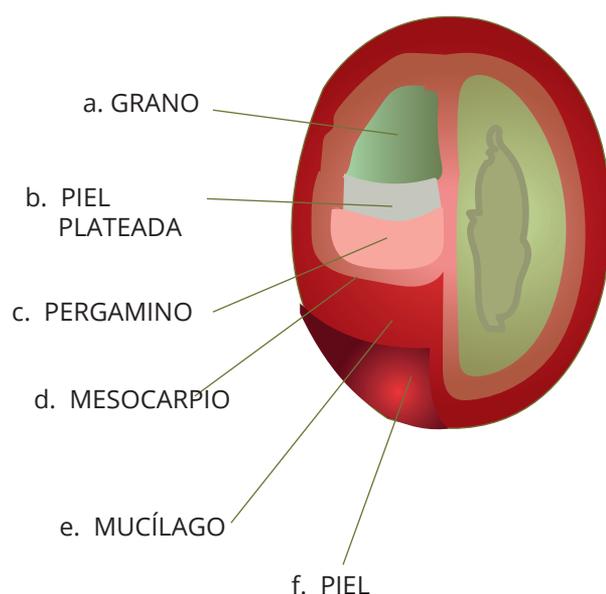


Figura 16: Composición de la cereza del café (Montilla, 2006)

Las actividades post cosecha se refieren a los procesos utilizados para separar el mesocarpio del endocarpio.

Uno de los procesos más comunes a nivel mundial se llama **procesamiento post-cosecha en seco**. Durante este proceso de post-cosecha, las cerezas suelen estar expuestas al sol durante varios días hasta que alcanzan un rango específico de niveles de humedad. Un efecto de este proceso es la impregnación de la semilla de café con ciertos azúcares, así como otros compuestos presentes en el mucílago. Este proceso seco también le da al café sabores y características particulares.

Las condiciones climáticas húmedas en Colombia no permiten secar al sol las cerezas de café enteras. Por consiguiente, el **procesamiento húmedo** del café ocurre en casi todas las plantas. El procesamiento húmedo post-cosecha incluye la recepción de las cerezas, el despulpado, la eliminación del mucílago, el lavado, el secado y el almacenamiento de los granos de café (vea la Figura 17).



Figura 17: Procesamiento post-cosecha

Recepción del café: Una vez cosechado el café, debe ser despulpado el mismo día de la cosecha, idealmente dentro de las seis horas siguientes a la recolección. Asimismo, se aconseja inspeccionar y clasificar el café antes de su despulpado, y eliminar los frutos dañados, los flotantes (granos vanos), las impurezas y los frutos verdes. En Colombia se utilizan varios dispositivos para almacenar las cerezas de café hasta que se despulpan. Los dispositivos de almacenamiento comunes utilizados por los cultivadores de café en este estudio incluyen tolvas de secado, tanques de sifón con y sin circulación de agua, y separadores hidráulicos de tolva y tornillo sinfín (HHSC).

Extracción de pulpa: Las cerezas de café frescas consisten en granos de café cubiertos por mucílago y pulpa. Durante el proceso de despulpado, se utiliza presión para separar la pulpa del grano de café. El despulpado puede hacerse de forma manual o mecánica usando un motor eléctrico (el proceso que predomina en Colombia) (Roa et al., 1999).

Fermentación (eliminación de mucílago) y lavado: El grano de café está cubierto por el mucílago, que puede ser removido mecánicamente o por medio de la fermentación. La tecnología que se utiliza en Colombia se correlaciona con el tamaño del productor de café y se puede clasificar como:

- **Proceso convencional:** El mucílago descompuesto se disuelve naturalmente y se elimina con el lavado. El proceso de fermentación suele durar de 12 a 18 horas, dependiendo de las condiciones climáticas. El mucílago

fermentado se elimina con agua. Lavar los granos de café permite eliminar completamente el mucílago fermentado. El lavado se hace en tanques de fermentación (técnica de cuatro enjuagues) o pasando los granos a través de canales de desagüe. Por lo general se usa agua dulce para no afectar al grano de café. Este proceso también se conoce como procesamiento "húmedo" post-cosecha (Roa et al., 1999).

- **Ecomill:** Es una tecnología desarrollada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé) que reduce considerablemente el consumo de agua y energía y elimina la contaminación de las aguas residuales durante las etapas de despulpado o procesamiento.
- **Becolsub:** Tecnología de café centrada en el manejo compacto de subproductos. Becolsub consiste en despulpar sin agua, remover el mucílago mecánicamente y mezclar subproductos (piel exterior de la fruta y mucílago) en un transportador de tornillo sinfín. Esta tecnología incluye un dispositivo hidromecánico que elimina las frutas flotantes y las impurezas ligeras, así como objetos pesados y duros, y una pantalla cilíndrica que elimina frutas cuyas pieles no se separaron en la máquina despulpadora. La eliminación del mucílago se realiza a través de un proceso de fermentación que toma de 14 a 18 horas hasta que el mucílago se degrada y puede ser eliminado fácilmente con agua.

- **Extracción mecánica:** Consiste en tres máquinas para la extracción de pulpa, extracción de mucílago y prensa de tornillo sinfín (Deslim). Este proceso también se conoce como procesamiento “seco” post-cosecha.

Secado. El secado es la etapa que tiene como objetivo reducir la humedad del grano (hasta 11-12%). Se puede realizar el secado de forma natural utilizando el sol (p. ej., en patios de cemento, coches de secado, elbas, toldos o secadores parabólicos) o utilizando un sistema mecánico (p. ej., silos, guardiolas).

Almacenamiento. Los productos de café verde en finca se almacenan en espacios limpios, secos, ventilados y frescos (con temperaturas moderadas), libres de la contaminación causada por productos químicos, fertilizantes, concentrados o combustibles, y protegidos de insectos, roedores y otros animales. Los sacos se colocan en estibas de madera lejos de las paredes.

El CPS de buena calidad con una humedad del 10-12% se almacena hasta seis meses en ambientes con temperaturas inferiores a 20° C y una humedad relativa del 65-70%. A medida que el tiempo, la temperatura y la humedad relativa del ambiente de almacenamiento aumenta, la calidad se deteriora más rápidamente (Door, 2003).

Manejo de subproductos: El procesamiento del café produce grandes cantidades de subproductos como la pulpa y la cáscara del café. Los subproductos se pueden utilizar como fertilizante, alimento para el ganado, abono y combustible (Adams y Ghaly, 2007a).

3.5.2 Balance de masa

La Tabla 11 enumera los balances de masa típicos del procesamiento del café basados en datos promedio de Montilla (2006b).

| BALANCE DE MASA | CANTIDAD | UNIT | HUMIDITY |
|-----------------------------|--------------|----------|-------------|
| Entrada total (seca) | 290,1 | g | 0.0% |
| Cereza de café (húmeda) | 1.000,0 | g | 71.0% |
| Cereza de café (seca) | 290,1 | g | 0.0% |
| Salida total (seco) | 290,1 | g | 0.0% |
| Pulpa (húmeda) | 436,0 | g | 78.6% |
| Pulpa (seca) | 93,5 | g | 0.0% |
| Mucílago (húmedo) | 149,0 | g | 89.5% |
| Mucílago (seco) | 15,7 | g | 0.0% |
| Café pergamino seco | 204,0 | g | 11.3% |
| Café pergamino seco (seco) | 180,9 | g | 0.0% |

Tabla 11: Balance de masa en la masa seca y húmeda del procesamiento del café basado en datos promedio de la FNC

3.5.3 Balance hídrico

La principal fuente de agua para el procesamiento por vía húmeda suele ser el agua superficial de un río o cuerpo de agua cercano que entra directamente en la molienda húmeda a través de una tubería.

Se recomienda realizar una medición directa del volumen mediante un caudalímetro, o bien se puede estimar el volumen utilizando el tiempo de entrada y de proceso.

Si no se puede medir directamente el agua utilizada durante la fase de procesamiento en húmedo, se recomienda utilizar los valores de la Tabla 12. En la tabla se indican las diferentes etapas del procesamiento en húmedo y el volumen de agua extraída por kilogramo de café pergamino seco procesado (Rojas Acosta et al., 2019).

Tabla 12: Uso del agua en el procesamiento del café (Rodríguez V. y Quintero Y., 2015; Rojas Acosta et al., 2019)

| Fase | Práctica | EXTRACCIÓN DE AGUA (l agua/kg cps) |
|-------------------------|---|------------------------------------|
| Recepción | Tolva de secado | 0 |
| | Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín | 0.025 |
| | Tanque sifón sin recirculación | 4.7 |
| | Tanque sifón con recirculación | 2 |
| | Bomba sumergible | 2 |
| TOTAL | Con agua | 5 |
| | Sin agua | 0 |
| Pulp transport | Con agua | 5 |
| | Sin agua | 0 |
| Pulped coffee transport | Con agua | 5 |
| | Sin agua | 0 |
| | Lavadora mecánica (Ecomill) | 0.3-0.5 |
| | Otras lavadoras | 2.2-2.7 |
| | Removedor de mucílago (Deslim) | 0.7-1.0 |
| | Otros removedores de mucílago | 1.5-3.3 |
| | Técnica de cuatro enjuagues en el tanque | 4.0-5.0 |
| | Bomba sumergible | 6.5-9.0 |
| | Canal semi-sumergido | 6.5-8.0 |
| | TOTAL | Promedio nacional estimado |

⁹ El 11,5% de contenido de humedad se definió como una referencia en el proyecto de las RCHAP (Reglas de Categoría para la Huella Ambiental de Producto) del café. Esto es importante de notar si, por ejemplo, se compara el café verde con diferentes contenidos de humedad.

Se estima un valor promedio nacional de 15,3 litros de agua extraída por kg cps al aproximar un uso de tecnología del 35% de procesamiento ecológico por vía húmeda y 65% de tecnología convencional (FNC 2018) con el correspondiente perfil de demanda hídrica (vea la Tabla 12). Estas cifras son estimaciones y pueden utilizarse si no se dispone de datos primarios.

Las aguas residuales que se descargan una vez que se ha utilizado el agua son la salida principal. La suposición general es que el 22% de las aguas residuales se libera a un cuerpo de agua (sin tratar) y el 78% se libera al suelo - se supone que el 15% se evapora y el 85% presumiblemente se devuelve a la cuenca (infiltración al agua subterránea o liberación directa al agua superficial)(Calderón C y Rodríguez V, 2018).

3.5.4 Demanda energética

Una demanda de electricidad de 0,17 kWh por kg cps está basado en las encuestas de campo.

Los silos con calefacción se utilizan comúnmente para secar el café, y se alimentan de la quema de carbón, madera, cisco u otros combustibles fósiles. El secado mecánico del café se realiza en cámaras en las que se introduce aire caliente impulsado por un ventilador que atraviesa la masa de café, a un máximo de 50°C. El aire puede calentarse con estufas y quemadores que utilizan (entre otros materiales) diésel, carbón y energía eléctrica. El secado suele tardar de 25 a 30 horas. También hay diferentes equipos de secado, como los secadores estáticos que no tienen cámaras de pre-secado, secadores de silo "Cenicafé" y secadores de doble piso.

La Tabla 13 muestra el consumo de combustible durante el secado del café cuando los silos funcionan a su máxima capacidad de carga.

En Colombia, la mayoría de los pequeños productores de café secan el café usando el sol, mientras que los grandes productores usan cisco y carbón (junto con otros combustibles) además del sol. La cantidad de cisco necesaria (4,4 kg) para secar una arroba de café verde seco y su poder calorífico de 17,936 kJ/kg, producen una eficiencia muy similar a la del carbón y la leña (32%).

La Tabla 13 enumera los combustibles utilizados para el secado mecánico del café (Adaptado de Cartilla Cafetera N° 21, 2004, FNC).

| COMBUSTIBLE | CANTIDAD DE COMBUSTIBLE CONSUMIDO (por kg de café verde seco) |
|-------------|---|
| Cisco | 0,35 kilogramos |
| Carbón | 0,24 kilogramos |
| Diésel | 0,06 galones |
| Gas propano | 0,1 kilogramos |

3.5.5 Transporte

Las actividades relacionadas con el procesamiento del café (transporte de los trabajadores, transporte en el sitio, etc.) utilizan principalmente vehículos propulsados por combustibles fósiles. Según las distancias y la geografía de una región, también se pueden utilizar animales para transportar café y subproductos.

La distancia promedio entre la finca y la planta de post-procesamiento de las fincas de este estudio situadas en Antioquia y Caldas es de 16 km. Sin embargo, las distancias en la región norte pueden ser mucho mayores. Esta guía asume una distancia promedio de 30 km en un camión (funcionando con diésel) de hasta 12 t (estimación conservadora).

3.5.6 Tratamiento de aguas residuales y contaminación

Se recomienda medir directamente los principales contaminantes contenidos en las aguas residuales, los cuales incluyen DQO, DBO5, NO3, PO4, TSS, NH3, y otros.

Si no es factible analizar la **calidad del agua**, se pueden utilizar los valores de referencia del tratamiento húmedo enumerados en la Tabla 14 para diferentes contaminantes generados dependiendo de la práctica de tratamiento (Rojas Acosta et al., 2019).

¹⁰ Una arroba = 12,5 kg

Tabla 14: Valores de referencia del tratamiento húmedo para diferentes contaminantes generados en función de la práctica de tratamiento (Rojas Acosta et al., 2019)

| FASE | PRACTICA | kg COD/t dpc | kg N/t dcp | kg PO ₄ /t dpc | kg TSS/t dcp |
|--|---|--------------|------------|---------------------------|--------------|
| Recepción | Tolva de secado | 0.07 | 0 | 0 | 0 |
| | Separador hidráulico de tolva y tornillo sinfín | 0.07 | 0 | 0 | 0.01 |
| | Tanque sifón sin recirculación | 11 | 0.22 | 0.01 | 2 |
| | Tanque sifón con recirculación | 5 | 0.1 | 0 | 1 |
| Extracción de pulpa | Con agua | 87 | 1.74 | 0.07 | 14 |
| | Sin agua | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Transporte de pulpa | Con agua | 87 | 1.74 | 0.07 | 14 |
| | Sin agua | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Almacenamiento de pulpa | Sin techo | 87 | 1.74 | 0.07 | 14 |
| | Con techo | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Descomposición de la pulpa | Sin techo | 87 | 1.74 | 0.07 | 14 |
| | Con techo | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Recolección y tratamiento de la pulpa | No | 69 | 1.38 | 0.05 | 11 |
| | Sí | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Tratamiento de los efluentes del procesamiento del café húmedo | Sin tratamiento de aguas residuales | 152 | 2.91 | 0.1 | 17 |
| | Tratamiento con eficiencia <20% (sedimentación física o tratamientos de hidrólisis bioquímica) | 121 | 2.42 | 0.08 | 14 |
| | Tratamiento con eficiencia >20% y ≤50% (sedimentación física + tratamientos de filtración; por ejemplo, adición de mucílago a la pulpa) | 91 | 1.84 | 0.06 | 10 |
| | Tratamiento con eficiencia >50% y ≤80% (sedimentación física + filtración con tratamientos de hidrólisis; por ejemplo, aplicación de efluentes de Ecomill a la pulpa) | 45 | 0.85 | 0.03 | 5 |
| | Tratamiento con eficiencia >80% y ≤99% (tratamientos químicos con sales de aluminio, tratamientos biológicos con biodigestores, o SMTA) | 15 | 0.27 | 0.01 | 2 |
| | Tratamiento completo del agua sin generación de efluentes (reutilización del efluente tratado) | 0 | 0 | 0 | 0 |
| TOTAL | Promedio nacional estimado - Colombia | 375.4 | 7.4 | 0.3 | 53.1 |

Los valores promedio nacionales indicados en la Tabla 14 se estiman aproximando una participación de tecnología del 35% del procesamiento ecológico por vía húmeda y del 65% de la tecnología convencional con el correspondiente perfil de contaminación del agua (FNC 2018).

El valor de nitrógeno se expresa normalmente en N Kjendall (Norg). En caso de que falten datos de composición detallados, puede ser que el Norg represente el 80% del nitrógeno total (Rodríguez, Quintero Y., Castañeda S, Ospina P, y De Miguel G, 2018).

La proporción DQO/DBO5 promedio de las aguas residuales del café es de 2,07 (72 muestras analizadas, CV = 12,47%) (Rodríguez Valencia, Sanz Uribe, Oliveros Tascón, y Ramírez Gómez, 2015).

Las mediciones en diferentes fincas indican un nivel de 1,8 a 3,6 kg de DBO5 por arroba de CPS para los sistemas de tratamiento convencionales (Rodríguez Valencia et al., 2015), lo que se traduce en 298 – 596 kg DQO por t CPS. Este estudio utiliza un valor de 375,4 kg DQO por t de CPS (vea la Tabla 14). NAMA Colombia proporciona un valor de 202 kg DQO por t de mucílago, lo que equivale a 147,5 kg DQO por t de CPS — mucho más bajo que el promedio usado en este estudio. Una explicación para esto es que las aguas residuales también contienen parte de la pulpa. La pulpa representa alrededor del 74% del total del contenido DQO de los granos de café; esto puede aumentar sustancialmente al contenido total de DQO de las aguas residuales.

NAMA Perú utiliza un valor de 115,1 kg de DBO5 por t de cereza de café. Esto se traduce a 1.168 g DQO/kg CPS, que es significativamente más alto que el valor en la Tabla 14.

En Costa Rica, la DQO es de 18 g por litro de aguas residuales con 22 t de aguas residuales producidas por tonelada de café verde (Adams y Ghaly, 2007b). Esto equivale a 499 kg DQO/t de CPS — ligeramente superior al valor en la Tabla 14.

En algunas plantas tradicionales de post-cosecha en Colombia y de otros países, las aguas residuales se descargan en el cuerpo de agua más cercano sin tener en cuenta las consecuencias ambientales.

La reutilización del agua requiere pericia porque la temperatura, el pH y el nivel de bacterias del agua de procesamiento deben ser monitoreados y mantenidos en niveles óptimos. (Rattan, Parande, Nagaraju, y Ghiwari, 2015). De acuerdo con NAMA Colombia, el 21% de las aguas residuales son tratadas en fosas sépticas (SMAT), 3% en lagunas anaeróbicas, y el 76% se libera al medio ambiente. Se asume que el 22% se libera a los cuerpos de agua, y el 78% es liberado a la tierra junto a las plantas de procesamiento, donde el agua se infiltra en el suelo (Calderón C y Rodríguez V, 2018).

La Tabla 15 especifica las emisiones del tratamiento de aguas residuales hacia el agua, mientras que la Tabla 16 especifica las emisiones del tratamiento de aguas residuales hacia el aire.

Tabla 15: Emisiones de agua estimadas y calculadas (en kg por kg CPS)

| INTERCAMBIO | CANTIDAD (por kg de café pergamino seco) | UNIDAD | COMENTARIOS |
|-----------------------|---|--------|--|
| DQO | 6.28E-02 | kg | Se toma en cuenta la DQO del agua liberada a los cuerpos de agua (17%). |
| DBO | 3.03E-02 | kg | Calculado en base a la relación DQO/DBO (2,07). No se utiliza para evitar un doble recuento. |
| PO4 | 1.20E-04 | kg | Concentración de PO4 en las aguas residuales según la guía de la huella del agua (FNC 2019). 100% del PO4 de WW a los cuerpos de agua, 5% si se aplica al suelo (valores estimados basados en las mediciones de la FNC). |
| Sólidos en suspensión | 2.16E-02 | kg | Concentración de TSS de las aguas residuales según la guía de la huella del agua (FNC 2019). 100% de los TSS de la WW a los cuerpos de agua, 0% si se aplica al suelo. |
| Nitrato (agua) | 6.38E-03 | kg | Las emisiones de nitratos de la aplicación al suelo se calculan sobre la base de un factor HAP de 1,33 kg nitrato/kg N. |

Las emisiones atmosféricas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales se miden en NH₃, CH₄, y N₂O. La cantidad de emisión depende de la metodología de tratamiento (Tabla 16). Los factores de emisión del IPCC 2019 se utilizan para el metano. Estos varían desde 0,009 kg CH₄ por kg DQO para la descarga en el medio ambiente acuático, hasta 0,125 kg Ch₄ por kg DQO para las fosas sépticas. Los factores de emisión en general son más bajos que en NAMA Colombia (basado en IPCC 2006) y NAMA Perú (0,29 kg CH₄ por kg DQO).

La Tabla 16 muestra un resumen general de todos los valores de las emisiones atmosféricas utilizadas en este estudio.

Tabla 16: Emisiones atmosféricas estimadas y calculadas relacionadas con el tratamiento y la eliminación de aguas residuales (en kg por kg de cps)

| EMISIÓN ATMOSFÉRICA | CANTIDAD (por kg de café pergamino seco) | UNIDAD | COMENTARIOS |
|-------------------------|--|--------|---|
| NH ₃ (aire) | 5.25E-04 | kg | Las emisiones de NH ₃ de la aplicación al suelo se calculan sobre la base de un factor HAP de 0,12 kg NH ₃ /kg N. |
| CH ₄ (aire) | 1.39E-02 | kg | Valores del IPCC 2019 para el agua tratada y vertida a los sistemas acuáticos. Se supone que el 59% del WW aplicado al suelo se infiltra sin causar condiciones anaeróbicas (basado en los estudios iniciales de la FNC, que se confirmará en futuros estudios). |
| N ₂ O (aire) | 1.20E-04 | kg | Los ríos, lagos y estuarios son probablemente fuentes de N ₂ O (IPCC 2006). Se utiliza un factor de emisión (EF) de 0,005 kg N ₂ O-N/kg N para las aguas residuales liberadas a los cuerpos de agua (22%). Las emisiones de N ₂ O de la aplicación al suelo se calculan sobre la base de un factor HAP de 0,022 kg N ₂ O/kg N |

3.5.7 Tratamiento de la pulpa y emisiones relacionadas

La pulpa de café se genera durante la etapa de despulpado del fruto y representa, sobre una base húmeda, alrededor del 43,6% del peso de la fruta fresca; es el principal subproducto del proceso de beneficiación.

La pulpa se almacena normalmente en una planta de procesamiento durante unos meses. Las emisiones de CH₄ y N₂O se consideran como compostaje, con valores de emisión del IPCC (2006) ya que estas no se miden en Colombia. Las emisiones de la aplicación de la pulpa durante el cultivo se consideran en el conjunto de datos sobre el cultivo del café.

