

CalCafé v2.1

Software de cálculo para la huella ambiental
del café peruano de exportación utilizando la
herramienta del Análisis de Ciclo de Vida (ACV)

Manual de uso





Una publicación de la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo - PROMPERÚ

Calle Uno Oeste N° 50, piso 14, urb. Córpac,
San Isidro, Lima - Perú
Teléfono: (51-1) 616-7300
www.promperu.gob.pe

© PROMPERÚ. Todos los derechos reservados.
Distribución gratuita. Prohibida su venta.

Institución que redacta el informe:

Red Peruana Ciclo de Vida y Ecología Industrial (PELCAN), Departamento de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP), avenida Universitaria 1801, San Miguel 15088, Lima, Perú.

Equipo de investigación

César Portocarrero, asistente de investigación
PELCAN-PUCP Gustavo Larrea Galllegos, MSc,
investigador PELCAN-PUCP Ian Vázquez Rowe, PhD,
profesor asociado PUCP

Gestión del proyecto

Ian Vázquez Rowe, PhD, profesor asociado PUCP

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

Mateo Ledesma - Especialista en Ciudades,
Consumo y Producción Sostenible
Ignacio Sánchez - Oficial de Eficiencia de Recursos

Corrección de estilo: Juan Carlos Bondy

Diseño y diagramación: Realidades SAC, Heysen Encarnación

Lima, abril de 2021

Índice

1.

Introducción

2.

Antecedentes

3.

Marco conceptual

4.

Características de la calculadora

5.

Uso del software

6.

Interpretación de resultados

7.

Referencias

Agradecimientos

Los autores del estudio agradecen el apoyo del profesor Federico Alexis Dueñas en el tema de captura de carbono, así como el apoyo de Shirley Muñoz y María Isabel Quispe, a la hora de clarificar aspectos ligados al sistema de producción de café. Jorge Barrientos y María del Pilar Alarcón, ambos de PROMPERÚ, son agradecidos, junto con otros actores de instituciones públicas y privadas, por sus recomendaciones en las reuniones técnicas durante el desarrollo del software. La empresa suizaecoinvent® es agradecida en este estudio por su apoyo brindando a la hora de usar su base de datos de ciclo de vida en su versión 3.6. Por último, se agradece al proyecto Resource Efficiency through Application of Life cycle thinking (REAL) de la Comisión Europea y al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) por financiar el presente proyecto; sin su participación este no se podría haber llevado a cabo.

1.

Introducción

CalCafé v2.1 (referida como la calculadora de ahora en adelante) se define como una herramienta informática que facilita el cálculo de los impactos ambientales asociados a la producción de café verde y su consumo, que utiliza como estructura operacional la metodología de análisis de ciclo de vida (ACV).

El análisis efectuado comprende los 338 distritos cafetaleros del Perú para la fase de producción y los países europeos más representativos en la fase de consumo. Para la fase de producción, el análisis se realiza considerando una perspectiva de *cuna a puerta*, es decir, desde la etapa de vivero hasta la etapa de traslado a puerto. En cambio, la fase de consumo aborda una perspectiva de *cuna a tumba*.

Asimismo, la calculadora permite realizar cálculos a distintos niveles de detalle y evalúa ocho categorías de impacto: potencial de cambio climático (**GWP**), escasez de agua (**WD**), eutrofización de agua dulce (**FE**), ecotoxicidad de agua dulce (**FT**), toxicidad humana sin efectos cancerígenos (**HTP-NC**), toxicidad humana con efectos cancerígenos (**HTP-C**), material particulado (**PM**) y acidificación de agua dulce (**FA**). El siguiente manual contiene información respecto a la metodología de análisis, la arquitectura del *software*, la interfaz de usuario, y la interpretación y limitaciones de los resultados computados.

2.

Antecedentes

Actualmente, la tendencia de los consumidores a optar por productos con reducido impacto ambiental ha ido en aumento. La popularidad de las ecoetiquetas, certificaciones verdes y productos orgánicos son algunos ejemplos que evidencian este fenómeno. Dentro de este contexto, se encuentra también la decisión de la Unión Europea (UE) de restringir el ingreso de los productos que no cumplan los estándares mínimos de cuidado al medioambiente desde 2021.

Dado que la UE es el mercado que consume más de la mitad del café producido en todo el mundo y que las exportaciones de América Latina y el Caribe se dirigen mayoritariamente a esta región, resulta imprescindible adaptar los métodos productivos para que cumplan con estos estándares. En este sentido, es necesario el desarrollo de nuevas metodologías que faciliten la cuantificación del impacto ambiental de las actividades involucradas en la producción del café. Por este motivo, el presente *software* de cálculo consiste en una herramienta que permite estimar el impacto ambiental de una plantación personalizable de café localizada en el Perú, con base en la información de entrada provista por el usuario.

El desarrollo de las Reglas de Categoría de Huella Ambiental (PEFCR) desde 2013 por parte de la Comisión Europea (CE) busca resolver las confusiones sobre el cálculo de huellas ambientales de múltiples productos del sector alimentos y bebidas, incluyendo el café. La CE propuso como una de las métricas para evaluar el desempeño ambiental de la producción de café a la huella ambiental de producto (HAP), basada en la metodología de ACV. En la HAP se cuantifica el impacto ambiental involucrado desde la producción de la materia prima utilizada hasta la disposición final del producto. Inicialmente, se consideraron las siguientes 15 categorías de impacto:

- ✓ Cambio climático
- ✓ Eutrofización terrestre
- ✓ Destrucción de la capa de ozono
- ✓ Eutrofización de agua dulce
- ✓ Toxicidad humana con efectos no cancerígenos
- ✓ Ecotoxicidad en medio acuático
- ✓ Partículas y aspectos respiratorios
- ✓ Radiación ionizante
- ✓ Consumo de recursos acuáticos
- ✓ Formación de ozono fotoquímico
- ✓ Consumo de recursos minerales y combustibles fósiles
- ✓ Acidificación
- ✓ Uso de suelo

Sin embargo, muchos países latinoamericanos no estaban desarrollados para implementar la normativa europea ni disponían de los datos requeridos para efectuar los cálculos solicitados. En vista de ello, la Comisión Económica para América Latina y el Caribe (Cepal) visitó a los productores y exportadores de café de 11 países latinoamericanos a fin de recoger información y capacitarlos. Estos países luego conformarían la Red Latinoamericana y del Caribe de la Huella Ambiental del Café. Su objetivo consiste en facilitar la participación de los productores y exportadores en la definición de la norma. Por ejemplo, uno de sus principales aportes es la reducción de las categorías de impacto ambiental a tan solo ocho de las iniciales, tomando en cuenta su relevancia. Asimismo, se resaltó que el uso de información genérica para el cómputo de la huella ambiental tiende a perjudicar principalmente a los productores orgánicos, por lo que se recomendó el uso de información específica a cada país de ser posible.

3.

Marco conceptual

3.1. Conceptos clave

Para el uso adecuado de la herramienta, se requiere comprender los siguientes conceptos:



Acidificación de agua dulce: indicador del ingreso de sustancias acidificantes como sulfatos y nitratos en cuerpos de agua dulce, cuantificado en iones hidrógeno equivalentes.



Asignación: la asignación de cargas ambientales se lleva a cabo cuando en un mismo proceso se produce más de un producto o servicio. En consecuencia, se debe establecer alguna manera de ponderar cada uno de ellos. Esta situación es de frecuente ocurrencia en la producción de alimentos.



Categoría de impacto: conjunto de emisiones o efluentes que producen un mismo efecto en el ambiente.



Ciclo de vida: cadena de valor conformada por todas las actividades que intervienen en un producto o servicio desde la extracción de las materias primas hasta su deposición como residuo.



Dióxido de carbono equivalente: unidad de medida empleada para cuantificar el potencial de calentamiento global de cada uno de los gases de efecto invernadero en relación con el dióxido de carbono. Se representa con el símbolo CO₂eq.



Entrada: flujos necesarios para la ejecución de una fase de un sistema. Pueden referirse a recursos, materias primas, productos, transportes, fuentes de energía, etc.



Escasez de agua: indicador del consumo de agua durante el sistema de producción que toma en cuenta la disponibilidad de este recurso en la cuenca local.



Eutrofización de agua dulce: indicador del enriquecimiento del ecosistema acuático con elementos nutritivos, principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo.



Ecotoxicidad de agua dulce: indicador del potencial de acidificación de fuentes de agua dulce debido a la emisión de gases como óxidos de nitrógeno y óxidos de azufre.



Factor de caracterización: contribución relativa de una sustancia dada a una determinada categoría de impacto.



Gas de efecto invernadero (GEI): gases integrantes de la atmósfera de origen natural y antropogénico. Estas sustancias retienen la energía solar que llega a la superficie del planeta y lo calientan.



Huella de carbono: metodología de ciclo de vida que computa el total de emisiones de GEI a la atmósfera producidas directa o indirectamente por un proceso, producto o servicio.



Huella hídrica: Metodología de ciclo de vida que mide los indicadores ambientales relacionados con la degradación y el consumo de agua producidos directa o indirectamente por un proceso, producto o servicio.



Inventario de ciclo de vida: principales flujos de materia y energía que intervienen en un sistema de producción. Cada uno puede tener un impacto ambiental asociado, de acuerdo con la categoría de impacto.



Límites del sistema: criterios que delimitan los procesos que conforman el sistema de producción a analizar para el cálculo del impacto ambiental.



Material particulado: indicador de la formación de partículas cuyo diámetro es menor o igual a 2,5 micrómetros ($PM_{2.5}$). El ingreso de estas trae consecuencias perjudiciales para la salud al enquistarse en los pulmones o ingresar en el sistema circulatorio.