Tabla 17: Emisiones atmosféricas estimadas y calculadas relacionadas con el tratamiento de la pulpa (en kg por kg cps)

| Emisión atmosférica | CANTIDAD (por kg de café verde) | UNIDAD |
|------------------------|---------------------------------|--------|
| CH ₄ (air) | 8.55E-03 | kg |
| N ₂ O (air) | 5.13E-04 | kg |

Según las RCHAP y las RCP del espresso y el café Moka (Environdec, 2018, 2019; RCHAP del café, 2016), se deben tener en cuenta las emisiones de metano biogénico durante el cultivo del café y el procesamiento post-cosecha. Para calcular las emisiones de metano biogénico durante el procesamiento post-cosecha (a partir de la descomposición de la pulpa de café verde), se deben asumir los siguientes datos: 576 kg de pulpa de cereza por t de granos de café verde; 70% agua en las cerezas de café; 54% C en las cerezas de café (FNC, 2015). Esto lleva a un contenido total de C en la pulpa de 93,3 kg C/t de granos de café verde. Debe asumirse que el 5% de este carbono se emite como CH₄ (Hermann, 2011). Esto nos lleva a un valor de 6,22 kg CH₄/t de café verde, que es similar a los 8,5 kg CH₄/t cps calculado en este estudio (calculado para Colombia en la Tabla 17).

En el estudio de NAMA Colombia, las emisiones de la descomposición de la pulpa sólo se contabilizan en el 21% de las fincas donde la pulpa es compostada. Para el restante 79%, no se asumen emisiones de metano por la descomposición de la pulpa, lo que explica parcialmente la diferencia en los resultados de la huella de carbono (sección 4.5).

3.6 TRILLA DE CAFÉ

3.6.1 Introducción

La trilla consiste en separar o descascarillar el grano de café del pergamino para obtener café verde, también llamado café trillado. Se utilizan diferentes dispositivos según el tipo de grano y su humedad, pero el principio de funcionamiento sigue siendo el mismo: la fricción (DANE, s.f.). Después de la trilla, el café verde está listo para ser procesado como café instantáneo o tostado y molido (Colcafé, 2018). En esta guía se utilizan datos promediados de tres años de nueve compañías de trilla de café de Almacafé. Los sitios de trilla de café se encuentran en Armenia (Risaralda), Cúcuta (Norte Santander), Manizales (Caldas), Medellín (Antioquia), Garzón (Huila), Pitalito (Huila), Pasto (Nariño), Santa Marta (Magdalena), y Soacha (Cundinamarca).

3.6.2 Balance de masa de la trilla de café

La Tabla 18 enumera el balance de masa promedio de la trilla de café en Colombia

Tabla 18: Balance de masa de la trilla de café (Montilla, 2006)

| BALANCE DE MASA | CANTIDAD | UNIDAD | HUMEDAD |
|-----------------------------|------------|----------|-------------|
| Entrada total (seca) | 887 | g | 0.0% |
| Café pergamino seco | 1.000 | g | 11.3% |
| Café pergamino seco (seco) | 887 | g | 0.0% |
| Salida total (seco) | 887 | g | 0.0% |
| Pergamino/casco (húmedo) | 206 | g | 10.5% |
| Pergamino/casco (seco) | 184 | g | 0.0% |
| Café verde | 794 | g | 11.5% |
| Café verde (seco) | 703 | g | 0.0% |

3.6.3 Balance hídrico

La extracción promedio de agua según Almacafé es de 0,009 litros por kg de café verde producido (Almacafé, 2019). Se supone que el 80% de esta agua se libera, mientras que el 20% se consume durante el procesamiento (estimación de los expertos).

3.6.4 Requerimientos de energía

La Tabla 19 enumera el consumo promedio de energía y electricidad según Almacafé.

Tabla 19: Requerimientos de energía para la trilla

| FASE | | CANTIDAD (por kg de café verde) | UNIDAD | COMENTARIOS |
|---------|--------------|------------------------------------|--------|-------------------------------------|
| Energía | Electricidad | 0.052 | kWh | Promedio de los sitios de Alma café |
| | Diesel | 0.0013 | MJ | |

3.6.5 Transporte

En esta guía asumimos una distancia promedio de 194 km para transportar el café de las cooperativas a la trilladora (datos promedio de Almacafé, 2019).

3.6.6 Emisiones de agua

La Tabla 20 enumera los datos de calidad del agua derivados de Almacafé.

Tabla 20: Emisiones de agua del proceso de trilla

| FASE | INTERCAMBIO | CANTIDAD (por kg de café verde) | UNIDAD |
|-------------------|--------------|------------------------------------|--------|
| Emisiones de agua | Agua al aire | 1.79E-05 | m3 |
| | Agua al agua | 7.18E-05 | m3 |
| | DQO | 9.37E-06 | kg |
| | DBO | 3.07E-03 | kg |
| | SST | 3.54E-03 | g |

3.7 FABRICACIÓN

Hay dos procesos de fabricación distintos: uno para el café molido y tostado, y otro para el café instantáneo. La fabricación debe incluir todos los insumos de materia prima y energía pertinentes que se requieren para producir café tostado y molido o instantáneo, así como los procesos y emisiones pertinentes en la planta de fabricación.

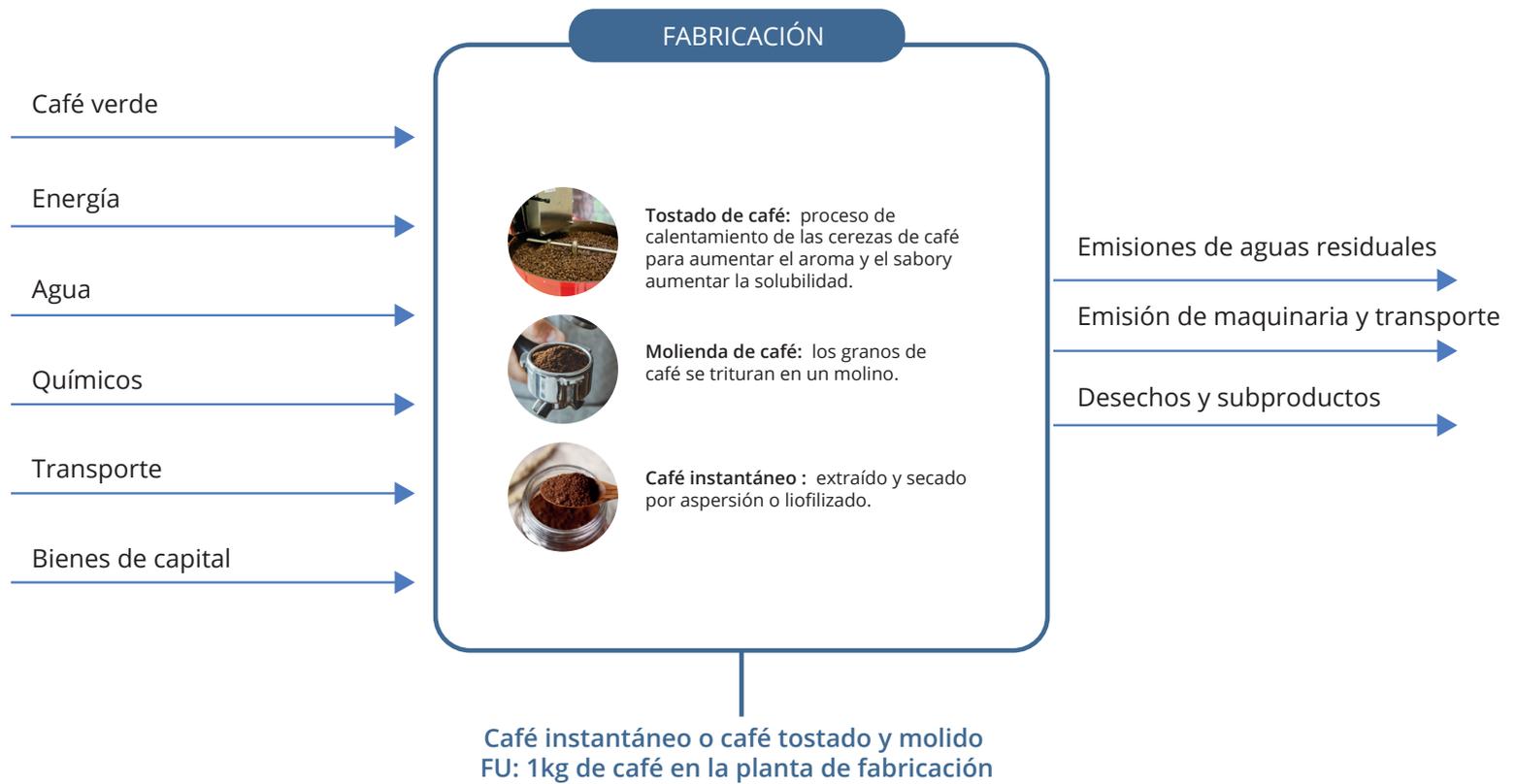


Figura 18: Proceso de fabricación de café

3.7.1 Café tostado y molido

En el caso del café tostado y molido, los procesos a tener en cuenta incluyen la manipulación y limpieza del café verde, la torrefacción, la desgasificación, la molienda, el llenado y el empaquetado, y el acondicionamiento.

Limpieza y clasificación: El café verde proviene de trilladoras, donde el café se limpia utilizando una serie de cribas con imanes que eliminan piedras, hebras y otros contaminantes. Se utiliza un ciclón para capturar el polvo que luego se desecha (mediante el compostaje o en un vertedero sanitario). El café se transporta según las necesidades de la fábrica, se pesa y se pasa a otra criba que utiliza la vibración para eliminar el polvo y las impurezas no atrapadas en los procesos anteriores. Luego se desecha el polvo y las impurezas, nuevamente a través del compostaje o de los vertederos.

Tostado: Los granos de café se exponen a altas temperaturas durante 10-15 minutos (los tambores y las tostadoras de lecho fluidizado suelen utilizar gas natural). Durante este proceso, los granos de café pierden alrededor del 20% de su peso debido en gran parte a la evaporación de la humedad y, en menor medida, a pirólisis de algunos componentes - generando CO₂. El grano aumenta su volumen hasta un 20%

El enfriamiento se hace al final del proceso de tostado. El café se enfría rápidamente con agua para cerrar los poros y evitar que pierda su aroma.

Los granos tostados se almacenan en silos de desgasificación donde el café se deja reposar, termina de enfriarse y libera las cantidades finales de CO₂. Una porción de los granos tostados se empaqueta y se envían a diferentes mercados para su venta. Como paso final, el café se empaqueta en material laminado (polietileno y aluminio) para los consumidores.

Molienda: Después de la torrefacción y la desgasificación, los granos de café se trituran en un molino cuyo nivel de molienda se calibra según el tamaño de partícula deseado. Parte de este café molido es empaquetado y enviado a diferentes mercados para su venta. Al igual que el café tostado, el café molido también se empaqueta en material laminado (polietileno y aluminio) para los consumidores.

3.7.2 Café instantáneo

En el caso del café instantáneo, los procesos a tener en cuenta incluyen la manipulación y limpieza del café verde, el tostado y la molienda, la extracción, el llenado y el empaquetado, y el acondicionamiento. Durante la producción de café instantáneo, se producen posos de café como residuos del proceso de producción: los posos de café se queman y se utilizan para generar calor que luego se reutiliza directamente en el proceso de fabricación. Como son desechos, los impactos asociados con la producción de café instantáneo no deben considerarse en un análisis, pero deben incluirse las emisiones relacionadas con la quema.

Extracción: Se basa en presión de vapor controlada entre 10 a 12 bares a una temperatura de 185° C, tiempo y flujo, para permitir que el café molido entre en contacto con el agua caliente. En este proceso, los posos de café se obtienen como un subproducto y se someten a procesos de prensado y secado para su utilización como combustible para las calderas.

Café instantáneo secado por aspersion y liofilizado: Hay dos procesos para producir café soluble:

- **Secado por aspersion:** Una parte del extracto concentrado se expone a un flujo de aire ascendente a altas temperaturas. El estricto control de la temperatura permite producir café soluble atomizado conservando la mayoría de los componentes aromáticos y volátiles del extracto de café. Para este proceso, se utiliza gas natural o gasolina como respaldo.

- **Liofilizado:** El extracto de café concentrado sigue un nuevo proceso llamado “formación de espuma”, en el que se incorpora aire a presión. Luego, usando tiras enfriadas, el extracto de espuma se introduce continuamente en una cámara de refrigeración a temperaturas bajo cero. Se utilizan equipos de refrigeración para congelar el extracto espumoso, utilizando amoníaco como refrigerante. El extracto solidificado se granula y clasifica. Durante la liofilización, se extrae agua del extracto congelado y granulado por medios físicos.

3.7.3 Datos predeterminados para la fabricación

La Tabla 21 proporciona datos predeterminados para el café instantáneo (liofilizado y secado por aspersion) así como para la producción de café tostado y molido de diferentes fuentes.

Tabla 21 Datos predeterminados para la fabricación

| | | | CAFÉ | CAFÉ INSTANTÁNEO SECADO POR ASPERSIÓN | | | CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO | | |
|-------------------|------------------------|--------|-----------|---------------------------------------|-----------|-----------------------|-----------------------|------------|------------|
| FASE | INTERCAMBIO | UNIDAD | EMPRESA A | (HUMBERT ET AL. 2009) | EMPRESA B | (HUMBERT ET AL. 2009) | EMPRESA C | EMPRESA D | EMPRESA E |
| Café | Café verde | kg | | 2.2 | 2.07 | 1.23 | 1.19 | 1.23 | 1.24 |
| Energía | Electricidad | kWh | 6.3 | 2.3 | 1.49 | 0.14 | 0.12 | 0.19 | 0.19 |
| | Gas natural | m3 | 2.02 | 0.8 | 0.62 | 0.07 | 0.10 | 0.03 | 0 |
| | Posos de café quemados | kg | 0.82 | 1.3 | 0.91 | n/a | n/a | n/a | n/a |
| | Diesel | kg | 0.005 | 0 | 0.12 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Aceite combustible | kg | 0.003 | 0 | | 0 | | | |
| | GLP | kg | 0 | 0 | 0.01 | 0 | 0 | 0 | 0.0327 |
| Agua | Agua dulce | l | 4.3 | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Agua potable | l | 92.1 | 19 | 26.7 | 0.26 | 0.55 | 0.41 | 0.32 |
| Químicos | Amoniaco | g | 3.7 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| | Bicarbonato | g | 1.7 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| | Clarex 1075 | g | 1.8 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| | Cloruro de litio | g | 0.1 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| | Hipoclorito de Sodio | g | 3.3 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| | NaOH escamas | g | 6.8 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| | Sal industrial | g | 13.6 | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a | n/a |
| | R134A | | n/a | n/a | 6.8E-08 | n/a | n/a | n/a | n/a |
| Emisiones de agua | Aguas residuales | l | 40.5 | | 20.2 | | 0.0 | 0.3 to WWT | 0.3 to WWT |
| | Agua evaporada | l | 55.9 | | 6.5 | | 0.55 | 0.1 | 0.1 |
| | DQO | kg | 0.06769 | | | | | | |
| | N | kg | 0.00403 | | | | | | |
| | P | kg | 0.000045 | | | | | | |
| Productos | kg café | kg | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

3.8 EMPAQUE

3.8.1 Empaque post-cosecha

El café pergamino seco se empaca en sacos de fique de 60 kg llamados “sacos de tres rayas” que pesan 650 g cada uno. La producción de empaques de café no depende directamente de ninguna de las empresas que conforman la cadena agroindustrial del café; sin embargo, se deben considerar las emisiones secundarias ya que éstas son intrínsecas al café pergamino seco listo para la venta.

3.8.2 Empaque posterior

Según las RCHAP para el café, se deben utilizar los datos primarios/específicos del sitio sobre el empaquetado primario y secundario si se especifica una marca de café (RCHAP para el café, 2016). El borrador de las RCHAP para el café proporciona valores predeterminados para los empaquetados primarios, secundarios y terciarios de los frascos de vidrio de café instantáneo, las bolsas laminadas para el café tostado y molido, y las cápsulas para el café tostado y molido.

Tabla 22: Datos empaque de frascos de vidrio para café instantáneo y bolsas de laminado flexibles para café tostado y molido

| EMPAQUETADO | MATERIAL | UNIDAD | FRASCO DE VIDRIO PARA CAFÉ INSTANTÁNEO (valores por 100 g de café) | BOLSA LAMINADA FLEXIBLE PARA CAFÉ TOSTADO Y MOLIDO (valores por 100 g de café) |
|------------------------|----------------------------------|--------|---|---|
| | | | (Humbert et al. 2009) | (Humbert et al. 2009) |
| Empaquetado primario | Vidrio | g | 242 | |
| | Etiqueta (papel) | g | 0.9 | |
| | Tapa (PP) | g | 9.2 | |
| | Bolsa laminada (PET/alu/LDPE) | g | | 9.4 |
| | Sello y membrana de cierre (PE) | g | 1.1 | |
| | Sello y membrana de cierre (Alu) | g | 0.2 | |
| Empaquetado secundario | Cartón corrugado | g | 3.3 | 16.3 |
| | LDPE | g | 1.5 | 0.5 |

3.9 DISTRIBUCION

El transporte asociado a cada etapa del ciclo vital debe considerarse sobre la base de los datos primarios. Al modelar se deben utilizar datos primarios sobre la cantidad de producto transportado, el tipo de transporte (p. ej., ferrocarril o camión, tamaño del camión, transporte a temperatura ambiente, refrigerado o congelado, tren propulsado por electricidad o diésel) y la distancia promedio entre un centro de distribución y un minorista. En los casos en que no se disponga de datos específicos, se pueden utilizar los datos predeterminados:

- **Transporte de café verde en Colombia:** transporte de la finca a la planta de post-procesamiento (capítulo 3.5.5), desde el post-procesamiento hasta la trilla (capítulo 3.6.5), y a los centros de fabricación en Colombia (capítulo 3.7.3)
- **Transporte de café verde para su exportación al productor** (basado en el proyecto de recomendaciones de las RCHAP sobre el café): 1.500 km en camión desde la finca hasta el puerto de embarque; 12.600 km en barco desde el puerto de embarque hasta el productor y 1.500 km en camión (Quantis, 2016)
- **Trasporte del productor al punto de venta** basado en las recomendaciones del borrador de las RCHAP de café: 2.000 km en camión > 32 t (Quantis, 2016)
- **Trasporte del punto de venta al consumidor** basado en el proyecto de recomendaciones de las RCHAP de café: 4 km en coche y el transporte del consumidor (típicamente coche de pasajeros) es por km. En un contexto de la HAP, la HA (huella ambiental) del transporte de consumo se basa en el volumen y para el coche de pasajeros el volumen máximo considerado es de 0,2 m³ (alrededor de un tercio de un baúl de 0,6 m³).

El transporte de un centro de distribución a otro (si aplica) debe ser incluido basado en datos primarios para el número de productos transportados, la distancia entre los centros de distribución, y el modo de transporte utilizado (Quantis, 2016).

Las RCP del espresso también proporcionan datos de transporte predeterminados:

- Transporte desde la planta de fabricación hasta el centro de distribución: 1.000 km en camión (>32 t)
- Transporte del centro de distribución al punto de venta: 50 km en camión (16 a 32 t)
- Transporte desde el punto de venta hasta la casa: 1 km en coche de gasolina, atribuyendo el 1% de la compra al paquete de café (se pueden preparar varias bebidas de café con un solo paquete de café)

3.10 USO

3.10.1 Tipos de café

Los tipos de café pueden clasificarse por tamaño y preparación. Según el borrador de las RCHAP para el café, los tamaños se clasifican como café pequeño (40 mL), largo (120 mL) y grande (240 mL).

La cantidad de café utilizada por taza y la proporción de desechos depende de la preparación. Por ejemplo, se puede preparar un café negro pequeño con una máquina de cápsulas, una máquina de café espresso que usa café molido o una cafetera Moka. Igualmente, se puede preparar un café con leche utilizando café instantáneo o de filtro.

Las empresas deberían utilizar datos específicos para los productos de café que se venden en el mercado (p. ej., las cápsulas). La Tabla 23 proporciona valores predeterminados que se pueden utilizar en los casos en que una empresa no disponga de información precisa sobre el comportamiento de los consumidores.

Tabla 23: Cantidad de café y agua por porción, proporción de pre-desecho y proporción de desperdicio para hacer una bebida a base de café basada en el borrador de las RCHAP del café (Quantis, 2016) y las RCP del Moka y Espresso.

| TIPO DE CAFÉ | | CAFÉ NEGRO PEQUEÑO (40ml) | | CAFÉ NEGRO LARGO (120ml) | | CAFÉ NEGRO GRANDE (240ml) | | PROPORCIONES DE DESECHO |
|-----------------------|---|---------------------------|-----------|--------------------------|-----------|---------------------------|-----------|---|
| | | CAFÉ (g) | AGUA (ml) | CAFÉ (g) | AGUA (ml) | COFFEE (g) | AGUA (ml) | |
| Café instantáneo | Auto-porcionado (RCHAP) | - | - | 2 | 120 | 4 | 240 | Se hierve el doble de la cantidad de agua necesaria (Humbert et al., 2009). Se pierde un 5% del producto a lo largo de la cadena de suministro, antes del consumo. |
| Café tostado y molido | Café de filtro (RCHAP) | - | - | 7 | 120 | 14 | 240 | Borrador de las RCHAP del café: 15% de pérdidas para el consumidor en el hogar (Keurig, 2009), 33% (Humbert et al., 2009) para todos los demás casos (p. ej., el catering). Se pierde un 5% del producto a lo largo de la cadena de suministro, antes del consumo. |
| | Café Moka (RCHAP) | 5.5 | 40 | - | - | - | - | |
| | Café Moka (RCP de Moka) | 14-19 | 35-50 | | | | | |
| | Café de prensa francesa (RCHAP) | - | - | 7 | 120 | 14 | 240 | RCP del Moka y el Espresso: Se supone que la pérdida de café molido durante la distribución y preparación del café es del 0%. |
| | Máquina de café totalmente automática (RCHAP) | 9 | 40 | - | - | - | - | 0% de pérdidas para el consumidor en casa (porque se prepara una taza de café a la vez). |
| | Máquina de espresso (RCP de espresso) | 5-10 | 13-50 | | | | | RCP de Espresso: se supone que el consumo de agua es la cantidad de agua procesada en las bebidas de café (p. ej., 40 mL más una adición del 50% para tomar en cuenta las aguas residuales (ej, 40 + 20 = 60 mL)3. |
| | Café turco (RCHAP) | 6 | 40 | - | - | - | - | 15% de las pérdidas para el consumidor en el hogar (Keurig, 2009), 33% (Humbert et al., 2009) para todos los demás casos (p. ej., el catering). |
| Cápsula de café | Café tostado y molido pre-portionado (RCHAP) | 5.3 | 40 | - | - | - | - | 0% de pérdidas para el consumidor en casa (porque se prepara una taza de café a la vez). |

Se deben incluir los desechos en la preparación del café. Dado que el desperdicio depende del comportamiento del consumidor y por lo tanto es difícil de cuantificar, el borrador de la HAP de café proporciona parámetros predeterminados (vea la Tabla 23) que se pueden utilizar a menos que se disponga de datos específicos.

3.10.2 Producción, uso y mantenimiento de las máquinas de café y hervidores

Según el borrador de las RCHAP del café, las máquinas de café deben ser modeladas usando datos primarios si se especifica la marca de una máquina en el estudio. Si no se especifica una marca, las máquinas de café deben ser modeladas utilizando datos semi específicos como los proporcionados en la Tabla 24.

Tabla 24: Demanda de electricidad (en Wh por taza como se describe en el capítulo anterior) de los diferentes métodos de preparación del café basados en el borrador de las RCHAP del café (Quantis, 2016)

| TIP ODE CAFÉ | | PEQUEÑO | LARGO | GRANDE | COMENTARIOS |
|-----------------------|--|---------|---------|---------|--|
| | | Wh/TAZA | Wh/TAZA | Wh/TAZA | |
| Café instantáneo | Auto-porcionado (RCHAP) | | 15 | | Valores de RCHAP |
| Café tostado y molido | Café de filtro (RCHAP) | | 33 | | Valores de RCHAP |
| | Máquina de café totalmente automática (RCHAP) | | 26 | | Valores de RCHAP |
| | Máquina de espresso | 33.3 | | | 800 vatios para producir cuatro tazas de café en 10 minutos. Valores de EnergyUseCalculator.com (2019) |
| | Café tostado y molido en cápsulas pre-portionado (RCHAP) | | 25 | 74 | Valores de RCHAP |

Según la RCP del espresso, la electricidad debe determinarse según la norma EN 60661:2014-05, "Métodos para medir el rendimiento de las cafeteras eléctricas domésticas" (CENELEC, 2014).

Los datos predeterminados para los hervidores, el filtro de goteo, las máquinas de cápsulas de café y la producción y mantenimiento de las máquinas completamente automáticas están disponibles en el borrador de las RCHAP del café. Se deben utilizar estos datos a menos que se especifique la marca de la máquina en el estudio (en cuyo caso se deben utilizar datos primarios). La energía para ensamblar las diferentes partes de una máquina de café puede ser insignificante y debe excluirse.

3.10.3 Producción y lavado de tazas y otros platos

Según las RCHAP para el lavado de tazas, platillos y cucharas, se debe asumir que las tazas y otros platos se lavan el 50% del tiempo en un lavavajillas, y el 50% a mano.

En Colombia, se puede asumir que todas las tazas que se usan en casa se lavan a mano.

Para el lavado a mano, a menos que se disponga de información específica, se deben utilizar los siguientes valores predeterminados: 0,5 L de agua a 40°C y 0,2 g de detergente para una taza. El agua se calienta a través de un calentador de gas natural con una eficiencia media del 80%.

Se deben incluir los impactos asociados con la producción, entrega, uso y fin de la vida útil del lavavajillas si aplica; los datos predeterminados están disponibles en el borrador de las RCHAP del café y las RCHAP v6.3.

Se debe incluir la producción de la taza; los parámetros del borrador para las diferentes tazas se proporcionan en el borrador de las RCHAP del café.

3.10.4 Otros ingredientes

El café viene en muchas formas, y se deben incluir ingredientes adicionales como el azúcar o la leche si se utiliza. De acuerdo con las RCHAP, todos los ingredientes deben ser modelados a lo largo de su ciclo de vida completo usando reglas de modelado consistentes como las establecidas para el café verde y el resto del ciclo de vida de las bebidas a base de café. El borrador de las RCHAP del café proporciona los siguientes valores predeterminados:

- Azúcar: 5 g/taza
- Leche: 12 mL/taza para leche fría y 60 mL/taza para leche caliente
- Leche en polvo: 2 g/taza
- Crema: 12 g/taza
- Cacao en polvo: 0,5 g/taza

En el borrador de las RCHAP del café se ofrecen más detalles

3.II FIN DE LA VIDA ÚTIL

La etapa de fin de la vida útil incluye el tratamiento de los posos de café, las máquinas y toda la vajilla, incluido su empaquetado, que se produce en la fase posterior. Se debe utilizar la "Fórmula de la Huella Circular" (FHC) para tratar la multifuncionalidad en situaciones de reciclaje, reutilización y recuperación de energía. La fórmula considera la carga y los beneficios del reciclaje de materiales, la recuperación de energía y la eliminación final. Las RCHAP v6.3 explican la fórmula en detalle.

4. EVALUACIÓN DEL IMPACTO E INTERPRETACIÓN

4.1 CONCEPTO GENERAL DEL ANÁLISIS DEL IMPACTO

La cadena de valor del café puede abarcar miles de flujos elementales, cada uno con sus propios impactos ambientales potenciales. La magnitud y la importancia de los posibles impactos se evalúan en la etapa de análisis del impacto (ISO, 2006d).

El primer paso en esta etapa es seleccionar las categorías de impacto en función del objetivo y el alcance de un estudio (vea el capítulo 2.8). Luego, los impactos se evalúan a través de cuatro etapas: clasificación, caracterización, normalización y ponderación.

Clasificación: Todas las sustancias se clasifican en distintas categorías de acuerdo con su impacto ambiental (p. ej., las emisiones de CO₂ se clasifican como contribuyentes al calentamiento global)

Caracterización: Todas las sustancias se multiplican por un coeficiente de caracterización que refleja su contribución relativa a un impacto ambiental, cuantificando el impacto de un producto o servicio en cada categoría. Los coeficientes de caracterización de la HAP están disponibles en: <https://eplca.jrc.ec.europa.eu/LCDN/developerEF.xhtml> (Este estudio utiliza la HA 2.0 - la fase piloto de la HAP).

Normalización: La normalización es una fase opcional de la evaluación del análisis del ciclo de vida (AICV) que permite

expresar los resultados después de la fase de caracterización utilizando un impacto de referencia común. Dicho de otra manera, la normalización responde a la pregunta: ¿Cuál es la magnitud de los impactos de un producto en comparación con la referencia seleccionada? En la HAP, los impactos de referencia se basan en los niveles de emisión actuales, y se dispone de coeficientes de normalización tanto para las emisiones mundiales totales como por persona (predeterminado en la HAP).

Ponderación: Al igual que la normalización, la ponderación es un paso opcional que permite dar prioridad a los indicadores de análisis del impacto. La ponderación responde a la pregunta: ¿Qué categorías de impacto son las más relevantes para una empresa o producto? En la HAP, la ponderación cambia de una ponderación equitativa (todas las categorías de impacto son igualmente importantes) a factores basados en una encuesta de un panel de expertos. Obsérvese que las tres categorías de impacto relacionadas con la toxicidad se excluyen temporalmente de la ponderación a fin de identificar las categorías de impacto, las etapas del ciclo de vida, los procesos y los flujos elementales más pertinentes.

En la Tabla 25 a continuación, se presentan los coeficientes de normalización y ponderación de la HA v2. Obsérvese que los coeficientes de caracterización, normalización y ponderación se actualizan con frecuencia; se debe utilizar la versión más reciente.

Tabla 25: Coeficientes de ponderación y normalización globales de la Huella Ambiental (EF) v2

| CATEGORÍA DE IMPACTO | MODELO | UNIDAD | FN GLOBAL (2010) PARA HA POR PERSONA | WFS FINALES CON TOXICIDAD (INCLUYENDO ROBUSTEZ)) | WFS FINALES SIN TOXICIDAD (INCLUYENDO ROBUSTEZ) |
|--|--|-----------------------|--------------------------------------|--|---|
| Cambio climático | IPCC, 2013 | kg CO ₂ eq | 7.76E+03 | 21.06 | 22.19 |
| Agotamiento del ozono | Organización Mundial de Meteorología (WMO), 1999 | kg CFC-11 eq | 2.34E-02 | 6.31 | 6.75 |
| Toxicidad humana, cáncer | USEtox (Rosenbaum et al., 2008) | CTUh | 3.85E-05 | 2.13 | - |
| Toxicidad humana, sin cáncer | USEtox (Rosenbaum et al., 2008) | CTUh | 4.75E-04 | 1.84 | - |
| Material particulado e inorgánicos respiratorios | Fantke et al., 2016 | Muerte | 6.37E-04 | 8.96 | 9.54 |

| CATEGORÍA DE IMPACTO | MODELO | UNIDAD | FN GLOBAL (2010) PARA HA POR PERSONA | WFS FINALES CON TOXICIDAD (INCLUYENDO ROBUSTEZ) | WFS FINALES SIN TOXICIDAD (INCLUYENDO ROBUSTEZ) |
|---|---|-----------------------------------|--------------------------------------|---|---|
| Radiación ionizante | Frischknecht et al., 2000 | kBq U-235 eq. | 4.22E+03 | 5.01 | 5.37 |
| Formación fotoquímica de ozono | Van Zelm et al., 2008, as applied in ReCiPe, 2008 | kg NMVOC eq. | 4.06E+01 | 4.78 | 5.1 |
| Acidificación | Posch et al., 2008 | mol H+ eq | 5.55E+01 | 6.2 | 6.64 |
| Eutrofización terrestre | Posch et al., 2008 | mol N eq | 1.77E+02 | 3.71 | 3.91 |
| Eutrofización de agua dulce | Struijs et al., 2009 | kg P eq | 2.55E+00 | 2.8 | 2.95 |
| Eutrofización marina | Struijs et al., 2009 | kg N eq | 2.83E+01 | 2.96 | 3.12 |
| Uso del suelo | Bos et al., 2016 (based on) | Adimensional | 1.33E+06 | 7.94 | 8.42 |
| Ecotoxicidad del agua dulce | USEtox (Rosenbaum et al., 2008) | CTUe | 1.18E+04 | 1.92 | - |
| Uso del agua | Agua Disponible Remanente 100 (basado en; UNEP, 2016) | m3 de agua eq. al agua necesitada | 1.15E+04 | 8.51 | 9.03 |
| Uso de los recursos (fósiles) | ADP fossils (van Oers et al., 2002) | MJ | 6.53E+04 | 8.32 | 8.92 |
| Uso de los recursos (minerales y metales) | ADP ultimate reserve (van Oers et al., 2002) | kg Sb eq | 5.79E-02 | 7.55 | 8.08 |

Consejos y trucos: Software de LCA

Los resultados del impacto normalmente se calculan utilizando el software de LCA.

SimaPro: SimaPro fue desarrollado por PRé Sustainability y es uno de los principales softwares de LCA en el mercado. Está adaptado al formato de datos deecoinvent y a la mayoría de las otras bases de datos de ICV; éste implementa las metodologías de AICV más utilizadas y con mayor apoyo científico. Proporciona un alto nivel de flexibilidad y transparencia, permitiendo un modelado refinado y una interpretación completa. Esta herramienta ofrece una representación gráfica del ciclo de vida del proceso o producto 71 analizado usando los diagramas de Sankey, lo que permite al usuario visualizar la contribución de cada proceso al impacto total. SimaPro también permite hacer comparaciones entre productos y procesos. Los resultados se pueden exportar fácilmente a Excel.

- Consejos y trucos (videos): <https://www.pre-sustainability.com/simapro-tips-tricks>
- Tutorial: <https://www.pre-sustainability.com/simapro-tutorial>
- Tutorial en español: <http://simapro.mx/ACVeti.html>
- PREGUNTAS FRECUENTES: <https://www.pre-sustainability.com/faq>

GaBi: Fue desarrollado por thinkstep/Sphera y es ampliamente utilizado por la industria. Se basa en la amplia — pero principalmente agregada — base de datos de GaBi ICV. Esto significa que en lugar de poder

ver las contribuciones en términos de cada proceso unitario, todos los flujos se agrupan en categorías de flujo elementales, lo que no permite conocer los procesos contribuyentes.

- Tutorial: <https://www.gabi-software.com/support/gabi-learning-center/gabi-learning-center/>
- PREGUNTAS FRECUENTES: <https://www.gabi-software.com/support/gabi-faq/>

OpenLCA: Este software libre y de código abierto está coordinado por GreenDelta (<http://www.openlca.org/>). Ofrece cierta flexibilidad de uso y es compatible con la mayoría de los formatos de datos y bases de datos de ICV. Sus principales debilidades son la falta de apoyo al usuario por parte de GreenDelta, y anuncios regulares de nuevas características que en realidad no están lo suficientemente desarrolladas para ser usadas. Sin embargo, el software permite visualizar todo el ciclo de vida del proceso, intercambiar información entre Ecospold o ILCD, y exportar los resultados a Excel fácilmente.

Consejos y trucos (videos): <https://www.youtube.com/channel/UCGiahq1YZWK4pRXDvXuli6w/videos>

Tutorial: <http://www.openlca.org/learning/>

PREGUNTAS FRECUENTES: <https://nexus.openlca.org/>

4.2 INTERPRETACIÓN DEL CONCEPTO GENERAL

En la fase de interpretación, se explican y/o traducen los resultados de la huella ambiental. La interpretación suele incluir los siguientes aspectos, que se describen con más detalle en las siguientes secciones del presente capítulo:

Análisis de puntos críticos: identificación de las etapas del proceso, procesos y flujos que más contribuyen a una categoría determinada de huella ambiental

Identificación de las categorías de impacto pertinentes

- Análisis comparativo: en los casos en que se compara el

rendimiento ambiental de los productos y servicios que analizan se las mismas funciones (p. ej., diferentes fincas cafeteras que producen cerezas de café) o si se comparan los resultados absolutos con una referencia conocida a efectos de comunicación (p. ej., la huella de carbono de una taza de café es como conducir x km con un coche de pasajeros).

- **Calidad de los datos e incertidumbre:** considera los controles de integridad, sensibilidad y consistencia
- **Conclusiones, limitaciones y recomendaciones**

4.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS CRÍTICOS DEL MEDIO AMBIENTE

El análisis de puntos críticos incluye la identificación de las etapas del ciclo de vida, los procesos y los flujos de inventario que más contribuyen a un problema ambiental determinado.

La Figura 19 ilustra las contribuciones del cultivo del café, el procesamiento post-cosecha y la trilla en Colombia a las categorías de impacto de la HAP. La fase de cultivo domina el impacto ambiental de la producción de café. En la mayoría de las categorías de impacto analizadas, el cultivo de café representa casi el 80% del total de los impactos. Sin embargo, el proceso post-cosecha domina las contribuciones a la toxicidad humana (sin cáncer), que representan casi el 60% de este impacto total. Además, el proceso post-cosecha contribuye a la formación de ozono fotoquímico y, en un pequeño porcentaje, a las categorías de impacto del cambio climático y del material particulado.

En la mayoría de las categorías de impacto, la trilla contribuye con menos del 10% del impacto ambiental del café verde.

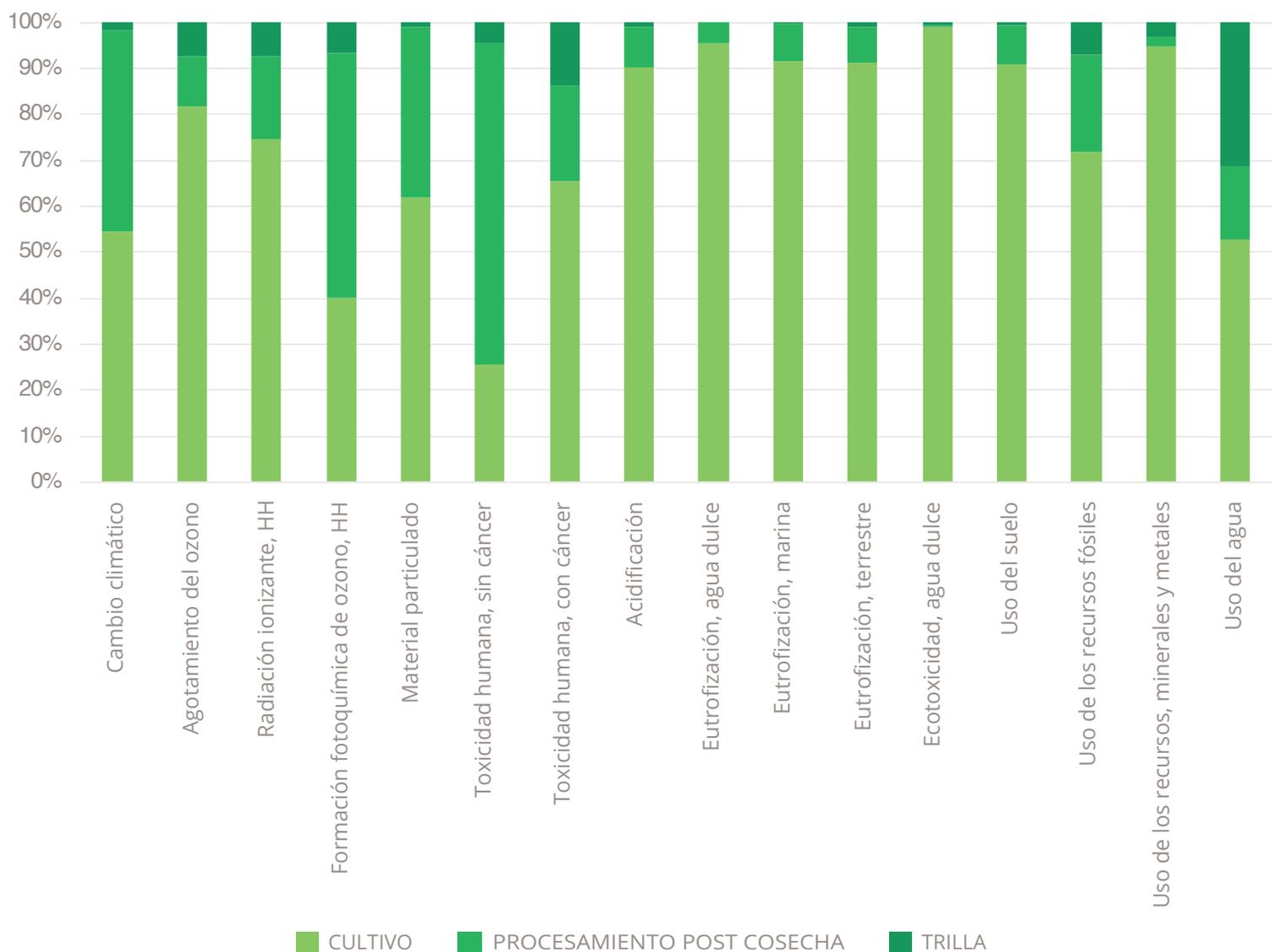


Figura 19: Análisis del punto crítico de la producción de café verde por etapa del ciclo de vida

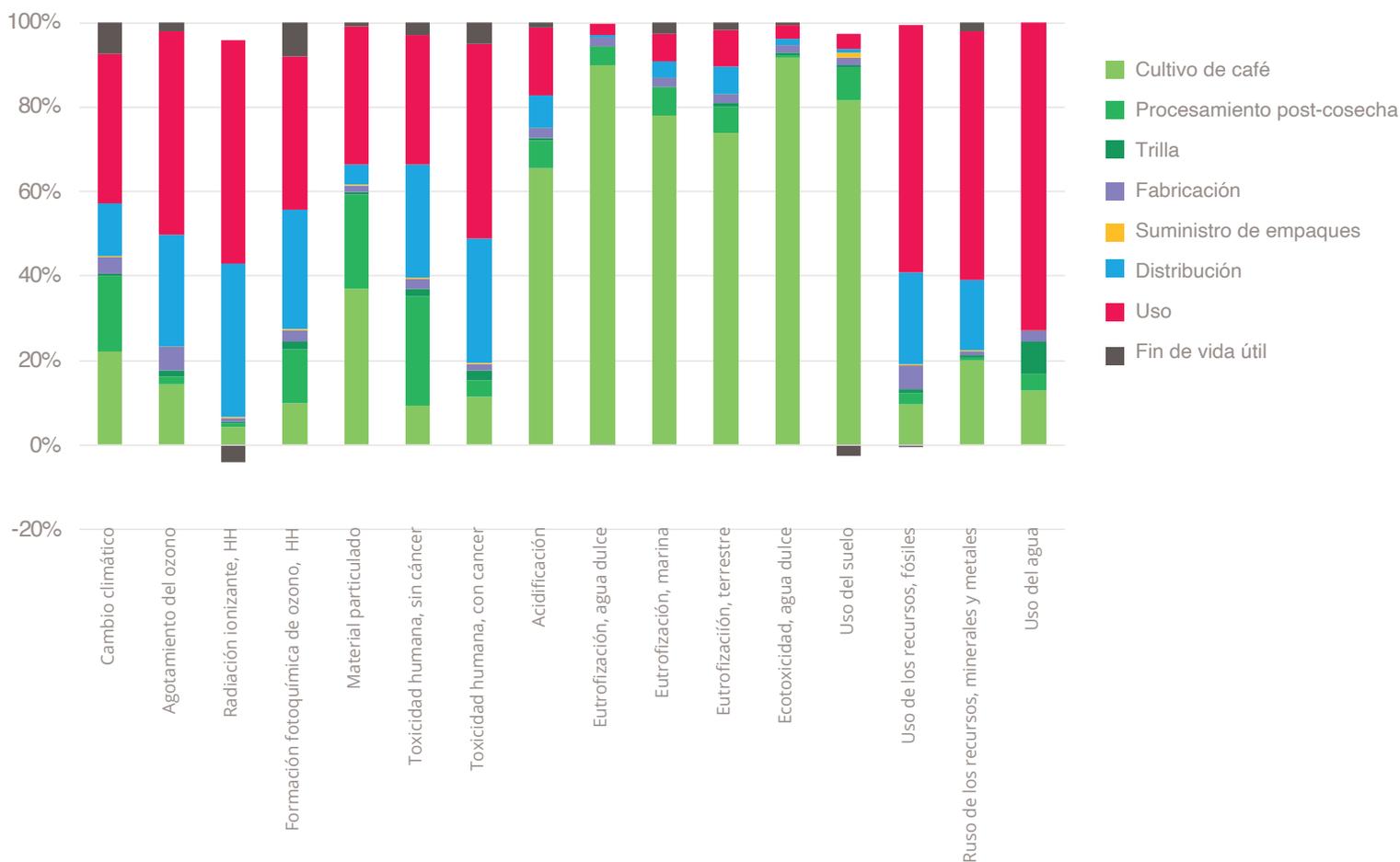
La Figura 20 ilustra el análisis del punto crítico de una taza de café Arábica filtrado por etapa del ciclo de vida para las categorías de impacto de la HAP. La fase de cultivo domina las contribuciones a la acidificación, la eutrofización, la ecotoxicidad y el uso de la tierra, que representan casi el 70% del impacto total. La fase de cultivo también contribuye entre un 10 y un 25% al agotamiento del ozono, la toxicidad para los seres humanos, la radiación ionizante y el agotamiento de los recursos.