Potencial de calentamiento global: efecto de calentamiento durante el tiempo correspondiente a 1 kg de un determinado GEI expresado relativamente al causado por el dióxido de carbono. Toma en cuenta los efectos de la fuerza radiactiva de cada gas y su tiempo de permanencia en la atmósfera.



Salida: subproductos, residuos y emisiones al aire, al agua y al suelo presentes al final de cada proceso del sistema de producción.



Toxicidad humana sin efectos cancerígenos: indicador de los efectos negativos a la salud humana producidos por la ingesta de sustancias tóxicas a través de la inhalación de aire, el consumo de comida o agua y la penetración de la piel. Estos efectos no se relacionan con enfermedades cancerígenas, material particulado ni radiación ionizante.



Toxicidad humana con efectos cancerígenos: indicador de los efectos negativos a la salud humana producidos por la ingesta de sustancias tóxicas a través de la inhalación de aire, el consumo de comida o agua y la penetración de la piel. Estos efectos se relacionan únicamente con enfermedades cancerígenas.



Unidad funcional: referencia de base matemática del producto del sistema analizado, necesario para considerar las entradas y salidas.

3.2. Metodología de ACV

3.2.1. Definición

Según el ISO 14040, el ACV se define como “una técnica para evaluar los aspectos medioambientales y los potenciales impactos asociados con un producto mediante la recolección de un inventario de las entradas y salidas relevantes de un sistema, la evaluación de los potenciales impactos medioambientales asociados con esas entradas y salidas, y la interpretación de los resultados de las fases de análisis y evaluación de impacto de acuerdo con los objetivos del estudio” (International Organization for Standardization, 2006a). Esta definición implica que el ACV es una herramienta que se puede utilizar para evaluar las cargas ambientales de un producto desde *la cuna a la tumba*. Esto quiere decir que, bajo este enfoque, el análisis del problema no solo se reduce a la etapa de producción o planta, sino a toda la cadena de valor que involucra al producto.

El ACV como metodología consta de una serie de etapas estandarizadas y descritas por el ISO 14044 (International Organization for Standardization, 2006b) (ver figura 2.1). Estas etapas requieren de una serie de planteamientos fundamentales previos. Sin embargo, debido a la naturaleza iterativa de la metodología, cada etapa como tal puede ser flexible en su desarrollo e implicar el uso de otra serie de metodologías o herramientas.