¹¹ 120 mL de agua

La distribución del café desde la finca hasta el usuario es responsable de aproximadamente el 40% del impacto de las radiaciones ionizantes, y representa alrededor del 25% del agotamiento de la capa de ozono, la formación fotoquímica y los impactos de la toxicidad en humanos.

La etapa de utilización contribuye casi a un 60% del uso del agua, del uso de los recursos (fósiles y minerales y metales) y a las categorías de impacto ambiental de las radiaciones ionizantes.

El proceso de fabricación y empaquetado, así como la fase de fin de vida útil, aportan pocas contribuciones a la mayoría de las categorías, y representan menos del 10% del impacto ambiental total.



La Tabla 26 identifica los flujos y contribuciones elementales más relevantes para cada categoría de impacto.

26: Flujos elementales más relevantes para el ciclo de vida del café verde para determinadas categorías de impacto

| CATEGORÍA DE IMPACTO | FLUJO ELEMENTAL | COMPORTAMIENTO | CONTRIBUCIÓN |
|----------------------|--|----------------|--------------|
| Cambio climático | Monóxido de dinitrógeno | Aire | 30% |
| | Dióxido de carbono | Aire | 21% |
| | Dióxido de carbono, transformación del suelo | Aire | 18% |
| | Metano | Aire | 31% |
| | Otros | Aire | 0% |
| Acidificación | Amoníaco | Aire | 90% |
| | Dióxido de azufre | Aire | 6% |
| | Otros | Aire | 4% |
| Material particulado | Amoníaco | Aire | 67% |
| | Partículas en suspensión, < 2,5 um | Aire | 30% |
| | Otros | Aire | 3% |

| CATEGORIA DE IMPACTO | FLUJO ELEMENTAL | COMPORTAMIENTO | CONTRIBUCIÓN |
|---------------------------|-----------------------------------|--------------------|--------------|
| Eutrofización, agua dulce | Fósforo | Agua | 97% |
| | DQO, Demanda Química de Oxígeno | Agua | 2% |
| | Otros | Agua | 3% |
| Eutrofización, marina | Nitrato | Agua | 93% |
| | Otros | Agua | 7% |
| Eutrophication, terrestre | Amoníaco | Aire | 95% |
| | Óxidos de nitrógeno | Aire | 5% |
| Eutrofización, terrestre | Clorpirifós | Suelo | 55% |
| | Clorpirifós | Agua | 36% |
| | Otros | Agua, aire y suelo | 10% |
| Ecotoxicidad, agua dulce | Ocupación, cultivo permanente, CO | Sin tratar | 91% |
| | Ocupación, bosque, intensivo | Sin tratar | 9% |
| | Otros | Sin tratar | 1% |

La Tabla 27 presenta los procesos más relevantes para el ciclo de vida del café verde.

Tabla 27: El proceso más relevante para el ciclo de vida del café verde (el amarillo indica una contribución del 5 al 20%; el rojo indica una contribución >20%). Las emisiones directas se refieren a la huella ambiental causada por los flujos elementales directos (por lo general las emisiones al medio ambiente). Tenga en cuenta que para algunas categorías el impacto podría no sumar exactamente 100% debido a problemas de redondeo.

| PROCESO | CAMBIO CLIMÁTICO | AGOTAMIENTO DEL OZONO | RADIACIÓN IONIZANTE, HH | FORMACIÓN FOTOQUÍMICA DE OZONO, HH | MATERIAL PARTICULADO | TOXICIDAD HUMANA, SIN CÁNCER | TOXICIDAD HUMANA, CON CÁNCER | ACIDIFICACIÓN | EUTROFIZACIÓN, AGUA DULCE | EUTROFIZACIÓN, MARINA | ECOTOXICIDAD, TERRESTRE | ECOTOXICIDAD, AGUA DULCE | USO DEL SUELO | USO DE LOS RECURSOS, FÓSILES | RUJO DE LOS RECURSOS, MINERALES Y METALES | USO DEL AGUA |
|--------------------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------------------|----------------------|------------------------------|------------------------------|---------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------|---------------|------------------------------|---|--------------|
| Trilla de café | | 7% | 7% | 6% | 1% | 5% | 19% | 1% | 0% | 0% | 1% | 1% | 1% | 7% | 0% | 32% |
| Emisiones directas de la trilla | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Bolsa de fique | 1% | 1% | 1% | 1% | 0% | 2% | 18% | 1% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 1% | 0% | 28% |
| Electricidad | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 4% |
| Transporte y maquinaria | 1% | 6% | 6% | 5% | 0% | 2% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 4% | 0% | 0% |
| Otros | 0% | 0% | 0% | 0% | -0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | -0% |
| Procesamiento post-cosecha | 44% | 11% | 19% | 56% | 37% | 35% | 20% | 9% | 3% | 8% | 8% | 0% | 9% | 22% | 1% | 16% |
| Procesamiento post-cosecha | 37% | 0% | 0% | 7% | 3% | 0% | 0% | 5% | 2% | 6% | 5% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% |
| Energía-carbón y biomomasa de madera | 5% | 8% | 17% | 44% | 33% | 19% | 19% | 3% | 0% | 1% | 2% | 0% | 9% | 15% | 0% | 1% |
| Transporte | 1% | 4% | 4% | 4% | 0% | 2% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 0% | 0% |
| Electricidad | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 1% | 0% | 4% |
| Otros | 0% | -2% | -2% | -0% | 0% | 14% | 0% | 0% | -0% | 0% | -0% | -0% | -0% | 2% | -0% | 11% |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cultivo de café | 55% | 83% | 74% | 38% | 62% | 61% | 61% | 90% | 97% | 92% | 92% | 99% | 91% | 71% | 99% | 53% |
| Cultivo de café - Emisiones directas | 40% | 0% | 0% | 0% | 53% | 5% | 0% | 82% | 97% | 90% | 87% | 98% | 91% | 0% | 0% | 0% |
| Producción de fertilizante | 12% | 53% | 60% | 22% | 9% | 12% | 59% | 6% | 0% | 1% | 3% | 1% | 0% | 61% | 42% | 51% |
| Producción de pesticidas | 0% | 19% | 4% | 1% | 0% | 1% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 58% | 1% |
| Transporte & Maquinaria | 1% | 5% | 5% | 5% | 0% | 2% | 1% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 0% | 3% | 0% | 0% |
| Otros | 1% | 6% | 5% | 10% | 0% | 42% | 0% | 1% | 0% | 0% | 1% | 0% | 0% | 4% | 0% | 0% |

La Tabla 26 y la Tabla 27 muestran que los procesos clave que dominan el desempeño ambiental del café verde son:

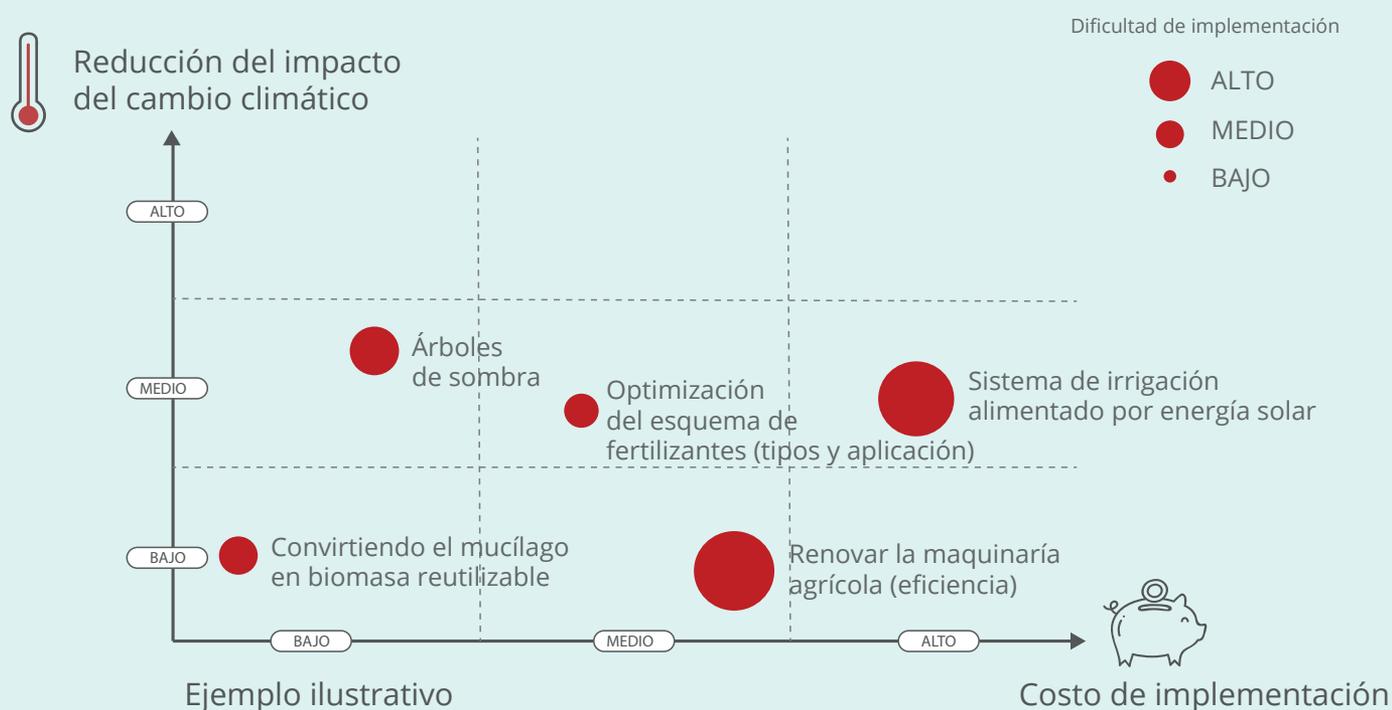
Producción de fertilizantes: Las emisiones de óxido nítrico y dióxido de carbono a la atmósfera relacionadas con la producción de fertilizantes y las emisiones directas relacionadas con el cultivo del café son los principales contribuyentes al cambio climático. Las emisiones de metano, bromotrifluoro, halón a la atmósfera y el uso de gas natural para la producción de fertilizantes y pesticidas son los principales contribuyentes al agotamiento de la capa de ozono y al uso de los recursos fósiles.

Emisiones directas de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas: Los plaguicidas de zinc y clorpirifós utilizados en la etapa de cultivo del café y sus emisiones directas a los suelos y el agua influyen en gran medida en la toxicidad para los seres humanos, los efectos no cancerígenos y la ecotoxicidad del agua dulce, respectivamente. El principal contribuyente a la acidificación es el amoníaco, el principal componente de algunos fertilizantes utilizados para el cultivo del café.

Energía utilizada para el procesamiento post-cosecha: Incluye las emisiones de cromo y cromo VI al agua relacionadas con el uso de gas natural para la producción de calor para el proceso de post-cosecha.

Consejos y trucos: análisis de puntos críticos del medio ambiente para establecer objetivos y priorizar acciones

Se pueden analizar los puntos críticos del medio ambiente para establecer objetivos de reducción, priorizar acciones y supervisar los progresos. El potencial de reducción de las emisiones es un aspecto clave para seleccionar y aplicar medidas destinadas a reducir la huella global. Sin embargo, esas decisiones dependen también de otros factores, como los costos de inversión o la facilidad de aplicación (las medidas de reducción dentro de las propias operaciones suelen ser más fáciles de aplicar que las medidas a lo largo de la cadena de valor).



4.4 IDENTIFICACIÓN DE LOS PROBLEMAS AMBIENTALES IMPORTANTES

No todas las 16 categorías de impacto evaluadas son igualmente importantes. Los resultados de la huella ambiental se pueden normalizar y ponderar para identificar los problemas ambientales fundamentales.

La Tabla 28 ilustra las categorías de impacto con las puntuaciones más altas de impacto ponderado.

Tabla 28: Puntuaciones de impacto ponderado para el café verde y una taza de café negro filtrado, 120 mL (los valores son relativos a la máxima puntuación de impacto ponderado = 100%, los valores rojos muestran un valor más alto que el 10%)

| CATEGORÍA DE IMPACTO | INDICADORES RELEVANTES SEGÚN ESTE ESTUDIO | | CATEGORÍAS DE IMPACTO RELEVANTES SEGÚN LOS DIFERENTES ESTÁNDARES | | |
|--|---|--------------|--|-----------------------------|------------------|
| | CAFÉ VERDE | TAZA DE CAFÉ | RCHAP CAFÉ | RCP DE CAFÉ MOKA Y ESPRESSO | C-RCP CAFÉ VERDE |
| Cambio climático | 27% | 62% | x | x | x |
| Agotamiento del ozono | 0% | 0% | | | |
| Radiación ionizante, HH (salud humana) | 0% | 2% | | | |
| La formación de ozono fotoquímico, HH | 1% | 6% | | x | |
| Material particulado | 22% | 34% | x | | |
| Toxicidad humana, sin cáncer | 3% | 7% | x | x | |
| Toxicidad humana, cáncer | 2% | 9% | x | x | |
| Acidificación | 16% | 21% | | x | |
| Eutrofización, agua dulce | 100% | 100% | | x | |
| Eutrophication, marine | 10% | 11% | | | |
| Eutrofización, terrestre | 12% | 15% | | | |
| Ecotoxicidad, agua dulce | 21% | 21% | x | x | |
| Uso del suelo | 17% | 17% | x | x | |
| Uso de los recursos, fósiles | 4% | 27% | x | x | |
| Uso de los recursos, minerales y metales | 1% | 4% | x | x | |
| Escasez de agua | 1% | 6% | | x | |

Las siguientes categorías tienen la mayor huella ambiental: Eutrofización (agua dulce, marina y terrestre): relacionada con la aplicación de fertilizantes durante el cultivo del café; el aporte de nutrientes a los cuerpos de agua dulce; y, en menor medida, la contaminación del agua durante el procesamiento post-cosecha

- **Material particulado:** principalmente debido a las emisiones de amoníaco (67%) durante el cultivo y la emisión de PM durante el procesamiento post-cosecha (29%)
- **Cambio climático:** causada principalmente por las emisiones durante el cultivo (75%), especialmente las emisiones de N₂O y el uso de fertilizantes
- **Acidificación:** el principal contribuyente son las emisiones de amoníaco durante el cultivo

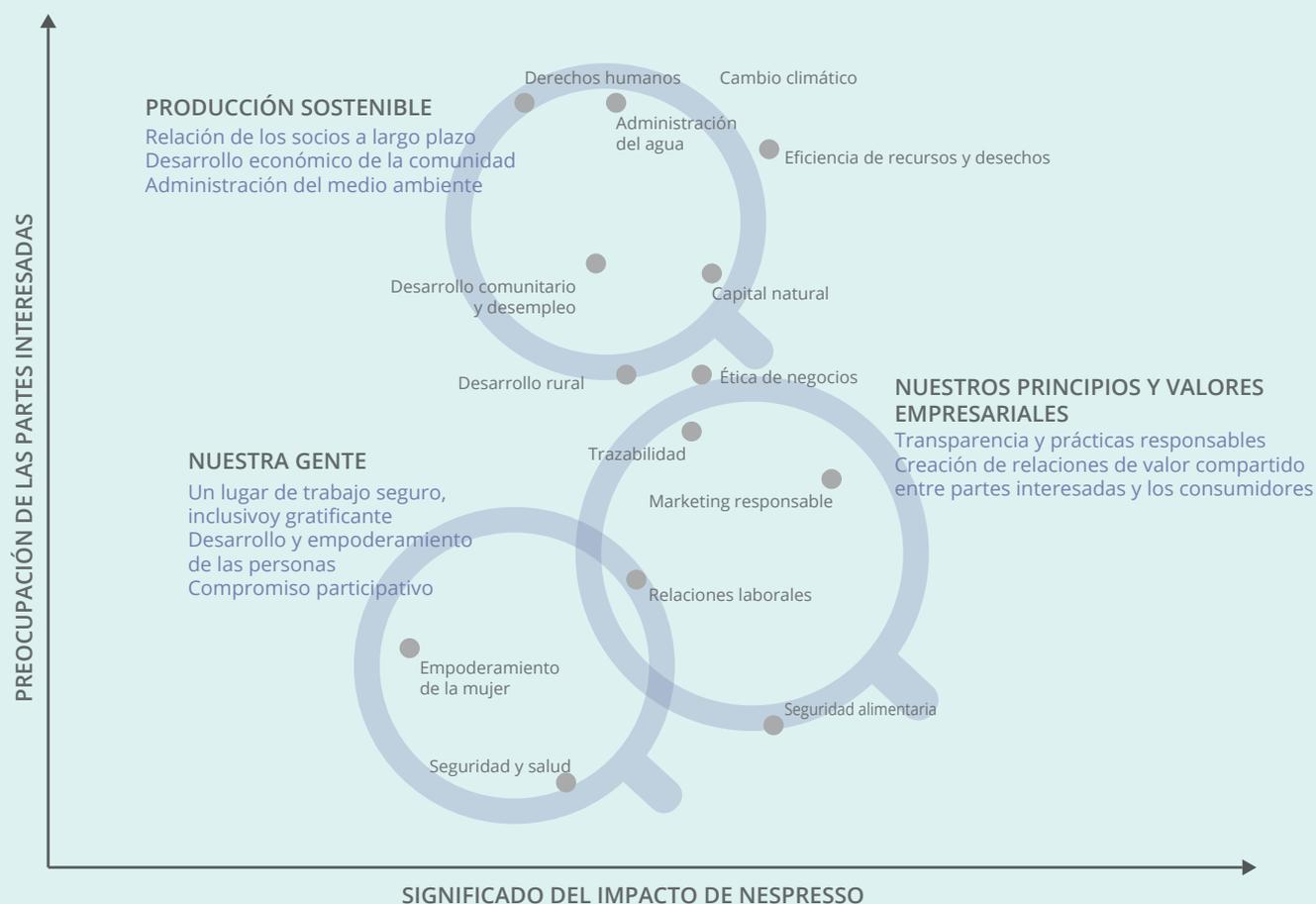
- **Ecotoxicidad:** Las emisiones de clorpirifós al suelo y al agua durante la fase de cultivo son las principales responsables.
- **Uso del suelo:** relacionada con la ocupación del suelo para el cultivo del café y la regeneración natural evitada a propósito

Esta lista de problemas ambientales fundamentales identificados es similar a la publicada en el borrador de las RCHAP del café, que también se refiere al cambio climático, al material particulado, la ecotoxicidad del agua dulce y el uso del suelo como cuestiones ambientales fundamentales. La principal diferencia entre esta lista y la del borrador de las RCHAP del café es que la eutrofización y la acidificación no están incluidas en este último, y que las pautas del borrador

Consejos y trucos: análisis de materialidad

La huella ambiental de un producto puede indicar problemas ambientales importantes sobre la base de un enfoque cuantitativo. Estos datos de base científica pueden alimentar el análisis de materialidad de una empresa (entre otros usos)

El análisis de la materialidad suele realizarse captando las percepciones sobre los principales aspectos ambientales y socio-económicos de una empresa mediante la participación de las partes interesadas internas y externas. La huella ambiental puede añadir valor al proporcionar clasificaciones basadas en la métrica de los problemas ambientales (vea la siguiente interpretación visual de los temas materiales para las empresas que utilizan la



4.5 ANÁLISIS COMPARATIVO

Se puede comparar el rendimiento ambiental de los productos y servicios si un producto o servicio cumple la misma función. En este ejemplo ficticio se compara el desempeño ambiental de cuatro fincas cafeteras en términos de escasez de agua, uso del suelo, toxicidad humana, cambio climático y eutrofización del agua dulce.

La Figura 21 muestra los impactos ambientales en un gráfico radar. Cuanto más cerca esté un valor del centro, menor será su impacto. Esta visualización puede ayudar a comparar el rendimiento e ilustrar las posibles compensaciones.