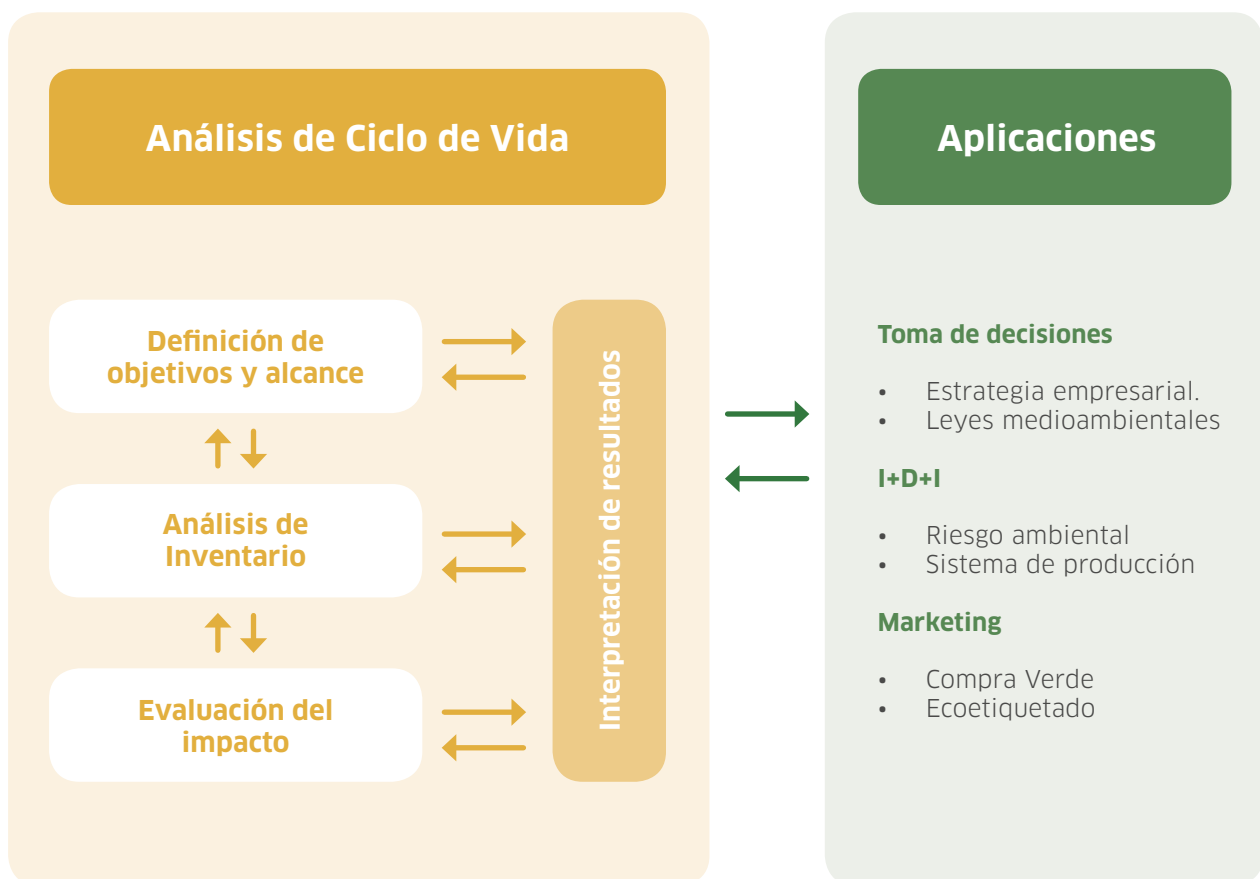


Figura 2.1. Etapas de la metodología del ACV de acuerdo con la ISO 14040 (International Organization for Standardization, 2006a).

En lo que refiere a **CalCafé v2.1**, esta calculadora **no realiza un ACV completo** por dos motivos fundamentales. Por un lado, permite la construcción del inventario de ciclo de vida (ICV) y la evaluación del impacto de ciclo de vida (EICV), pero este cómputo solo es posible debido a una serie de condiciones (por ejemplo, unidad funcional, límites del sistema, entre otras) que son predefinidas en el *software*. Por ello, al usuario se le proporciona una serie de pasos predefinidos que facilitan el proceso de cómputo. Sin embargo, los resultados de **CalCafé v2.1** pueden ser de mucha utilidad durante el estudio formal de un ACV donde se debe involucrar, necesariamente, la participación de una persona capacitada en la metodología. Por otro lado, tal y como se explica con mayor detalle en la sección 2.2.4, este *software* emplea ocho indicadores ambientales críticos en el cómputo de ACV. Esta selección se hizo de tal forma que los usuarios del *software* tengan la posibilidad de calcular la huella de carbono y la huella hídrica, las dos huellas ambientales más comunes que se miden en estudios de ciclo de vida. Ambas metodologías constituyen simplificaciones del ACV al centrarse en emisiones de GEI y degradación y consumo de agua, respectivamente. Asimismo, la selección de indicadores también permite cuantificar los efectos de la cadena de valor en la salud humana y el ecosistema.

3.2.2. Objetivos y alcance

El establecimiento de los objetivos y del alcance involucra la definición exacta del producto a tratar y de la profundidad del cálculo a realizar. El *software* **CalCafé v2.1** ha sido diseñado con la finalidad de proporcionar un cálculo simplificado de las cargas ambientales asociadas a la cadena de valor del café peruano de exportación, y aborda las perspectivas tanto del productor como del consumidor. La unidad de referencia a la cual se asociarán las entradas y salidas se denomina **unidad funcional**. En lo referido a la perspectiva del productor, la unidad funcional se definió como **1 kg de grano verde de café**. Los cálculos y resultados están presentados en referencia a esta unidad, además de un cálculo adicional por **1 quintal de grano verde de café (1 quintal = 46 kg)**. Por otro lado, en el caso de la perspectiva del consumidor, la unidad funcional se definió como **1 litro de café americano**. No obstante, este último valor puede ser personalizado por el usuario.

En esta versión, se reportan los impactos ambientales exclusivamente de la producción del producto principal. En ese sentido, **no existe ningún coproducto** o salida del sistema que pueda ser reutilizado o reintroducido a otra cadena de valor, excepto los residuos que se desatinan a compostaje. Esto significa que, si bien no se realiza una asignación personalizada de cargas en el sistema por el usuario, estos cálculos ya han sido predeterminados por parte del equipo de trabajo y no son expuestos en los resultados finales. Por lo tanto, los usuarios de la herramienta solo verán el impacto atribuido a la cantidad de **grano verde de café** correspondiente para la perspectiva de producción o, en el caso de la perspectiva de consumo, **el volumen de café americano**.

3.2.3. Límites del sistema

Perspectiva del productor

Bajo este punto de vista, se analiza el **grano verde de café**, el cual es en realidad un producto intermedio en la cadena de valor de la producción del café listo para su consumo. En este sentido, la calculadora realiza un análisis en una etapa intermedia que se puede entender como de *cuna a puerta*. De manera más estricta, el análisis toma en cuenta todos los procesos desde la etapa de cultivo hasta la entrega del producto listo para exportación. La figura 2.2 permite apreciar los límites del sistema que considera **CalCafé v2.1**, y cómo este forma parte de un sistema más complejo.

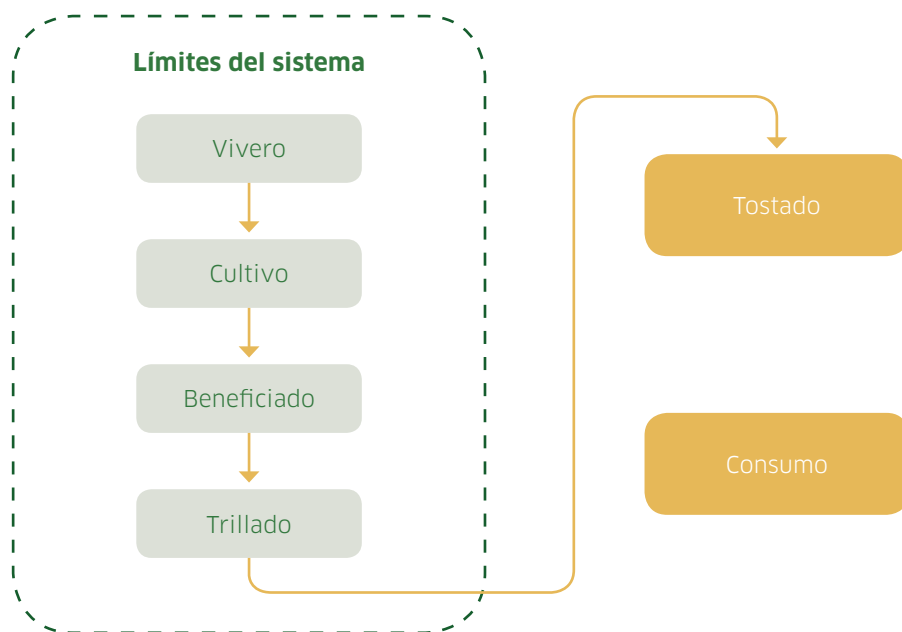


Figura 2.2. Límites del sistema considerado en **CalCafé v2.1** para la perspectiva del productor dentro de una simplificación del ciclo de vida del café listo para consumo.

Los procesos fundamentales considerados dentro de estos límites se presentan en la figura 2.3. Se pueden observar los diferentes ingresos y salidas en los procesos principales del sistema.