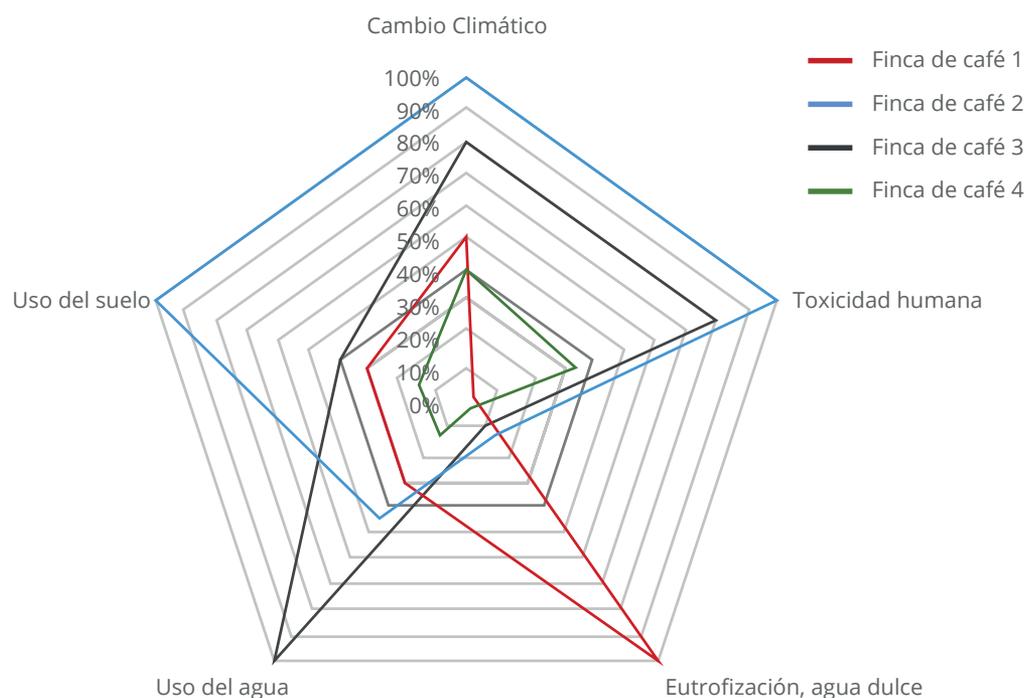


Figura 21: Gráfico radar de los impactos ambientales de cuatro fincas cafeteras (por kg de café producido)

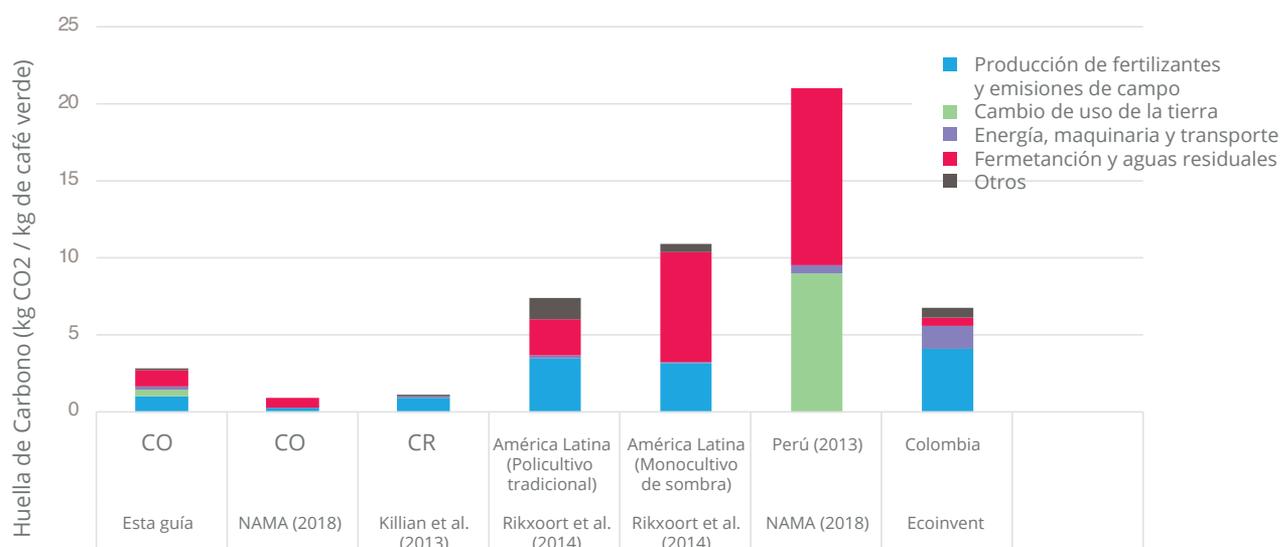


Tabla 29: La huella de carbono del café producido en diferentes países por diferentes fuentes en (kg CO₂ eq/kg café).

Los valores indicados por cada estudio no pueden compararse directamente, dadas las diferencias metodológicas de los estudios. Por ejemplo, las NAMA desarrolladas para la producción de café en Colombia tienen un alcance, datos y modelo de inventario diferentes.

NAMA excluye i) las emisiones de metano de las acumulaciones de pulpa; ii) los cambios en las reservas de carbono cuando se pasa de sistemas de café agro-forestales a sistemas de exposición al sol; iii) las emisiones de campo de fertilizantes orgánicos (como la pulpa); y iv) la trilla. Hay más diferencias en los datos - especialmente para valores como el contenido de DQO de las aguas residuales, considerado como la mitad en comparación con esta guía (vea el capítulo 3.5.6).

También cabe señalar que el principal contribuyente a la huella de carbono del café en Perú es el cambio de uso del suelo. El cambio de uso del suelo, en términos generales, no se ha considerado en Colombia debido a la antigüedad de las fincas cafeteras colombianas (el cambio del uso del suelo ocurrió hace más de 20 años). A fin de interpretar los resultados y compararlos, es fundamental comprender las opciones metodológicas, los límites del sistema y los antecedentes de los datos.

4.6 CALIDAD DE LOS DATOS E INCERTIDUMBRE

Los datos de baja calidad provocan una gran incertidumbre en cuanto a los resultados. En las RCHAP, se utiliza un enfoque semi cuantitativo para evaluar la calidad de los datos específicos de la empresa y los conjuntos de datos secundarios, utilizando un enfoque basado en la “materialidad” para centrarse en la calidad de los datos donde realmente importa

En primer lugar, se identifican las categorías de impacto, las etapas del ciclo de vida, los procesos y los flujos elementales más relevantes (vea las secciones 4.3 y 4.4). De acuerdo con las RCHAP v6.3, se seleccionan los procesos más relevantes y los flujos elementales directos que representan al menos el 80% del impacto ambiental total.

Dado que los procesos más relevantes dirigen el perfil ambiental de un producto, éstos deben ser evaluados utilizando datos de mayor calidad en comparación con los procesos menos relevantes, independientemente de dónde se produzcan los procesos en el ciclo de vida de un producto. Normalmente, una evaluación de la calidad de los datos se basa en cinco criterios formales:

- Fiabilidad (R) - lo bien que se mide un valor frente a lo estimado/adivinado
- Completitud (C) - cuán completamente se tienen en cuenta todos los parámetros/factores
- Representatividad temporal (TiR) - exactitud en el tiempo
- Representatividad geográfica (GR) - precisión de la localización
- Representatividad tecnológica (TeR) - precisión de la tecnología

Los principios de calidad de los datos se describen con más detalle en las RCHAP.

4.6 LIMITACIONES DE UN ESTUDIO DE LA HUELLA AMBIENTAL

Al interpretar los resultados, se deben tener en cuenta las siguientes limitaciones comunes:

Alcance: Las conclusiones son aplicables únicamente dentro del alcance de un estudio, lo que significa que se debe tener en cuenta el alcance temporal y geográfico de un estudio, así como los límites del sistema y los principios de modelización.

Datos de inventario: La evaluación de los resultados de la HA en el ciclo de vida suele requerir un gran conjunto de datos y suposiciones de modelos. Estas suposiciones se deben tener en cuenta al interpretar los resultados. La incertidumbre relacionada con los datos de inventario pueden evaluarse sobre la base del análisis de materialidad descrito en el capítulo 4.6, mediante la evaluación de la incertidumbre de los resultados (p. ej., a través de una simulación de Monte-Carlo), y mediante la interpretación de diferentes cálculos de escenarios o a través del análisis de sensibilidad.

Resultados de la huella ambiental: Obsérvese que, en lugar de mediciones directas de los impactos reales, el ACV estima los impactos relativos y potenciales. Los resultados de la huella ambiental son expresiones relativas y no predicen los impactos en los puntos finales de las categorías, la superación de los umbrales, los márgenes de seguridad o los riesgos. Este descargo de responsabilidad debe ser puesto en cualquier informe de evaluación de la HAP. Además, hay que tener en cuenta que no todos los aspectos ambientales se consideran actualmente en los estudios de LCA (p. ej., la contaminación de los plásticos marinos, los impactos de la salinización) y que están surgiendo nuevas métricas, métodos y datos para cubrir estas limitaciones.

Sostenibilidad general: Aunque la metodología de la huella ambiental es adecuada para evaluar un aspecto clave de la sostenibilidad ambiental, el método no evalúa ningún impacto socioeconómico. A fin de obtener una visión completa de la sostenibilidad, los resultados deben interpretarse junto con otras evaluaciones.

5. PRESENTACIÓN DE INFORMES Y COMUNICACIÓN

5.1 INFORMES

Los requisitos de presentación de informes dependen del objetivo y el alcance del estudio. La presentación de informes para la selección de estudios internos podría ser informal y mínima, mientras que el cumplimiento de las RCHAP, las RCP o la norma ISO 14040/44 destinado a la comunicación externa debería cumplir requisitos específicos.

Las RCP, las RCHAP y la norma ISO 14040/44 proporcionan información sobre la estructura de un informe de la huella ambiental (Environdec, 2018, 2019; Comisión Europea, 2018; ISO, 2006a, 2006b).

Por lo general, se permite excluir la información confidencial de un informe. Sin embargo, la información sigue estando sujeta a procesos externos de verificación y validación.

5.2 VERIFICACIÓN Y VALIDACIÓN

En el caso de los estudios que cumplen con las especificaciones de la HAP, la verificación y validación del estudio es obligatoria siempre que el estudio o parte de la información se utilice para cualquier tipo de comunicación externa.

La verificación incluye un proceso de evaluación de la conformidad llevado a cabo por un verificador de la HA para demostrar si un estudio de HA cumple con las RCHAP y/o la versión más actualizada del método de la HAP adoptado por la Comisión. La validación garantiza que los datos e información utilizados son creíbles, fiables y correctos, y que los cálculos realizados no incluyen errores. En las RCHAP v6.3 se proporciona más información sobre el proceso y los requisitos de verificación y validación.

Las RCP para el café espresso y Moka siguen un procedimiento de verificación ligeramente diferente. El informe EPD es verificado por una persona aprobada o por un organismo de certificación acreditado con conocimientos y experiencia relacionados con los tipos de productos, la industria y las normas de productos pertinentes que abarca la EPD y su alcance geográfico. Las EPD se registran y se publican en www.environdec.com. Una EPD es válida por cinco años (a menos que haya cambios significativos en el proceso de producción). Al final de este período de tiempo, las RCP necesitan ser re-verificadas.

5.3 COMUNICACIÓN

La iniciativa de la HAP probó diferentes vehículos de comunicación para los resultados del LCA durante su fase piloto, incluyendo etiquetas, declaraciones, informes, páginas web y relaciones públicas tradicionales (vídeos, banners, infografías, anuncios y boletines de noticias). El objetivo del proyecto era probar la eficacia de cada vehículo. Así pues, se analizaron 51 iniciativas de diferentes sectores para determinar su idoneidad para la comunicación entre empresas (B2B) y entre empresas y consumidores (B2C) (Lupiáñez-Villanueva, Tornese, Veltri, y Gaskell, 2018). En el proyecto se llegó a las siguientes conclusiones sobre la forma de maximizar la eficacia de las comunicaciones:

- Enfatizar la claridad, la simplicidad y la transparencia.
- Evitar los términos numéricos y científicos demasiado complejos (p. ej. kg CO₂-eq/kg).
- Usar gráficos, diagramas de barras y escalas de color.
- Emular los semáforos y las etiquetas de energía fácilmente comprensibles.
- Solicitar certificaciones(es) de fuentes nombradas, independientes y confiables.
- Ofrecer códigos QR, códigos de barras, enlaces, sitios web y banners, para aquellos que quieran más información.

Las etiquetas relacionadas con la HAP más efectivas son las clasificaciones A-E y las puntuaciones medias de los productos (Lupiáñez-Villanueva et al., 2018). Un puntaje relativo requiere comparar un producto específico con el promedio de la industria, definido en cada piloto de la HAP. En la figura que aparece a continuación se presentan algunos ejemplos de los vehículos de comunicación ensayados durante el proyecto.

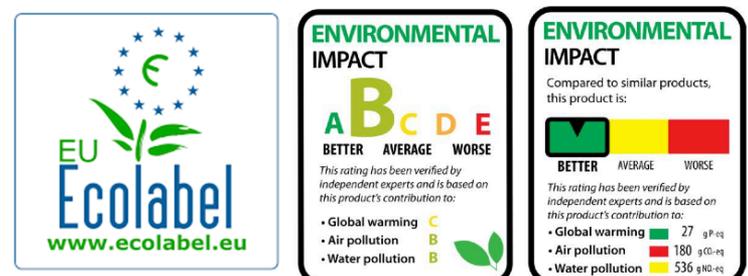


Figura 22: Los vehículos de comunicación probados por la HAP

6. VALOR AGREGADO Y DESAFÍOS DE LAS EMPRESAS COLOMBIANAS RESPECTO AL ANÁLISIS LA HUELLA AMBIENTAL

En el contexto del proyecto SuizAgua, seis empresas a lo largo de toda la cadena de valor del café midieron la huella ambiental de su producto. Después de proporcionar los resultados de su huella ambiental, se elaboró una encuesta que se envió a los participantes con el objetivo de comprender mejor la motivación, el valor agregado y los desafíos respecto a la realización de estudios de la huella ambiental (denominados en la siguiente sección como estudios de EF):

Participantes incluidos

Centro Nacional de Investigaciones de Café – Cenicafé: Creado por la FNC en 1938 para estudiar los aspectos de la producción, la cosecha, el procesamiento, la calidad del grano, la gestión y el uso de los subproductos de la explotación del café y la conservación de los recursos naturales en la región cafetera colombiana (<https://www.cenicafe.org/>)

Buen Café Liofilizado de Colombia: Parte de la (FNC) de Colombia, Buencafé es uno de los principales proveedores de café soluble de primera calidad en todo el mundo y el único proveedor con una clara orientación social (<https://www.buencafe.com/>).

Almacafé: Una empresa de servicios logísticos de la FNC creada el 8 de mayo de 1965 (<https://www.almacafe.com.co/>)

Procafecol. S.A.: Fundada en 2002 para generar negocios de valor agregado para los caficultores y su marca Juan Valdez®. Tiene cuatro líneas de negocio: tiendas especializadas, grandes almacenes, canales institucionales y un portal de comercio electrónico (<http://www.juanvaldez.com/>).

Colcafé. Una filial del Grupo Multilatino de Alimentos, “Grupo Nutresa” (<https://www.colcafe.com/>)

Cooperativa de Caficultores de Andes: Clasificada dentro de la lista de actividades económicas como “comercio al por mayor de productos alimenticios” (<https://www.delosandescooperativa.com.co/>)

Metodología: La encuesta incorporó un total de 17 preguntas, entre ellas nueve basadas en la escala de Likert (Likert, 1932) en la que se pidió a los encuestados que clasificaran las opciones de la siguiente manera: muy de acuerdo (5), de acuerdo (4), ni de acuerdo ni en desacuerdo (3), en desacuerdo (2) y muy en desacuerdo (1). Las preguntas se abordaron desde una perspectiva desfavorable (cuatro preguntas) y favorable (cinco preguntas) para evitar que los encuestados detectaran

una tendencia u orden en el que se escribieron los conceptos y clasificaran sus respuestas de manera tendenciosa. Tenga en cuenta que cuando se cambia de favorable a desfavorable, la clasificación se invierte (Kim, Y. M., 2009). Ocho preguntas fueron “abiertas”, lo que permitió generar variables categóricas apropiadas para explicar mejor los diferentes aspectos investigados. Para validar la consistencia de las respuestas de un encuestado, se estableció una pregunta de “control” exactamente igual a una pregunta de instrumento aleatorio, pero redactada de forma diferente ((Kim, 2009). Todos los gráficos descriptivos y los análisis estadísticos se realizaron utilizando el entorno de programación estadístico R 3.6.1 (R Core Team): dplyr, sjPlot ((Lüdecke, 2019), ggplot2 ((Wickham, 2016) y sjmisc ((Lüdecke, 2018).

Resultados: Todas las empresas encuestadas cumplieron con la pregunta de “control”, lo que demuestra la coherencia de las respuestas en todo el ejercicio.

¿Cuál es la motivación inicial para realizar un estudio de EF?

Más del 80% de las empresas consideraron “muy apropiado” realizar un estudio de HA debido a: los objetivos corporativos (22%), la detección de los puntos de impacto clave para la toma de decisiones (22%), y la continuidad de los estudios previos de la huella de carbono y agua (22%). Sin embargo, la principal razón por la que las empresas consideraron la posibilidad de realizar un estudio de HA fue el cumplimiento de los reglamentos exigidos por las partes externas (33%). Más del 60% de las empresas estuvieron muy de acuerdo en la importancia de los estudios de EF. Sin embargo, aproximadamente el 30% de las empresas permanecen indiferentes, tal vez debido a la falta de conocimientos sobre el tema o a la participación tardía en el proyecto. En cuanto a la importancia de los estudios de EF, más del 50% de las empresas encuestadas indicaron que era importante para concientizar a las empresas sobre la mitigación del impacto ambiental. Por otra parte, el 44% de las empresas consideraron importante la realización de un ejercicio de estudio de HA para: la certificación (11%), la economía circular (11%), la búsqueda de indicadores de evaluación para proveedores (11%), y la generación de valor agregado a los productos (11%). La percepción general de los estudios de HA sobre el café es que son un ejercicio oportuno e importante que genera elementos diferenciadores para las empresas.

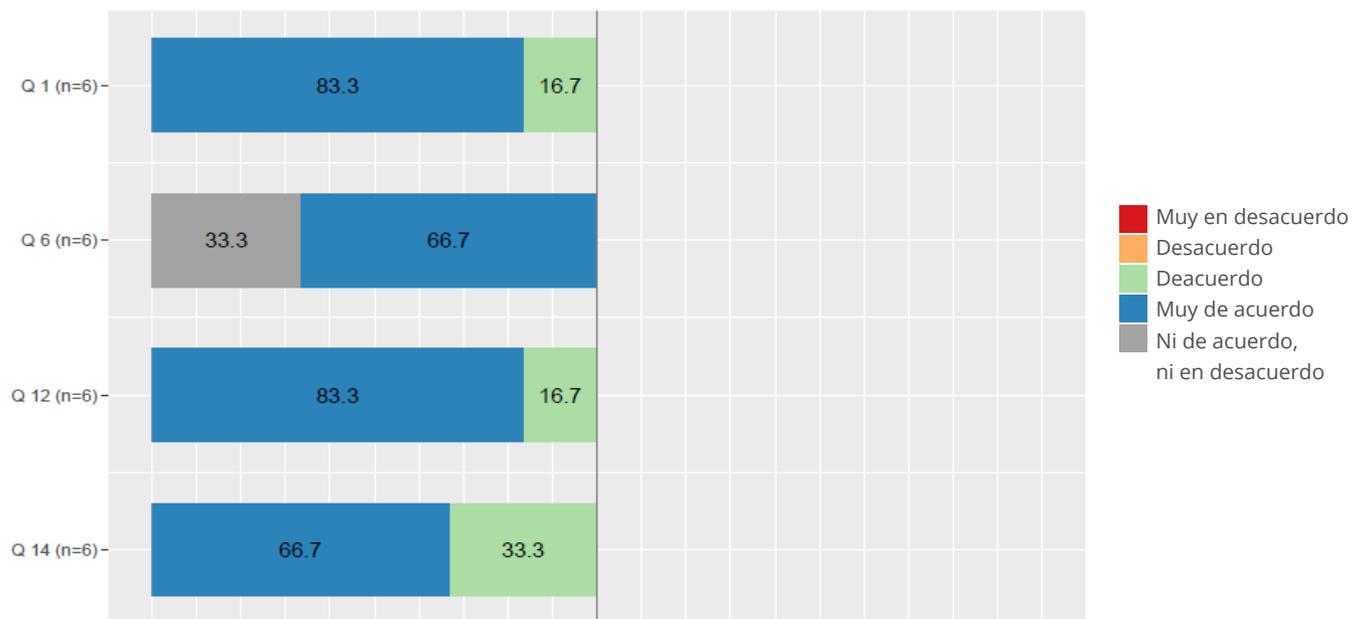


Figura 23 Preguntas basadas en la escala de Likert (P1, P6, P12 y P14) relacionadas con la percepción de la importancia y la generación de valor agregado al medir la huella ambiental del café. P1: ¿Fue apropiado llevar a cabo la medición de la huella ambiental? P6: ¿Para su organización era importante medir la huella ambiental de sus productos? P12: ¿Medir la huella ambiental de sus productos genera algún valor agregado para su organización? P14: ¿Medir la huella ambiental puede generar elementos diferenciadores que sean reconocidos por los interesados? (clientes, proveedores, accionistas, otros)

¿Cuál es el valor agregado de realizar un estudio de EF?

Más del 80% de las empresas estuvieron muy de acuerdo en que la realización de un estudio de HA generaba un valor agregado para los productos. Aproximadamente el 67% de los encuestados estuvieron muy de acuerdo con la generación de elementos diferenciadores al realizar un estudio de EF. Así, al investigar qué valor agregado a los productos o a las políticas corporativas se puede generar a partir de estudios de EF, el 60% de las empresas encuestadas sugirió la optimización de los recursos y la posibilidad de identificar puntos críticos en el impacto ambiental de la cadena de valor, y el 20% de las empresas mencionó la posibilidad de comercializar un café más amigable con el medio ambiente (Figura 23). Sin embargo, el 20% restante expresó que aún no había identificado un valor agregado evidente debido a la falta de conocimientos sobre la difusión de los resultados del estudio de EF.

¿Los resultados del estudio de HA ayudan a dar forma a las estrategias de sostenibilidad de las empresas y a priorizar las acciones?

Más del 80% de las empresas encuestadas estuvieron muy de acuerdo en que, sobre la base de un estudio de EF, era posible establecer prioridades y definir planes de acción para contribuir a la mitigación de los IACV de sus productos. Sin embargo, aproximadamente el 17% de las empresas encuestadas estaban muy en desacuerdo, lo que sugiere que no comprendían plenamente los resultados obtenidos en el ejercicio (Figura 24 — P8). Dicho esto, prácticamente todas las empresas estuvieron de acuerdo en que la medición de la huella ambiental del café es una práctica que toda organización debe mantener (Figura 24 — P11). Asimismo, todas las empresas coincidieron en que es importante

promover espacios para concienciar y aprender más sobre la huella ambiental dentro de la organización y para los clientes (Figura 24 — P18). Por otro lado, al analizar si era fácil reunir la información necesaria para un estudio de la huella ambiental, 50% estuvo de acuerdo, 16,7% muy de acuerdo, y 33,3% no estuvo de acuerdo. (Figura 24 — P16)

¿Cuáles son los factores favorables y limitantes de los estudios de EF?