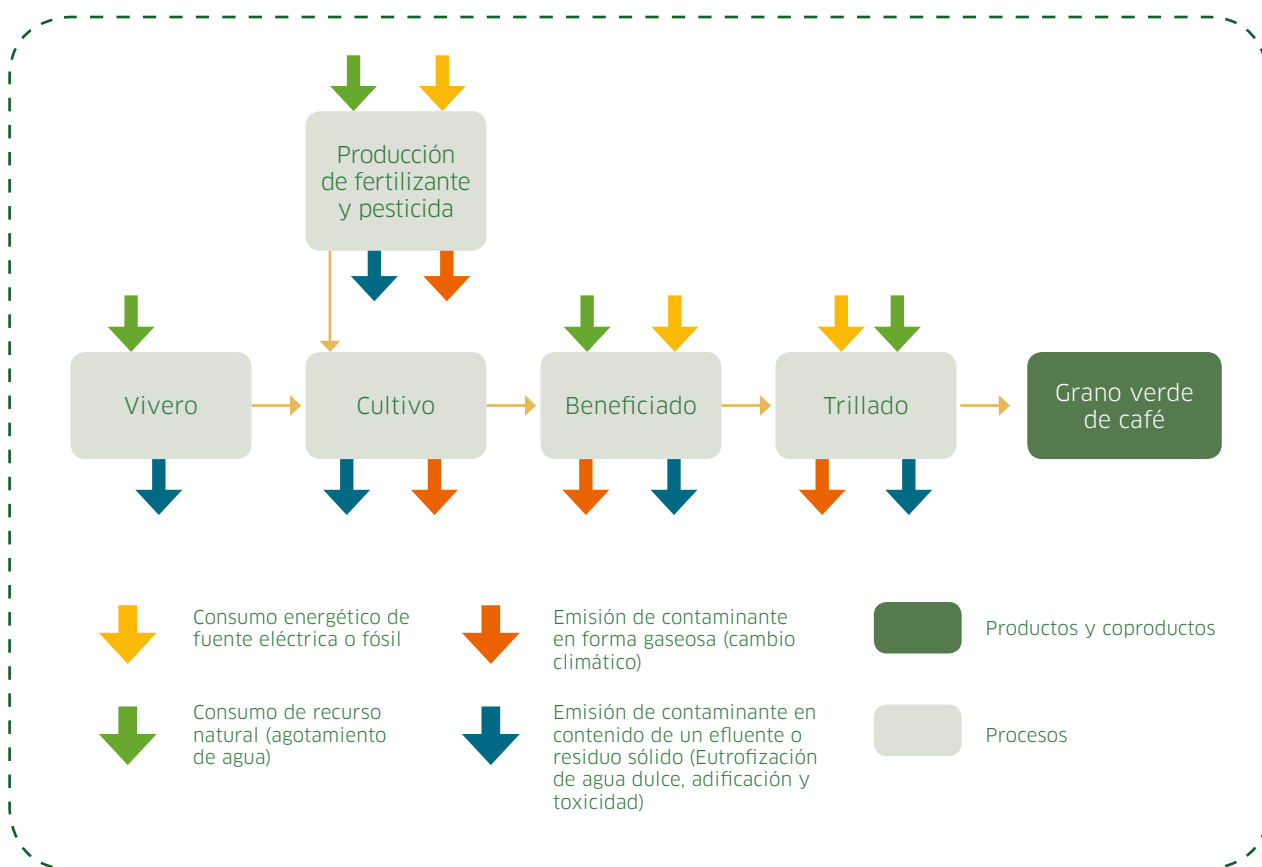


Figura 2.3. Entradas y salidas de los principales procesos en la producción de grano verde de café considerados por **CalCafé v2.1**.

Perspectiva del consumidor

Bajo este punto de vista, se analiza el **café listo para consumo**, por lo cual la calculadora realiza un análisis que se puede considerar a nivel de *cuna a tumba*. Además de los procesos mencionados en la sección anterior, se incorporan las etapas de tostado y la preparación para el consumo. La figura 2.4 permite apreciar los límites del sistema que considera **CalCafé v2.1** para esta perspectiva.

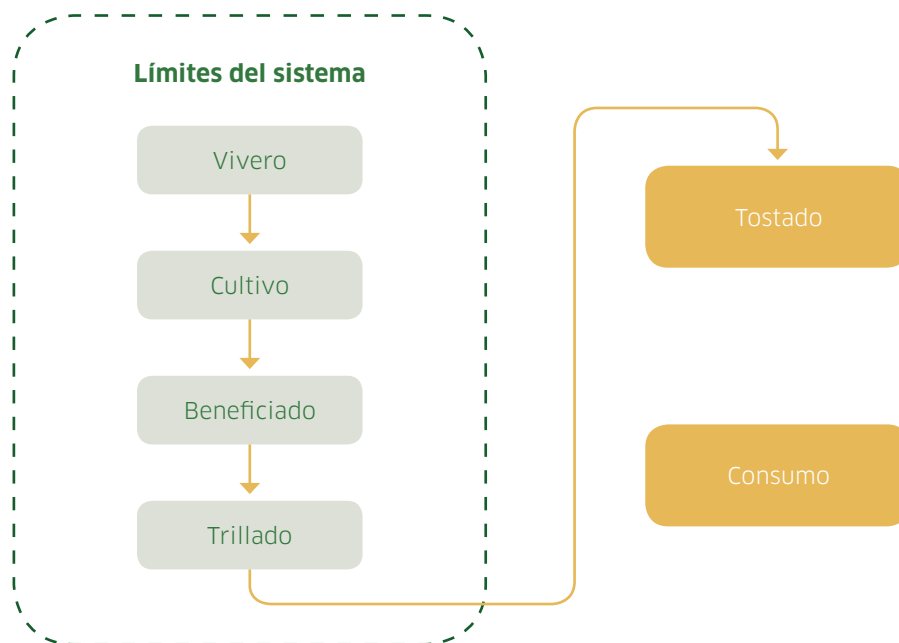


Figura 2.4. Límites del sistema considerado en **CalCafé v2.1** para la perspectiva del consumidor.

Los procesos fundamentales considerados dentro de estos límites se presentan en la figura 2.5.