Aproximadamente el 70% de las empresas mencionaron tener una base de datos de procesos internos útil como un factor favorable para llevar a cabo este ejercicio. En menor medida, la participación en estudios anteriores de la huella de carbono (22%) y el hecho de contar con aliados estratégicos para ayudar a ejecutar un estudio de HA también fueron factores favorables. Por el contrario, el factor limitante más común para medir la huella ambiental del café fue la dificultad para garantizar continuamente la calidad y representatividad de los datos (43%). Otros factores limitantes comunicados fueron: la dificultad para garantizar la homogeneidad de la información (14%), la dificultad para reunir información para el estudio de HA y disponer únicamente de información comercial (14%), la falta de depuración de los datos (14%) y la participación tardía de algunas entidades en el proyecto (14%) (Figura 24 — P9).

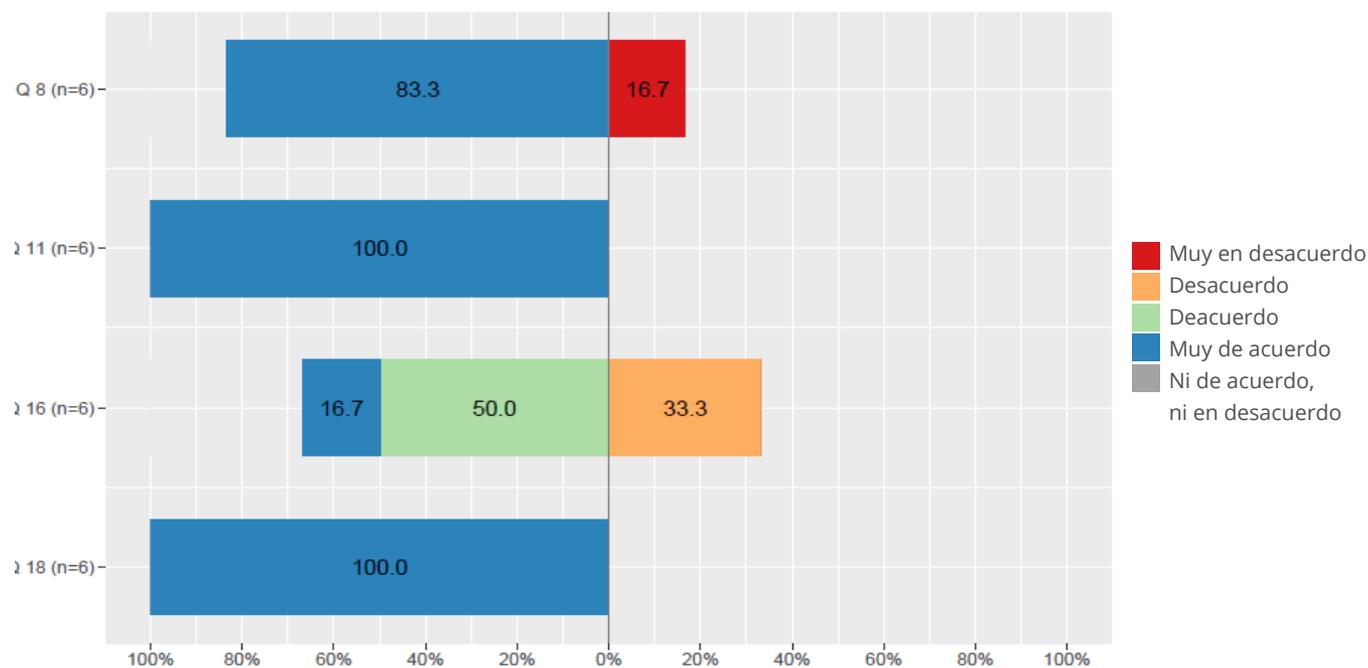


Figura 24 Preguntas basadas en la escala de Likert (P8, P11, P16 y P18) relacionado con la percepción de la medición de la HA del café en la toma de decisiones corporativas y la dirección estratégica P8: ¿Es posible, sobre la base de los resultados de la medición de la HA, establecer prioridades y definir planes de acción para contribuir a la mitigación de los IACV de sus productos? P11: ¿Considera que la medición de la HA debería ser una práctica que su organización debería mantener? P16: ¿Fue fácil reunir la información necesaria para medir la huella ambiental? P18: ¿Considera importante promover espacios de sensibilización y aprender más sobre la huella ambiental dentro de la organización y para los clientes?

¿Cuál es el camino a seguir?

Se preguntó a las empresas que participaron en los estudios de HA cuáles serían los siguientes pasos a corto plazo para sus organizaciones. Más del 60% mencionó continuar alimentando las bases de datos, y el 38% consideró prioritario detectar los indicadores de impacto. Asimismo, más del 40% de las empresas encuestadas dijo que, a medio plazo, consideraría la posibilidad de dar los primeros pasos hacia la gestión correctiva de los procesos asociados a los sistemas de producción. Otras estrategias propuestas a mediano plazo incluían: consolidar los programas ambientales para el uso eficiente del agua y la energía (14%), detectar los indicadores de impacto (14%) e identificar los vínculos para los proyectos asociados a la cadena de valor (14%). Por último, el 14% declaró que no podían pensar en ninguna medida de acción a mediano plazo debido a la falta de difusión de los resultados.

7. APLICACIÓN DE MEDIDAS

Un estudio de la huella ambiental proporciona información sobre los principales puntos críticos del medio ambiente a lo largo de la cadena de valor, lo que lo convierte en una valiosa herramienta para priorizar las acciones para reducir la huella ambiental general y mejorar el rendimiento. El presente capítulo contiene una compilación de buenas prácticas agrícolas (BPA) relacionadas con el cultivo del café y el procesamiento posterior a la cosecha, así como su relación con los resultados de la huella ambiental.

Los conceptos de GAP en la producción de café han evolucionado en los últimos años gracias a las intenciones de producción, seguridad, calidad de los granos y sostenibilidad ambiental de una amplia gama de interesados (Cenicafé, 2018; Rodríguez V. et al., 2018). Los principales objetivos de las GAP incluyen la calidad, la eficiencia en la producción, la

calidad de vida de los cafeteros, la satisfacción de los consumidores de café y los beneficios ambientales a medio y largo plazo. Con respecto a este último objetivo, las GAP promueven el desarrollo de la caficultura sostenible reduciendo al mínimo el impacto negativo de la producción en el medio ambiente. Con este fin, las GAP promueven la protección de la biodiversidad y la fertilidad del suelo, así como la reducción de la contaminación de los espacios naturales, racionalizando la gestión de los productos químicos, los fertilizantes y los residuos orgánicos (Rojas et al., 2018).

La Tabla 30 muestra las GAP agrupadas por etapas del ciclo de vida. Obsérvese que las prácticas descritas en este documento no son las únicas que existen.

Tabla 30: Buenas prácticas de agricultura para la evaluación del café y su procesamiento posterior a la cosecha

| ETAPA DE GERMINACIÓN | | |
|--|--|---|
| Las semillas tienen una participación fundamental en el sistema de producción del café; la buena calidad depende del proceso de cultivo. | | |
| PRÁCTICA | DESCRIPCIÓN | VENTAJAS |
| Utilizar semillas certificadas antes de que pasen su fecha de vencimiento. | Si el material es saludable desde la siembra, se necesitarán menos pesticidas. La presencia de agentes patógenos genera una mayor dependencia del uso de productos de síntesis química. | Disminución del uso de pesticidas Disminución de la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana y efectos (no) carcinógenos, ecotoxicidad (agua dulce), consumo de recursos acuíferos |
| Uso racional de fungicidas | Aplicación de fungicidas orgánicos y productos de síntesis química de acuerdo con las recomendaciones dadas por cada tipo de gestión y área. La aplicación de cantidades excesivas genera impactos negativos en el crecimiento de las plantas como la generación de contaminantes en sustratos y aguas residuales. | Menor aplicación de productos de síntesis química que pueden contaminar las fuentes de agua Reducción de los costos de aplicación Disminución de la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana y efectos (no) carcinógenos, ecotoxicidad (agua dulce), consumo de recursos acuíferos |
| Vertido de agua controlado en un germinador | Verificación frecuente de la humedad del sustrato y uso de aplicaciones de irrigación cuando se seque la primera porción de sustrato. Regar solo hasta que el suelo parezca húmedo, sin anegar. Verificar de forma periódica (al menos una vez por día, y dos veces por día en temporadas cálidas de verano) y regar de manera uniforme. | Evitar eventos estresantes o humedad en exceso que pueda afectar el desarrollo de la polilla Menor requisito de irrigación de agua Disminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad (agua dulce), consumo de recursos acuíferos |
| Uso de árboles de sombra | La sombra regula mejor el equilibrio de la humedad mientras que disminuye la evapotranspiración y, en consecuencia, la necesidad de irrigación. | Disminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad (agua dulce), consumo de recursos acuíferos |

ETAPA DE PLÁNTULA

Los surcos de café trasplantados a lo largo del tiempo que están bien cuidados tendrán raíces abundantes y bien formadas que les permitirán establecer una plantación de café productiva y amigable con el medio ambiente.

| PRÁCTICA | DESCRIPCIÓN | VENTAJAS |
|--|---|---|
| Utilizar materiales de plantado saludables | Las plántulas no deben tener síntomas de ningún tipo de descomposición. La presencia de nemátodos, manchas de hierro, herrumbre, marchitación y cochinillas genera una mayor dependencia del uso de productos de síntesis química. | Disminución de la aplicación de pesticidas Reducción de los costos de aplicación Reduce la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana, ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Irrigación controlada en un almácigo | Consiste en la verificación de la humedad del sustrato cargado y uso de aplicaciones de irrigación cuando se seque la primera porción de sustrato. Regar solo hasta que el suelo parezca húmedo, sin anegar. Verificar de forma periódica (al menos una vez por día, y dos veces por día en temporadas de máximo calor de verano) y el agua de manera uniforme. | Evitar eventos estresantes o humedad en exceso que pueda afectar el desarrollo de la plántula Menor requisito de irrigación de agua Disminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Uso racional de fertilizantes | Aplicación de fertilizantes orgánicos y productos de síntesis química de acuerdo con las recomendaciones dadas por cada tipo de gestión y zona. La aplicación excesiva genera impactos negativos en el crecimiento de las plantas y en los sustratos, y genera contaminación de las aguas residuales. | Uso racional de fertilizantes, menos contaminación de los suelos y las fuentes de aguas Reducción de los costos de aplicación Disminución de la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana, ecotoxicidad en el entorno acuático, eutrofización (terrestre y de aguas dulces) |
| Gestión integrada de plagas y enfermedades de acuerdo con la evaluación de la incidencia y la gravedad | Aplicación de pesticidas mientras se tienen en cuenta los umbrales de daño económico para cada plaga y enfermedad con el fin de evitar aplicaciones innecesarias | Uso racional de sustancias agroquímicas, menos contaminación de los suelos y las fuentes de aguas Reducción de los costos de aplicación Disminución de la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana, ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Gestión integrada de arvenses | La gestión integrada de plagas se puede realizar en plantaciones de café mediante controles manuales, de cultivo y químicos. El proceso manual de eliminación de arvenses y la gestión de cultivo son las tareas recomendadas más comunes. | Uso racional de sustancias agroquímicas Menos contaminación de los suelos y las fuentes de aguas Reducción de los costos de aplicación Disminución de la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana, ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Regulación de la sombra | Los árboles de sombra regulan mejor el equilibrio de la humedad y reducen la evapotranspiración y, en consecuencia, la necesidad de irrigación. | Reducción del consumo de agua. Disminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |

ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO (siembra en plantaciones jóvenes)
Para suelos susceptibles de erosión, el establecimiento de plantaciones de café en exposiciones libres de sol se debe lograr mediante las GAP de conservación del suelo.

| PRÁCTICA | DESCRIPCIÓN | VENTAJAS |
|---|---|--|
| Plantación de surcos en el momento correcto | Una de las prácticas de cultivo más sensibles frente a una falta de agua es la siembra durante tiempos no recomendados. Se pueden presentar demoras en el crecimiento e incluso la muerte de algunas plantas. La distribución de la precipitación es la base de la gestión agronómica de cultivo, incluidas actividades como la plantación, fertilización y la gestión integrada de arvenses, plagas y enfermedades. | Reducción del consumo de agua Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Mejorar las características del suelo en el momento de la siembra | La incorporación de un fertilizante orgánico en los agujeros en el momento de la plantación genera un entorno más favorable para el crecimiento de las raíces y aumenta la humedad y la retención de nutrientes en el suelo. Establecer cultivos intercalados evita que el suelo permanezca descubierto y, en cambio, fomenta la contribución de desechos orgánicos. | Disminución de la contaminación de fuentes de aguas y lixiviación de nutrientes en los suelos Favorece los costos de producción futura mediante la aplicación deficiente de fertilizantes Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos, eutrofización (terrestre y de aguas dulces) |
| Obtención de material saludable de las plántulas | Los surcos de las plántulas no deben tener síntomas de ataques de plagas o enfermedades. Si el material es saludable desde la siembra, se necesitarán menos pesticidas en la fase de establecimiento. | Disminución de la aplicación de pesticidas y reducción de costos de aplicación Diminución de la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana, ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Densidad de siembra óptima | La densidad de plantación es el número de plantas por unidad de área. Esto tiene un importante efecto en la productividad de cultivo. Si las condiciones de variedad, climáticas, económicas y del suelo permiten a un caficultor establecer cultivos con altas poblaciones, se presentará una mayor eficiencia de recursos, que favorece a los productores. | Aumento del uso eficiente de los recursos Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos, eutrofización (terrestre y de aguas dulces) |
| Gestión de la luz para los cultivos | Se puede establecer un sistema de producción de café con una exposición sin sol en un área con buenas características físicas y de fertilidad y donde haya disponibilidad adecuada de energía solar y de agua. Se debe establecer sistemas de café de crecimiento bajo sombra o sistemas agroforestales de café (SAC) si los cultivos se ven afectados por las altas temperaturas, si una región experimenta amplios periodos de sequía, si el suelo carece de agua o si aumenta la radiación solar. | Asociar árboles con cultivos agrícolas proporciona beneficios como la protección de los cultivos en temporadas secas y la protección del suelo durante los periodos de alta pluviosidad. Reciclaje de nutrientes, producción de desperdicios vegetales, regulación micro climática, aumento de la protección frente al viento y erosión por el agua Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos, eutrofización (terrestre y de aguas dulces) Los sistemas agroforestales contribuyen a la conservación de la biodiversidad y a una reducción de la HA en la categoría de cambio climático. |

| <p style="text-align: center;">CRECIMIENTO VEGETAL Y PRODUCCIÓN El análisis de suelos define planes de nutrición adecuados para los cultivos y minimiza los riesgos económicos y ambientales.</p> | | |
|---|---|---|
| PRÁCTICA | DESCRIPCIÓN | VENTAJAS |
| Acidez correcta del suelo por abono con cal | Esta práctica consiste en incorporar cal (sobre todo carbonatos de calcio y/o magnesio, aunque la también incluye óxidos, hidróxidos y silicatos). | Mejora las condiciones del suelo, acondiciona el suelo para una buena productividad Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos hídricos |
| Plan de fertilización con base en el análisis de suelos | Todos los planes de fertilización están sujetos a la lluvia, ya que el agua, además de disolver los fertilizantes, tiene una participación indispensable para la absorción de nutrientes a partir de una solución de suelos. La fertilización que utiliza cantidades óptimas para cada fase de un cultivo evita la aplicación excesiva, que causa que los nutrientes se lixivien en el suelo. | Menos contaminación del suelo y del agua Minimiza los riesgos ambientales y económicos Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos, eutrofización (terrestre y de aguas dulces) |
| Gestión integrada de plagas y enfermedades | Esta práctica es un método ecológicamente orientado que usa de forma simultánea técnicas de control de cultivo, biológicas y químicas, mientras considera los niveles de daño económico con el fin de determinar el momento correcto para realizar los controles. Esto permite una aplicación agroquímica mínima y, en consecuencia, hay una presencia mínima de estas sustancias químicas en el suelo y los recursos hídricos. | Uso racional de sustancias agroquímicas, menos contaminación de los suelos y las fuentes de aguas Reducción de los costos de aplicación Disminución de la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana, ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Gestión integral de arvenses | Las arvenses son plantas que acompañan a los cultivos. El recubrimiento de su suelo permite el almacenamiento y disponibilidad del agua. Las arvenses también protegen el suelo del impacto de gotas de lluvia, por lo que reducen la erosión. La gestión integrada del arado involucra los controles químicos, manuales y mecánicos en las especies agresivas de hierbas para producir plantas/arados nobles benéficos. | Uso racional de sustancias agroquímicas, menos contaminación de los suelos y las fuentes de aguas Reducción de los costos de aplicación Disminución de la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana, ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Aplicación de herbicidas con selector | El equipo simple y ligero aplica de forma local herbicidas sobre las arvenses de alta interferencia o muy agresivas. | Uso racional de sustancias agroquímicas, menos contaminación de los suelos y las fuentes de aguas Reducción de los costos de aplicación Disminución de la HA en las siguientes categorías: toxicidad humana, ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Conservación y prácticas de gestión del suelo y del agua | La conservación del suelo y del agua requiere la implementación de restricciones para la gestión de cultivos y la adopción de prácticas preventivas y controles de degradación del suelo. Esto incluye: selección y ubicación adecuada de los cultivos, establecimiento del recubrimiento del suelo, construcción de barreras vivas para la canalización del agua, mantenimiento de la absorción y gestión integrada del tratamiento de arvenses y bioingeniería. | Menos contaminación de los suelos y las fuentes de aguas Disminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, eutrofización (terrestre y de aguas dulces) |

PROCESAMIENTO POST COSECHA
Incluye adoptar los beneficios ecológicos del café, realizar una gestión y tratamientos a las aguas residuales y valorar los subproductos.

| PRÁCTICA | DESCRIPCIÓN | VENTAJAS |
|---|---|---|
| Recepción del café | Como el nombre de la práctica indica, no se requiere agua para su funcionamiento. Esta práctica por lo general se realiza mediante el efecto de la gravedad sobre el fruto del café. Una tolva por lo general tiene una forma de cajuela piramidal invertida acoplada a un paralelepípedo, con un tubo de salida o descarga en el extremo inferior. Se instala una puerta deslizante horizontal para controlar o suspender el flujo de los granos cuando se requiera. | Reducción del consumo de agua. Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Clasificación con una tolva hidráulica y un separador de barrena | Este dispositivo combina de forma eficiente las ventajas de la separación hidráulica y el transporte con barrena con bajos requisitos de consumo de agua y de energía, los cuales son adaptables a las condiciones del productor. | Reducción del consumo de agua y energía Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Clasificación con un tanque de sifón con recirculación | Este dispositivo separa de forma simultánea los frutos del café de otros materiales extraños (p. ej., piedras, espinas, hojas) de acuerdo con la densidad. Por tanto, el dispositivo controla el suministro de café a una despulpadora con agua que se puede recircular en el proceso de clasificación. | Reducción del consumo de agua Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Despulpado Adopción del despulpado y transporte de la pulpa sin agua | Esta práctica consiste en despulpar los frutos del café sin agua y luego utilizar la gravedad para transportarla a los procesadores de la pulpa. Esta es la acción ambiental más importante en el procesado húmedo de café después de la cosecha, dado que el agua en esta etapa genera el impacto negativo más grande para los ecosistemas. | Reducción del consumo de agua Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Café despulpado Transporte de café despulpado sin agua | Transportar café despulpado, por gravedad o de forma mecánica, al área de fermentación o lavado sin usar agua | Reducción del consumo de agua Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Lavado Desmucilagínación mecánica | Una máquina especialmente desarrollada retira el mucílago del café recién despulpado con la menor cantidad de agua posible. | Reducción del consumo de agua Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Lavado Tecnología Ecomill. | Esta práctica utiliza tanques de fermentación cilíndricos que aprovechan la gravedad para vaciar el café que está listo para su lavado. Una lavadora mecánica que requiere bajos volúmenes de agua para separar el mucílago fermentado. | Reducción del consumo de agua y energía Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Lavado Práctica de lavado con cuatro enjuagues (tanque vat) | Esta práctica utiliza un tanque rectangular con esquinas redondeadas para realizar el proceso de fermentación del mucílago y permite el fácil y eficiente lavado de los granos de café. | Reducción del consumo de agua Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, consumo de recursos acuíferos |
| Secado Uso de fuentes de energía renovable | Esta práctica consiste en el uso de energía solar (secado al sol) o energía de biomasa (biocombustibles) para secar de forma mecánica el café. | Disminución de la HA en las siguientes categorías: cambio climático, aspectos de partículas y respiratorios, consumo de los recursos – combustibles minerales y fósiles |

PROCESAMIENTO POST COSECHA
Adoptar tecnologías de procesamiento del café y realizar una gestión y tratamiento adecuados de los subproductos

| PRÁCTICA | DESCRIPCIÓN | VENTAJAS |
|--|--|--|
| Gestión de la pulpa mediante la construcción de un pozo con techo | La pulpa y el mucílago representan el 100% de los desperdicios generados durante el procesamiento húmedo del café. La construcción sencilla de un pozo cubierto para la descomposición de la pulpa evita un 74% de contaminación del agua, si la pulpa se transporta por gravedad o por medios mecánicos sin el uso de agua. | Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, acidificación |
| Transformación de la pulpa en fertilizador orgánico (vermicultura, cubierto) | La vermicultura para la pulpa de café se considera la práctica más simple para el uso eficiente de este subproducto, ya que acelera el proceso de formación, reduce el trabajo y mejora el rendimiento del fertilizante orgánico obtenido. | Diminución de la HA en las siguientes categorías: cambio climático, ecotoxicidad en el entorno acuático, acidificación |
| Generación de biocombustibles a partir del mucílago (bioetanol y biogasolina) | Esta práctica consiste en la fermentación del mucílago para producir biogasolina o bioetanol. | Diminución de la HA en las siguientes categorías: cambio climático, ecotoxicidad en el entorno acuático, acidificación |
| Sistemas de tratamiento de las aguas residuales del café | Esta práctica consiste en el uso de procesos físicos, químicos y biológicos para tratar las aguas residuales. | Diminución de la HA en las siguientes categorías: ecotoxicidad en el entorno acuático, acidificación |
| Utilizar procesos de pulpa con completa recirculación y filtros verdes con recirculación efluente completa | Esta práctica consiste en sistemas de manejo y tratamiento de las aguas residuales del café sin generar descargas, dado que la recirculación completa de efluentes permite la retención y mineralización en sustratos (suelo o pulpa de café). | Disminución de la HA en las siguientes categorías: cambio climático, ecotoxicidad en el entorno acuático, acidificación, eutroficación (terrestre y de aguas dulces) |

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los estudios de la huella ambiental proporcionan información científica sobre los puntos ambientales clave y el desempeño de los sistemas de producción que se pueden utilizar para tomar decisiones informadas. El conocimiento obtenido se puede utilizar para enfocar o implementar medidas significativas que tengan como objetivo los focos y para preparar el mercado de café colombiano para los requisitos nacionales e internacionales de divulgación e información sobre la huella ambiental.