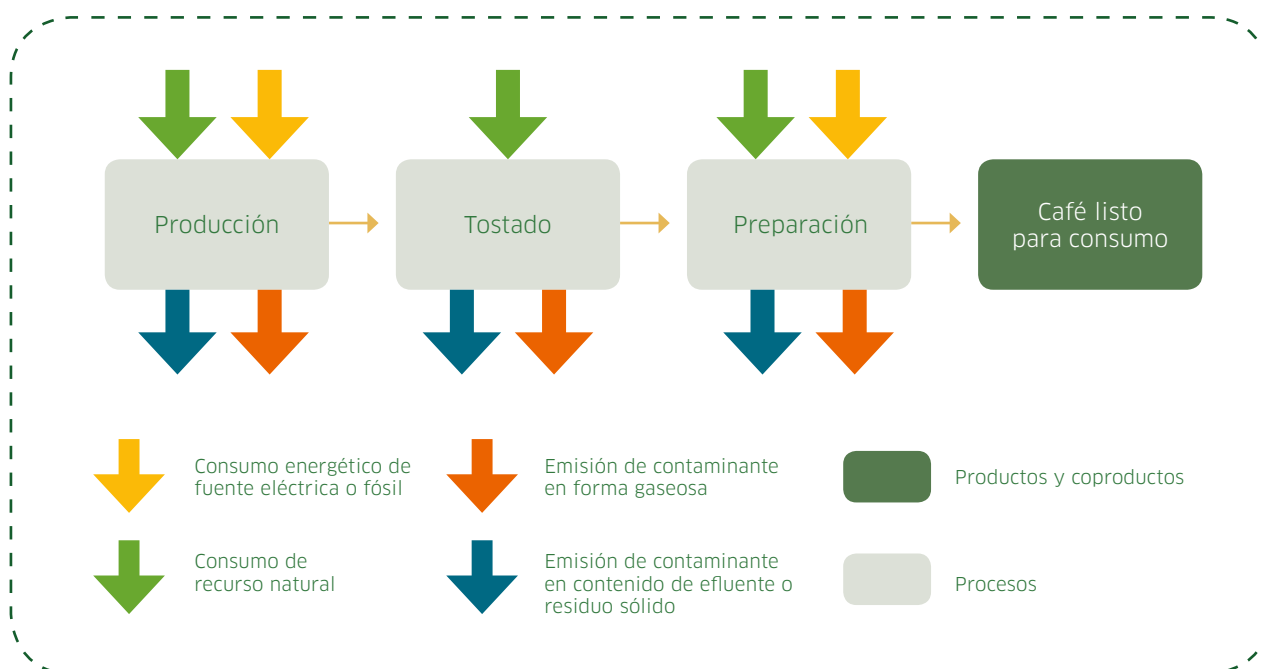


Figura 2.5. Entradas y salidas de los principales procesos en la obtención de café listo para consumo por **CalCafé v2.1**.

3.2.4. Métodos de análisis y categorías de impacto

Los métodos de análisis son los mecanismos que permiten convertir los flujos de entrada y salida de energía y materiales, así como las emisiones generadas en un proceso en impacto ambiental. Por ello, los métodos engloban las denominadas categorías de impacto. Si bien existen diversos métodos de análisis, en este estudio se han escogido las metodologías más actualizadas y las que representan el estado del arte de desarrollo metodológico. En este sentido, la calculadora está diseñada para calcular dos metodologías de ciclo de vida, huella de carbono y huella hídrica; ambas emanan de la perspectiva general de ACV. Respecto a las categorías de impacto, un total de ocho se consideraron: una de huella de carbono, cuatro de huella hídrica, dos de toxicidad humana y una de material particulado. Dentro de las categorías de huella hídrica, una es de carácter consuntivo, y se centra en los volúmenes de agua usados y la escasez generada, mientras que las otras tres categorías son degradativas:



Huella de carbono

Potencial de cambio climático (GWP): esta categoría de impacto se basa en el modelo desarrollado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (Nakicenovic *et al.*, 1998). Se centra en las emisiones de GEI a la atmósfera y sus factores de caracterización para el calentamiento global potencial se expresan en kg de CO_{2eq}/kg de emisión. Tiene un horizonte temporal de 100 años, es decir, considera el tiempo de degradación de los GEI en un periodo de 100 años. El ámbito geográfico de este indicador es global. La versión seleccionada es la denominada IPCC 2013, la versión más actualizada del método y que incluye más de 200 GEI.



Huella hídrica

Ecotoxicidad de agua dulce (FT): la categoría de impacto para la evaluación de la ecotoxicidad potencial del agua dulce de la metodología USEtox (Rosenbaum *et al.*, 2008) es la recomendada por presentar factores de caracterización para la cuantificación de la ecotoxicidad de una gran cantidad de sustancias emitidas al agua (Fantke *et al.*, 2017). La unidad a la que se refieren los impactos en esta categoría son los Comparative Toxic Units equivalentes (CTUeq). La metodología USEtox presenta un modelo diseñado por la UNEP/SETAC Life Cycle Initiative para caracterizar los impactos de toxicidad y de ecotoxicidad de las sustancias químicas. Este modelo ha sido desarrollado por un equipo internacional y multidisciplinar del grupo de trabajo sobre tóxicos de la UNEP/SETAC Life Cycle Initiative (Rosenbaum *et al.*, 2008).

- **Eutrofización potencial (FE):** el potencial de eutrofización se expresa en kg de PO₄-eq/kg. El destino y la exposición no están incluidos, el horizonte temporal es infinito y la escala geográfica varía entre escala local y continental (Gallego *et al.*, 2010).
- **Agotamiento de agua (WD):** la metodología AWARE, considerada la metodología de consenso para medir la escasez de agua por la Iniciativa de Ciclo de Vida de las Naciones Unidas, fue la seleccionada para medir los volúmenes de agua que se usan en el sistema del café (Boulay *et al.*, 2018).
- **Acidificación de agua dulce (FA):** la metodología de excedencia acumulada emplea el número de moles de hidrón equivalente para medir esta categoría de impacto. La acidificación de agua dulce afecta la estabilidad de ecosistemas acuáticos.