Esta guía prácticamente respalda los estudios sobre la huella ambiental desarrollados por los profesionales de la LCA de la cadena de valor del café colombiano al proporcionar una guía sobre las metodologías y los datos predeterminados. Este es un paso importante hacia la incorporación y estandarización del concepto de la huella ambiental. Las recomendaciones para avanzar en la robustez de los resultados de la huella ambiental catalizan su uso y toman medidas significativas para la reducción de la huella, que incluyen:

Mejora en la calidad de los datos: Aún existe una carencia de datos importante sobre cómo se produce el café en Colombia. También se desarrollarán más las metodologías. Por consiguiente, se debe actualizar esta guía en el futuro y se deben tener en cuenta las limitaciones de los datos cuando se interpreten los resultados de la huella ambiental para el café colombiano “promedio”. Con base en los resultados sobre la huella ambiental, los parámetros más sensibles en la producción del café verde son la cantidad y tipo de fertilizante, así como la productividad y el tratamiento de desechos durante el procesamiento post cosecha. Además, abajo en la cadena de valor, otro parámetro clave es la eficiencia de la conversión (entre menos café verde se utilice por taza, menor es el impacto) y la etapa de uso del café (tecnología de preparación y lavado de la taza). La recolección de los datos debe enfocarse sobre todo en estos parámetros sensibles.

Estandarización de los estudios sobre la huella ambiental del café verde: La falta de una guía metodológica sobre cómo calcular la huella ambiental del café verde fue una de las principales razones para establecer esta guía. Con el fin de proporcionar información B2C o B2B al consumidor sobre el desempeño ambiental del café verde, lo ideal sería establecer una norma reconocida a nivel mundial para el cálculo de la huella ambiental del café verde (en lugar de normas nacionales o regionales). Dicha norma global justificaría las diferencias locales en los sistemas de producción y ambientes, en tanto sea pertinente. Esta guía puede contribuir a establecer dicha norma global.

Suministro de herramientas para optimizar los estudios sobre la huella ambiental: El alcance de esta guía resalta que la evaluación de la huella ambiental del café desde cero requiere una importante cantidad de recursos. Las herramientas que contienen bases de datos, cálculos automatizados y la visualización de resultados facilitan la posibilidad de que las personas sin experiencia en la LCA también puedan evaluar el desempeño ambiental de sus propios sistemas de una forma rápida y económica.

Del conocimiento a la acción: Una vez se identifican los focos ambientales, la siguiente etapa es la implementación. La GIA proporciona un resumen de las mejores prácticas para el cultivo del café y el procesamiento post cosecha (Rodríguez V. et al., 2018); estas también se resumen en el capítulo 7.

9. REFERENCIAS

- Adams, M. a., & Ghaly, A. E. (2007a).** Determining barriers to sustainability within the Costa Rican coffee industry. *Sustainable Development*, 15(4), 229–241. <https://doi.org/10.1002/sd.314>
- Adams, M., & Ghaly, A. E. (2007b).** Maximizing sustainability of the Costa Rican coffee industry, 15, 1716–1729. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2006.08.013>
- Alvarado, G., Elías Posada-Suárez, H., Alfonso Cortina-Guerrero, H., Duque-Orrego, H., Vicente Baldión-Rincón, J., & Guzmán-Martínez, O. (2005).** La VARIEDAD CASTILLO NARANJAL para las regiones cafeteras de Caldas, Quindío, Risaralda y Valle.
- Androcioli Filho, A. (2002).** CAFÉ ADENSADO: Espaçamentos e cuidados no manejo da lavoura, 30.
- Arcila Pulgarín, J., Farfan, F., Moreno, A., Salazar, L. F., & Hincapie, E. (2007).** Sistemas de producción de café en Colombia. Chinchiná.
- Arevalo U., D., Sabogal M., J., Lozano A., J. G., & Martinez A., J. S. (2018).** Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica.
- Bartholo, G. F., Melo, B., & Mendes, A. N. G. (1998).** Evolução na adoção de espaçamentos na cultura do Café. *Informe Agropecuário*, 19(193), 61 – 70.
- Beck, T., Bos, U., Wittstock, B., Baitz, M., Fischer, M., & Sedlbauer, K. (2010).** LANCA Land Use Indicator Value Calculation in Life Cycle Assessment – Method Report. Fraunhofer Institute for Building Physics.
- Bhatia, P., Cummins, C., Brown, A., Rich, D., Draucker, L., & Lahd, H. (2018).** Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard. Retrieved from http://ghgprotocol.org/sites/default/files/standards/Corporate-Value-Chain-Accounting-Reporting-Standard_041613_2.pdf
- Birkved, M., & Hauschild, M. Z. (2006).** PestLCI — A model for estimating field emissions of pesticides in agricultural LCA, 8, 433–451. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.05.035>
- Bos, U., Horn, R., Beck, T., Lindner, J. P., & Fischer, M. (2016).** LANCA® - Characterisation Factors for Life Cycle Impact Assessment, Version 2.0. Stuttgart.
- Browning, G., & Fisher, N. (1976).** High density coffee: Yield results for the cycle from systematic plant spacing designs.
- BSI. (2011).** PAS 2050:2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. London, UK.
- BSI. (2012).** PAS 2050-1:2012 Assessment of life cycle greenhouse gas emissions from horticultural products, 46.
- Calderón C, R., & Rodríguez V, N. (2018).** Modelo integral de manejo de microcuencas cafeteras en Colombia, Experiencia “Manos al Agua.” Chinchiná.
- Cannell, G. R. (1985).** *Physiology of the Coffee Crop* (pp. 108–134). https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6657-1_5
- Castro-Toro, A. M., Rivillas-Osorio, C. A., Serna-Giraldo, C. A., & Mejía-Mejía, C. G. (2008).** Avances técnicos 368 Cenicafé.
- Germinadores de café.** Construcción, manejo de Rhizoctonia solani y costos. Avances Técnicos Cenicafé, 1–12.
- Cenicafé. (2018).** Guía más agronomía más productividad. Chinchiná. 2018. 111 p.
- Colcafe. (2018).** De la trilla a la taza- Apasionados por el Café.
- DANE. (n.d.).** Clasificación Industrial Internacional Uniforme de todas las actividades económicas Revisión 3.1 Adaptada para Colombia.
- De Klein, C., Novoa, R., Ogle, S., Smith, K., Rochette, P., Wirth, C., ... Williams, S. (2006).** IPCC evaluate
- De Klein, C., Novoa, R., Ogle, S., Smith, K., Rochette, P., Wirth, C., ... Williams, S. (2006).** IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chapter 11: N2O Emissions from Managed Soils, and CO2 Emissions from Lime and Urea Application. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), 11.1-11.54.
- Dreicer, M., Tort, V., & Manen, P. (1995).** ExternE, Externalities of Energy. Nuclear, Centr d'étude Sur l'Evaluation de La Protection Dans Le Domaine Nucléaire (CEPN), 5.
- EnergyUseCalculator.com. (2019).** Electricity usage of a Coffee Maker.
- Environdec. (2013).** PCR on green coffee.
- Environdec. (2018).** PCR Espresso Coffee Drinks.
- Environdec. (2019).** PCR Moka coffee.
- European Commission. (2013).** ANNEX II : PRODUCT ENVIRONMENTAL FOOTPRINT (PEF) GUIDE. Brussels.
- European Commission. (2018).** PEFCR Guidance document, Guidance for the development of Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs), version 6.3.

- Federación Nacional de cafeteros. (2004).** Germinadores y Almacigos de café. Cartilla cafetera 4.
- Federación Nacional de cafeteros. (2018).** Prensa al día. Boletín electrónico 267.
- Federación Nacional de cafeteros. (2019a).** Estadísticas Históricas.
- Federación Nacional de cafeteros. (2019b).** Estadísticas Históricas | Cultivos de Café en Colombia.
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2018).** Informe del gerente. 86 CONGRESO NACIONAL DE CAFETEROS. Bogotá D.C.
- Florez Ramos, C., Quiroga Cardona, J., & Arias Suarez, J. C. (2018).** Guía más agronomía, más productividad. Chinchiná.
- FNC- Federación Nacional de cafeteros. (1997).** Sistema de Información Cafetera. Encuesta Nacional Cafetera SICA. Estadísticas Cafeteras. Informe Final. Bogota D.C.
- Freiermuth, R. (2006).** Modell zur Berechnung der Schwermetall- flüsse in der Landwirtschaftlichen Ökobilanz Inhaltsverzeichnis. Agroscope FAL Zürich-Reckenholz, (April), 28.
- Frischknecht, R., Braunschweig, A., Hofstetter, P., & Suter, P. (2000).** Human health damages due to ionising radiation in life cycle impact assessment. *Environmental Impact Assessment Review*, 20(2), 159–189. [https://doi.org/10.1016/S0195-9255\(99\)00042-6](https://doi.org/10.1016/S0195-9255(99)00042-6)
- Gaitán, Á., Villegas, C., Rivillas, C., Hincapié, É., & Arcila, J. (2011).** ALMÁCIGOS DE CAFÉ: Calidad fitosanitaria, manejo y siembra en el campo. Programa de Investigación Científica Fondo Nacional Del Café, 8.
- Gallo, P. B., Van Raij, B., Quaggio, J. A., & Esteves Pereira, L. C. (1999).** RESPOSTA DE CAFEZAIS ADENSADOS À ADUBAÇÃO NPK, 58(2), 109–124.
- Gmünder, S., Humbert, S., Bayart, J.-B., Torro, C., Puerto, M., Martinez, A., ... Conza, A. (2018).** WATER FOOTPRINT INDICATORS FOR THE "EL AGUA NOS UNE" INITIATIVE.
- Gomez, A. (1990).** Manejo integrado de malezas en el cultivo del café y la erosión de los suelos. In CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ - Cenicafé. (pp. 5–22). Chinchiná.
- Guinee, J., Bruijn, H. de, Duin, R. van, & Huijbregts, M. A. J. (2002).** Handbook on Life Cycle Assessment. Eco-Efficiency in Industry and Science (Vol. 7). <https://doi.org/10.1007/0-306-48055-7>
- IPCC. (2006a).** Grassland. IPCC (Vol. 4). <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.05320.x>
- IPCC. (2006b).** IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC. (2013).** Adoption and acceptance of the "2013 supplement to the 2006 guidelines: Wetlands" (Vol. 2). Geneva, Switzerland.
- ISO. (2006a).** 14040 - Environmental management - Life cycle assessment - Principles and Framework. International Standard Organisation.
- ISO. (2006b).** 14044 - Environmental management - Life cycle assessment - Requirements and guidelines. International Standard Organisation.
- ISO. (2006c).** ISO 14025:2006(E) Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations- Principles and procedures. Geneva, CH: International Organization for Standardization.
- ISO. (2006d).** ISO 14040:2006(E) Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework. Geneva, Switzerland: International Organization for Standardization.
- ISO. (2013).** ISO TS/14067 : Greenhouse gases -- Carbon footprint of products -- Requirements and guidelines for quantification and communication.
- ISO. (2014).** ISO 14046:2014 (E) Environmental management. Water footprint - principles, requirements and guidelines. Environmental Standards Catalogue. Geneva, Switzerland.
- ISO. (2017a).** ISO/TR 14073:2017(E) Environmental management — Water footprint — Illustrative examples on how to apply.
- ISO 14046.** Geneva, CH: International Organization for Standardization.
- ISO. (2017b).** ISO 14046 - Environmental management - Water footprint practical guide.
- Kim, Y. M. (2009).** Validation of psychometric research instruments: The case of information science. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 60(6), 1178–1191.
- Koch, P., Salou, T., Colomb, V., Payen, S., Perret, S., Tailleur, A., & Willmann, S. (2013).** AGRIBALYSE ® : METHODOLOGY Version 1.1, (March).
- Koellner, T., de Baan, L., Beck, T., Brandao, M., Civit, B., Goedkoop, M., ... Wittstock, B. (2012).** Principles for life cycle inventories of land use on a global scale. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 1–13. <https://doi.org/10.1007/s11367-012-0392-0>

- Lavola, Olarte, D., Duque-Orrego, H., Gaitan, A., Rojas Acosta, J. M., Sadeghian, S., ... Valencia, I. D. (2019).** *Nama café de colombia*
- Likert, R. (1932).** *A technique for the measurement of attitudes. Archives of psychology.*
- Lüdecke, D. (2018).** *sjmisc: Data and Variable Transformation Functions. Journal of Open Source Software, 3(26), 754.*
- Lüdecke, D. (2019).** *SjPlot: Data Visualization for Statistics in Social Science.*
- Lupiáñez-Villanueva, F., Tornese, P., Veltri, G. A., & Gaskell, G. (2018).** *Assessment of different communication vehicles for providing Environmental Footprint information.*
- Montilla, J. P. (2006).** *Caracterización de algunas propiedades físicas y factores de conversión del café. Universidad de Caldas.*
- MUÑOZ, O., URUEÑA, M., SAMPER, L. ., SALDIAS, C. ., BUITRAGO, M., GAST, ... SANCHEZ A., P.M.; MEDINA R., R. . (2013).** *Manual del cafetero colombiano : Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura. Chinchiná.*
- Nemecek, T, Gaillard, G., Freiermuth, R., Antón, A., Wilfart-Monziols, A., & Hermansen, J. (2011).** *ecoinvent V3.0 Good practice for life cycle inventories in agriculture (plant and animal production). Zurich and Dübendorf.*
- Nemecek, Thomas, Bengoa, X., Lansche, J., Mouron, P., Riedener, E., Rossi, V., & Humbert, S. (2015).** *World Food LCA Database Methodological Guidelines for the Life Cycle Inventory of Agricultural Products. Lausanne and Zurich, Switzerland.*
- Noponen, M. R. A., Edwards-jones, G., Hagggar, J. P., Soto, G., Attarzadeh, N., & Healey, J. R. (2012).** *Greenhouse gas emissions in coffee grown with differing input levels under conventional and organic management. "Agriculture, Ecosystems and Environment," 151, 6–15. https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.019*
- Orozco, G. V., Mercedes, C., Espinosa, O., Carlos, J., Salazar, S., Fabián, C., & Pantoja, L. (2012).** *Carbon storage in agroforestry arrangements associated with coffee (Coffea arabica) in the south of Colombia, 213–221.*
- Ovalle, O. (2016).** *Almacenamiento de carbono en sistemas agroforestales con café en costa rica, 24. PEFCR coffee. (2016). Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs): Coffee, 238.*
- Penny, T., Fisher, K., & Collins, M. (2012).** *GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard Sector Guidance for Pharmaceutical and Medical Device Products Pilot Testing Draft August 2012 GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard Sector Guidance for Pharmace. London, UK: Environmental Resources Management Limited.*
- Phillips, J. F., Duque, A. J., Cabrera, K. R., Yepes, A. P., Navarrete, D. A., Garcia, M. C., ... M, V. D. (2011).** *Estimación de las reservas potenciales de carbono almacenadas en la biomasa aérea en bosques naturales de Colombia. Bogota D.C.*
- Posch, M., Seppälä, J., Hettelingh, J. P., Johansson, M., Margni, M., & Jolliet, O. (2008).** *The role of atmospheric dispersion models and ecosystem sensitivity in the determination of characterisation factors for acidifying and eutrophying emissions in LCIA. International Journal of Life Cycle Assessment, 13(6), 477–486. https://doi.org/10.1007/s11367-008-0025-9*
- Quantis. (2016).** *Product Environmental Footprint Category Rules (PEFCRs): Coffee, 238.*
- Quantis. (2019).** *Accounting for natural climate solutions: Guidance for measuring GHG emissions from land, forests, and soils across the supply chain.*
- Rattan, S., Parande, A. K., Nagaraju, V., & Ghiwari, G. K. (2015).** *A comprehensive review on utilization of wastewater from coffee processing. Environmental Science and Pollution Research, 22(9), 6461–6472. https://doi.org/10.1007/s11356-015-4079-5*
- Rendón, J., & Flórez, L. (2017).** *Criterios para el establecimiento de cultivos de café en Colombia. Avances Tecnicos Cenicafé, 475(January), 8.*
- Rikxoort, H. Van, Schroth, G., Läderach, P., & Rodríguez-sánchez, B. (2014).** *Carbon footprints and carbon stocks reveal climate-friendly coffee production, 887–897. https://doi.org/10.1007/s13593-014-0223-8*
- Roa, G., Oliveros, C. E., Álvarez, J., Ramirez, C. ., Sanz, J. R., Davila, M. T., ... Rodriguez, N. (1999).** *El beneficio ecologico del café. Chinchiná.*
- Rodriguez, N., Quintero Y., L. V, Castañeda S, A., Ospina P, C., & De Miguel G, A. (2018).** *Informe final de los ensayos sobre evaluación de filtros verdes para el tratamiento de las aguas residuales del café. Proyecto GIA. 2017- 2018.*
- Rodriguez V., N., & Quintero Y., L. V. (2015).** *Índice de manejo del agua en el proceso de beneficio húmedo del café.*
- Rodriguez V., N., Quintero Y., L. V, Castañeda S, A., Trejos P, F., Ospina P, C., Menza F, H., ... Romero S, M. (2018).** *Informe de la determinación experimental de la huella hídrica del café de Colombia.*
- Rodríguez Valencia, N., Sanz Uribe, J. R., Oliveros Tascón, C. E., & Ramírez Gómez, C. A. (2015).** *Beneficio del café en Colombia. Prácticas y estrategias para el ahorro, uso eficiente del agua y el*

control de la contaminación hídrica en el proceso de beneficio húmedo del café. *Beneficio Del Café En Colombia*.

Rojas Acosta, J. M., Rodríguez Valencia, N., Sánchez Romero, M. A., García, Á. de M., Montes, M. A., & Quintero Yepes, L. V. (2019). *Guide to Colombian Coffee Water Footprint Assessment*.

Rosenbaum, R. K., Anton, A., Bengoa, X., Bjørn, A., Brain, R., Bulle, C., ... Wallman, M. (2015). *The Glasgow consensus on the delineation between pesticide emission inventory and impact assessment for LCA*. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(6), 765–776. <https://doi.org/10.1007/s11367-015-0871-1>

Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Jolliet, O., Juraske, R., Koehler, A., & Hauschild, M. Z. (2008). *USEtox — the UNEP-SETAC toxicity model: recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment*, 532–546. <https://doi.org/10.1007/s11367-008-0038-4>

Sadeghian, K. (2017). *Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en café, (Tabla 1)*.

Sadeghian, S. (2008). *Fertilización del suelo y nutrición del café en Colombia*.

Sadeghian, S., & González Osorio, H. (2012). *Alternativas generales de fertilización para cafetales en la etapa de producción*, *AVANCES T.E.*, 8.

Sadeghian, S., & Jaramillo Robledo, A. (2017). *Nutrición de los cafetales en Colombia. Programa de Investigación Científica Fondo Nacional Del Café*, (6).

Sánchez Navarro, D., Lis-Gutiérrez, J. P., Campo Robledo, J., & Herrera Saavedra, J. P. (2013). *Estudios Económicos Sectoriales*.

Seppälä, J., Posch, M., Johansson, M., & Hettelingh, J.-P. (2006). *Country-dependent Characterisation Factors for Acidification and Terrestrial Eutrophication Based on Accumulated Exceedance as an Impact Category Indicator (14 pp)*. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 11(6), 403–416. <https://doi.org/10.1065/lca2005.06.215>

Struijs, J., Beusen, A., van Jaarsveld, H., & Huijbregts, M. A. J. (2009). *Aquatic Eutrophication*. Chapter 6 in: 4138 Goedkoop, M., Heijungs, R., Huijbregts, M.A.J., De Schryver, A., Struijs, J., Van Zelm, R. (2009). *ReCiPe 2008 4139 A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midp*.

Suarez R, R., & Carvajal M, F. (2018). *Impacto económico en las fincas cafeteras de Colombia. Modelo de medición. Gestión Inteligente del Agua*. Chinchiná.

UNEP. (2016). *Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators: Volume 1*.

Uribe, H., & Mestre, M. (1980). *Efecto de la gallinaza como abono en almacigos de café*. In: *Control Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé*. Chinchina. Colombia. Informe Anual de Labores de la Sección de café. Chinchiná.

Uribe, H., & Mestre, M. (1988). *Efecto de la distancia de siembra del número de plantas por hoyo sobre la producción de café *Coffea arabica* L. var. Caturra*.

Van Oers, L., de Koning, A., Guinee, J., & Huppes, G. (2002). *Abiotic Resource Depletion in LCA*. Amsterdam.

Van Zelm, R., Huijbregts, M. A. J., Den Hollander, H. A., Van Jaarsveld, H. A., Sauter, F. J., Struijs, J., ... Van de Meent, D. (2008). *European characterization factors for human health damage of PM10 and ozone in life cycle impact assessment*. *Atmospheric Environment*, 42, 441–453.

Weidema, B. P., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., ... Weidema B P, Bauer C, Hischer R, Mutel C, Nemecek T, Reinhard J, Vadenbo C O, W. G. (2013). *Overview and methodology - Data quality guideline for the ecoinvent database version 3. Ecoinvent report 1(v3) (Vol. 3)*. St. Gallen.

WFN. (2019). *Water footprint network*.

Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis*. Springer-Verlag New York.

Scientific Assessment of Ozone Depletion: 1998. *Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 44*, ISBN 92-807-1722-7. Geneva.

10. ANEXO

10.1 TÉRMINOS Y DEFINICIONES

Los principales términos y definiciones utilizados en esta guía se basan en las RCHAP v6.3 (Comisión Europea, 2018) y si se define abajo, consulte la versión más actualizada de la Guía de la Huella Ambiental del Producto (HAP), la norma ISO 14025:2006, ISO 14040-44:2006 y el protocolo ENVIFOOD.

Afirmación comparativa – Una declaración ambiental con respecto a la superioridad o equivalencia de un producto con respecto a un producto competidor que realiza la misma función (adaptada de ISO 14025:2006).

Aspecto ambiental – Elemento de las actividades, productos o servicios de una organización que interactúa o que puede interactuar con el ambiente (ISO 14001:2015).

Cadena de suministro – Se refiere a todas las actividades iniciales y derivadas asociadas con las operaciones de la compañía que aplica las RCHAP, incluye el uso de productos vendidos por los consumidores y el tratamiento del final de la vida útil de los productos vendidos después de su uso por parte del consumidor.

Categoría del producto – Grupo de productos (o servicios) que puede cumplir funciones equivalentes (ISO 14025:2006).
Comunicación externa – Comunicación a cualquier parte interesada distinta del inspector o el profesional del estudio.
Conjunto de datos de proceso unitario – El elemento más pequeño considerado en el análisis del ICV para el cual se cuantifican los datos de entrada y de salida (ISO 14040:2006). En la práctica del ACV, tanto los procesos no separables físicamente (como las operaciones unitarias en las plantas de producción, llamadas “proceso de operación unitaria”), así como toda la planta, se clasifican dentro del término “proceso unitario” llamado “proceso unitario de caja negra” (Manual de ILCD).

Conjunto de datos del Inventario del Ciclo de Vida (ICV) – Documento o archivo con la información del ciclo de vida de un producto especificado u otra referencia (p. ej., instalaciones, proceso), que incluye los metadatos descriptivos y el ICV cuantitativo. Un conjunto de datos del ICV podría ser un conjunto de datos de un proceso de unidad, un conjunto de datos agregado o parcialmente agregado.

Datos de la actividad - Este término se refiere a la información asociada con los procesos modelados en cada etapa del Ciclo de Vida (ICV). En la Guía de la HAP también se llaman “flujos no elementales”. Cada resultado del ICV de las cadenas de proceso que representan las actividades de un proceso se multiplica por los correspondientes datos de actividad y luego

se combinan para derivar la huella ambiental asociada con dicho proceso (vea la Figura 10). Algunos ejemplos de datos de la actividad incluyen cantidad de KWh de electricidad utilizada, cantidad de combustible utilizada, el resultado de un proceso (p. ej., desechos), cantidad de horas que se utilizan los equipos, distancia recorrida, superficie del suelo de un edificio, etc. En el contexto de la HAP, la cantidad de ingredientes de una receta de materiales (RM) siempre se considerará como un dato de la actividad.

Datos específicos de la compañía – datos directamente medidos y recolectados de una o varias instalaciones (datos específicos de las instalaciones) que son representativos para las actividades de la compañía. Es sinónimo de “datos primarios”. Para determinar el nivel de representación se puede aplicar un procedimiento de muestreo.

Datos específicos de las instalaciones – Se refiere a datos medidos o recolectados de forma directa en una planta (instalaciones de producción). Es sinónimo de “datos primarios”.

Datos primarios – se refiere a datos de procesos específicos dentro de la cadena de suministros de la compañía que aplica las RCHAP. Dichos datos pueden ser datos de actividad o flujos elementales de primer plano (ICV). Los datos principales son específicos de las instalaciones, específicos de la compañía (si se trata de varias instalaciones para el mismo producto) o específicos de la cadena de suministro. Los datos principales pueden obtenerse mediante medición, registros de compra, facturas de servicios, modelos de ingeniería, balances de materiales/productos, estequiometría u otros métodos para obtener datos de procesos específicos en la cadena de valor de la compañía que aplica las RCHAP. En esta Guía, el término datos principales es sinónimo de “datos específicos de la compañía” o “datos específicos de la cadena de suministro”.

Datos secundarios – datos de procesos no específicos dentro de la cadena de suministro de la compañía que aplica las RCHAP. Esto se refiere a datos que no se recolectan, miden o estiman de forma directa por parte de la compañía, pero que provienen de una base de datos de un ICV de un tercero u otras fuentes. Los datos secundarios incluyen datos promedios de la industria (p. ej., de datos de producción publicados, estadísticas gubernamentales y asociaciones industriales), estudios de literatura, estudios de ingeniería y patentes, y también se pueden basar en datos financieros; contienen datos representativos y otros datos genéricos. Los datos principales que se someten a una etapa de agregación horizontal se consideran como datos secundarios.

Declaración ambiental de Tipo III – Una declaración ambiental que proporciona datos ambientales cuantificados que utilizan parámetros predeterminados y, cuando corresponda,

información ambiental adicional (ISO 14025:2006). Los parámetros predeterminados se basan en la serie de normas de la ISO 14040, que se compone de la ISO 14040 y la ISO 14044.

Empresa a consumidores (B2C) – Describe transacciones entre empresas y consumidores, como entre minoristas y consumidores. De acuerdo con la ISO 14025:2006, un consumidor se define como “un miembro individual del público general que compra o utiliza bienes, propiedad o servicios para fines privados”.

Empresa a empresa (B2B) – Describe transacciones entre las empresas, como entre un fabricante y un mayorista o entre un mayorista y un minorista.

Específico de la cadena de suministro – Se refiere a un aspecto específico de la cadena de suministro de una compañía. Por ejemplo, el valor de contenido de aluminio reciclado en una lata producida por una empresa en particular.

Estudio sobre la huella ambiental – Término utilizado para identificar la totalidad de las medidas necesarias para calcular los resultados de la EF. Esto incluye el modelado, la recolección de datos y el análisis de los resultados.

Flujo elemental – Material o energía que ingresa al sistema que se está estudiando y que se ha obtenido del ambiente sin transformación humana previa, o material o energía que sale del sistema que se está estudiando y que se libera en el ambiente sin transformación humana posterior.

Flujos de entrada – Flujo del producto, material o energía que ingresa a un proceso de unidad. Los productos y materiales incluyen materias primas, productos intermedios y subproductos (ISO 14040:2006).

Flujos de salida – Flujo del producto, material o energía que sale a un proceso de unidad. Los productos y materiales incluyen materias primas, productos intermedios, subproductos y liberaciones (ISO 14040:2006).

Flujos elementales directos (también llamados flujos elementales) – Todo uso de recursos entrantes y emisiones salientes que se generen directamente en el contexto de un proceso. Algunos ejemplos de esto son las emisiones de un proceso químico o emisiones fugitivas de una caldera directamente en el sitio. Vea la Figura 2.

Informe de verificación – Documentación del proceso y los hallazgos de la verificación, incluidos comentarios detallados de los Verificadores, así como las respuestas correspondientes. Este documento es obligatorio, pero puede ser confidencial. No obstante, el verificador o, en caso de un panel de verificación, el verificador líder, deberá firmarlo de forma electrónica o física.

Inventario del Ciclo de Vida (ICV) – El conjunto combinado de intercambios de flujos elementales, de desperdicios y del producto en un conjunto de datos del ICV.

Muestra – Una muestra es un subconjunto que contiene las características de una población mayor. Se utilizan las muestras en las pruebas estadísticas cuando los tamaños de población son demasiado grandes para que la prueba incluya todos los posibles miembros u observaciones. Una muestra debe representar a toda la población y no refleja preferencias hacia un atributo específico.

Muestra representativa – Una muestra representativa con respecto a una o más variables es una muestra en la que la distribución de estas variables es exactamente la misma (o similar) que la de la población de la cual se extrae la muestra. Perfil de HAP – Los resultados cuantificados de un estudio de HAP. Incluye la cuantificación de los impactos para las distintas categorías de impacto y la información ambiental adicional que se debe reportar.

Producto intermedio – Un producto intermedio es un producto que requiere un procesamiento adicional antes de que se venda al consumidor final.

Referencia – Una norma o punto de referencia frente al cual se puede hacer cualquier comparación. En el contexto de la HAP, el término ‘referencia’ se refiere al desempeño ambiental promedio del producto representativo vendido en el mercado de la UE. Finalmente, se puede utilizar una referencia, si es adecuado, en el contexto del desempeño de comunicación ambiental de un producto que pertenece a la misma categoría.

Reglas de categoría del producto (RCP) – Conjunto de reglas, requisitos y directrices específicos para el desarrollo de declaraciones ambientales de Tipo III para una o más categorías del producto (ISO 14025:2006).

Reglas de categoría de la huella ambiental del producto (RCHAP) – Reglas específicas de la categoría del producto, basadas en el ciclo de vida que complementan la guía metodológica general para los estudios de HAP mediante el suministro de especificaciones adicionales al nivel de una categoría de producto específica. Las RCHAP ayudan a cambiar el enfoque del estudio de HAP hacia aquellos aspectos y parámetros que más importan, y por tanto contribuye a un aumento de la relevancia, reproducibilidad y consistencia de los resultados mediante la reducción de costos versus un estudio basado en los requisitos integrales de la guía de HAP.

Renovación – Es el proceso de restaurar componentes a un estado funcional y/o satisfactorio a la especificación original (proporcionar la misma función), con métodos como el revestimiento, repintado, etc. Los productos renovados pueden evaluarse y verificar si funcionan de manera adecuada.

¹³ Con base en la definición del alcance 3 del protocolo de GEI de la Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (Instituto de Recursos Mundiales, 20011).

¹⁴ Con base en la definición del alcance 3 del protocolo de GEI de la Estándar Corporativo de Contabilidad y Reporte (Instituto de Recursos Mundiales, 20011).

10.2 EMISIONES DE FOSFATO

El modelo de emisión de P de acuerdo con la guía WFLDB: "El modelo de análisis del impacto para la eutrofización de aguas dulces debe iniciar (i) cuando el P deje el campo agrícola (escorrentía) o (ii) a partir de la aplicación de abonos o fertilizantes en el campo agrícola. Dentro del modelado de ICV, a menudo el campo agrícola (suelo) se considera dentro de la tecnosfera y por tanto se incluye en el modelo de ICV. Esto se ajustó con el método (i), en los casos en que el modelo de análisis del impacto inició luego de la escorrentía, por ejemplo, cuando el P deja el campo agrícola. Por tanto, dentro del contexto de la EF, el ICV debe modelarse como la cantidad de P emitido al agua luego de la escorrentía y deberá utilizarse el compartimiento de emisión al 'agua'. Si la cantidad de agua no está disponible, el ICV puede modelarse como la cantidad de P aplicada sobre el campo agrícola (mediante abonos o fertilizantes) y deberá utilizarse el compartimiento de emisión al 'suelo'. En este caso, la escorrentía del suelo al agua es parte del método de evaluación del impacto y se incluye en el CF para el suelo.

Se distinguen tres rutas distintas de las emisiones de fósforo al agua:

- **lixiviación del fosfato soluble (PO₄) a las aguas subterráneas** (inventariada como "fósforo, a aguas subterráneas" como en ecoinvent),
- escorrentía del fosfato soluble al agua superficial (inventariada como "fósforo, a aguas superficiales"),
- erosión del agua de partículas del suelo que contienen fósforo (inventariada como "fósforo, a aguas superficiales")

La lixiviación del fosfato a aguas subterráneas se puede estimar como lixiviación promedio, corregida por la fertilización con P:

P_{gw} = cantidad de P lixiviado a aguas subterráneas [kg/(ha*a)]

P_{gw} = cantidad promedio de P lixiviado a aguas subterráneas para una categoría de uso de tierra [kg/(ha*a)], que es:
0,07 kg P/(ha*a) para tierra arable
0,06 kg P/(ha*a) para pastos y campos permanentes.

F_{gw} = coeficiente de corrección para la fertilización mediante lodo [sin dimensiones]

$F_{gw} = 1 + 0,2/80 * P_{2O5sl}$

P_{2O5sl} = cantidad de P_{2O5} contenidos en el lodo o fango líquido de aguas residuales [kg/ha].

La **escorrentía de fosfato a aguas superficiales** se puede calcular de forma similar que la lixiviación a aguas subterráneas:

P_{ro} = cantidad de P perdida mediante la escorrentía a ríos [kg/(ha*a)]

P_{ro} = cantidad promedio de P perdido mediante la escorrentía a la categoría de uso de suelo [kg/(ha*a)], que es:

- 0,175 kg P/(ha*a) para tierra arable
- 0,25 kg P/(ha*a) para pastos y campos permanentes intensivos
- 0,15 kg P/(ha*a) para pastos y campos permanentes extensivos

F_{ro} = coeficiente de corrección para la esterilización con P [sin dimensiones], calculado así:

$F_{ro} = 1 + 0,2/80 * P_{2O5min} + 0,7/80 * P_{2O5sl} + 0,4/80 * P_{2O5man}$

P_{2O5min} = cantidad de P_{2O5} contenido en el fertilizante mineral [kg/ha]

P_{2O5sl} = cantidad de P_{2O5} contenidos en el lodo o fango líquido de aguas residuales [kg/ha].

P_{2O5man} = cantidad de P_{2O5} contenido en el abono sólido [kg/ha]

Las **emisiones de fósforo mediante la erosión del suelo al agua superficial** se pueden calcular así:

P_{er} = cantidad de P emitido mediante la erosión a los ríos [kg P/(ha*a)]

S_{er} = cantidad de suelo erosionado [kg/(ha*a)]

P_{cs} = contenido de P en el suelo superior [kg P/kg suelo]. El valor promedio es 0,00095 kg/kg

F_r = coeficiente de enriquecimiento para P (-). El valor promedio es 1,86. Este coeficiente toma en cuenta el hecho de que las partículas de suelo erosionado contienen más P que suelo promedio.

F_{erw} = fracción de suelo erosionado que alcanza el río [sin dimensiones]. El valor promedio es 0,2."

10.3 EMISIONES DE METALES PESADOS

El modelo de emisión de metales pesados de acuerdo con la guía WFLDB "Emisiones de metales pesados en aguas subterráneas y superficiales (en caso de drenaje) se calculan con tasas de lixiviación constantes así:

$$M_{leachi} = m_{leachi} * FA$$

donde

| | |
|---------------------|---|
| M _{leachi} | emisión de metales pesados relacionada con la agricultura |
| m _{leachi} | cantidad promedio de la emisión de metales pesados |
| FA | Factor de asignación para la participación de entradas agrícolas en las entradas totales para metales pesados i |

Tabla: Lixiviación de metales pesados a aguas subterráneas de acuerdo con Wolfensberger y Dinkel (1997).

| Lixiviación | Cd | Cu | Zn | Pb | Ni | Cr | Hg |
|-------------|----|------|-------|-----|-----|-------|-----|
| mg/ha/year | 50 | 3600 | 33000 | 600 | n.a | 21200 | 1.3 |

Las emisiones de metales pesados mediante la erosión se calculan así:

$$M_{erosion} = ctot_i * Ser * a * f_{erosion} * FA$$

donde,

| | |
|------------------------|---|
| M _{erosion} | emisión de metales pesados relacionada con la agricultura mediante la erosión [kg ha ⁻¹ a ⁻¹] |
| ctot _i | contenido total de metales pesados en el suelo |
| Ser | cantidad de erosión del suelo |
| a= | coeficiente de acumulación 1,86 (de acuerdo con Wilke y Schaub (1986) para P) [-] |
| f _{erosion} = | coeficiente de erosión considerando la distancia al río o lago con un valor promedio de 0,2 (considera solo la fracción de suelo que alcanza el cuerpo hídrico, el resto se deposita en el campo [sin dimensiones]) |
| FA | Factor de asignación para la participación de entradas agrícolas en las entradas totales para metales pesados i [sin dimensiones] |

Tabla: Contenido promedio de metales pesados en mg por kg de suelo para Suiza (de Keller y Desaules, 2001)

| Uso del suelo | Cd | Cu | Zn | Pb | Ni | Cr | Hg |
|--------------------------|-------|------|------|------|------|------|-------|
| Pastizal permanente | 0.309 | 18.3 | 64.6 | 24.6 | 22.3 | 24 | 0.088 |
| Tierra arable | 0.24 | 20.1 | 49.6 | 19.5 | 23 | 24.1 | 0.073 |
| Cultivos de horticultura | 0.307 | 39.2 | 70.1 | 24.9 | 24.8 | 27 | 0.077 |

El equilibrio de todas las entradas en el suelo (fertilizantes, pesticidas, semillas y deposiciones) y salidas del suelo (biomasa exportada, lixiviación y erosión), multiplicado por el coeficiente de asignación se calcula como una emisión al suelo agrícola.

Si la absorción de metales pesados por parte de las plantas y la emisión de la lixiviación y erosión exceden las entradas, resultará en un equilibrio negativo. Esto sucede en particular si se cosecha una gran biomasa y las entradas son bajas. Los metales pesados se transfieren a la biomasa y se deben considerar de forma adecuada en el modelado del ciclo de vida subsecuente (es decir, volvió al suelo, se transfirió al agua o a vertederos al final del ciclo de vida).

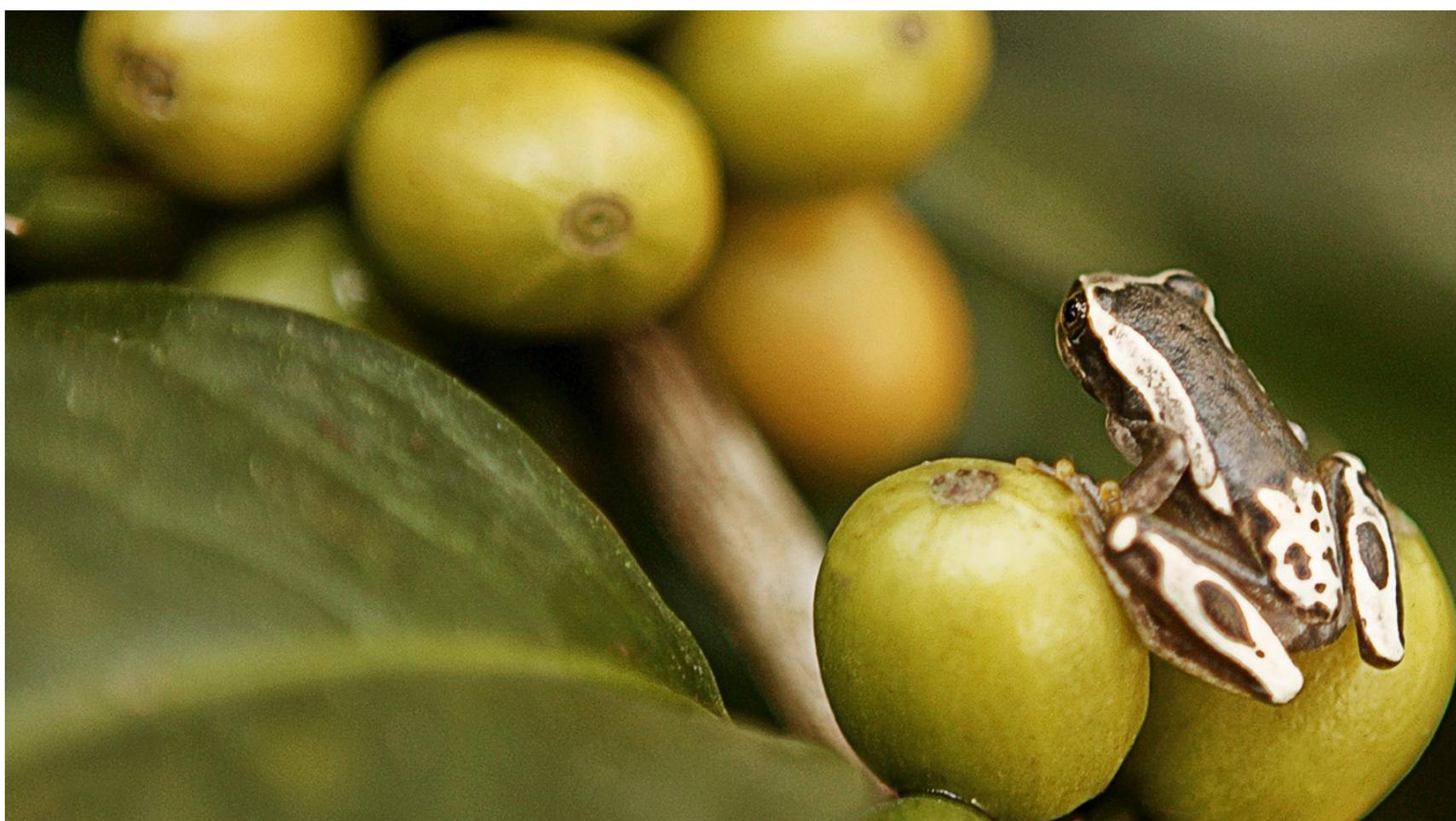
Una cierta fracción de la entrada de metales pesados en el suelo proviene de la deposición atmosférica. La deposición se daría incluso sin producción agrícola alguna y por tanto no se carga al último. Para esto, se tiene en cuenta un coeficiente de asignación. Por tanto, el agricultor solo es responsable por una parte de las entradas (el resto se deriva principalmente de otros sectores económicos), por lo que se calcula solo una parte de las emisiones en el inventario.

$$FA = \frac{Magro_i}{(Magro_i + M_{deposition_i})}$$

| | |
|----------------------|--|
| FA | Factor de asignación para la participación de entradas agrícolas en las entradas totales para metales pesados i |
| Magro _I = | total de la entrada de metales pesados de las producciones agrícolas en mg/(ha*año) (fertilizador + semillas + pesticidas) |

$$M_{deposition_i} = \text{total de la entrada de metales pesados de la deposición atmosférica en mg/(ha*año) (Tabla 9)}$$

En casos donde Magro_i = 0, es decir, sin que se den entradas agrícolas al suelo, FA también se vuelve 0."



 **el agua
nos une**