Toxicidad humana

- **Toxicidad humana sin efectos cancerígenos (HTP-NC):** se abordó la metodología USEtox (Rosenbaum *et al.*, 2008), al igual que el caso de ecotoxicidad de agua dulce. Se mide en número de casos de enfermedad no cancerígena provocados por unidad del material analizado.
- **Toxicidad humana con efectos cancerígenos (HTP-C):** se abordó la metodología USEtox (Rosenbaum *et al.*, 2008), al igual que el caso de ecotoxicidad de agua dulce. Se mide en número de casos de enfermedades cancerígenas provocados por unidad del material analizado.



Calidad de aire

- **Material particulado (MP):** se empleó la metodología ReCiPe (Huijbregts *et al.*, 2016). En ella, se cuantifica la formación potencial de PM_{2.5} proveniente de aerosoles primarios y secundarios.

Asimismo, en este manual se reconoce la importancia de la categoría de impacto de cambio de uso de suelo en el ciclo de vida de los productos agroforestales, como el café. Los cambios de uso de suelo contribuyen a la emisión de GEI a la atmósfera, pérdida de biodiversidad, degradación de la funcionalidad del suelo, salinización, erosión y otros impactos degradativos (Ita-Nagy *et al.*, 2020). Por ello, los impactos ligados a la transformación de un área específica con un uso particular a otro uso necesitan ser cuantificados con metodologías precisas y sofisticadas (Vázquez-Rowe *et al.*, 2014). Sin embargo, a pesar de que se han hecho avances significativos en la última década, a la fecha todavía no hay métodos de análisis de consenso para estos impactos (De Laurentiis *et al.*, 2019; Jolliet *et al.*, 2018).

Uno de los métodos desarrollados en los últimos años es el Land Use Indicator Value Calculation in Life Cycle Assessment - LANCA (Bos *et al.*, 2020). A continuación, se especifica cómo el cálculo correspondiente se realizaría de acuerdo con la metodología LANCA. Sin embargo, debido a los requisitos exhaustivos de información para el usuario, no se incluyó esta categoría en el *software* de cálculo.

Cambio de uso de suelo

El modelo LANCA examina cinco indicadores para cuantificar el impacto del objeto de análisis en esta categoría:



Resistencia a la erosión: se define como la resistencia a efectos de erosión eólica e hídrica adicionales a las preexistentes por naturaleza por parte de una unidad de suelo. La importancia de esta característica se relaciona íntimamente con la producción biótica. Un suelo con baja resistencia a la erosión tiende a inhibir el desarrollo de organismos y erradicar completamente el porcentaje de tierra fértil. Para su cálculo se requiere conocer las siguientes propiedades del lugar de estudio:

1. Declinación
2. Textura del suelo
3. Precipitación en verano
4. Uso de suelo
5. Contenido de humus
6. Contenido de bolones
7. Tipo de superficie



Filtración mecánica: se entiende como la capacidad del suelo para clarificar mecánicamente una suspensión. Esta propiedad se cuantifica por la cantidad de agua capaz de atravesar los poros del suelo en una unidad de tiempo. A mayor capacidad de filtración mecánica, una mayor cantidad de agua pasa a través del suelo y el tiempo en reposo del líquido se reduce. Para el cálculo de esta propiedad se requiere conocer las siguientes propiedades del suelo:

1. Textura del suelo
2. Profundidad de la napa freática
3. Uso de suelo



Filtración fisicoquímica: se define como la habilidad del suelo para absorber sustancias diluidas en la solución de agua subterránea y permitir el intercambio de iones absorbido. Mientras que las partículas de suelo con altos valores de superficie específica permiten absorber iones, partículas menores a dos micrómetros actúan como catalizadores para el intercambio. La medición de la capacidad de filtración fisicoquímica se mide según la textura del suelo y su acidez. En este sentido, los siguientes parámetros son necesarios:

1. Capacidad efectiva de intercambio de cationes
2. Uso de suelo



Producción biótica: se entiende como la capacidad de proveer biomasa al nivel heterotrófico del ecosistema. Su función biológica es aproximadamente análoga a la producción neta principal (más conocida como NPP por sus siglas en inglés) reducida por la respiración autotrófica. En este sentido, la producción biótica de un emplazamiento se puede medir en unidades de energía (J/m^2), carbono (gC/m^2) o cantidad de materia orgánica seca (t/ha). Debido a la complejidad asociada al cálculo de este indicador, el modelo LANCA propone utilizar un valor referencial determinado según el uso de suelo del emplazamiento analizado.



Recarga de agua subterránea: parámetro definido en mm/ao, que se emplea para determinar la capacidad de la tierra, a fin de recargar los recursos hídricos subterráneos de acuerdo con la estructura de la vegetación, las condiciones climáticas y la permeabilidad de los estratos de suelo. Si bien esta propiedad se puede medir directamente de manera puntual con ayuda de lisímetros y bombas de succión, no es posible extrapolar esta propiedad a nivel de área. Por este motivo, no se permite el uso de estos instrumentos para procesos de ACV. El modelamiento matemático propuesto por LANCA permite computar la tasa de recarga de agua subterránea disponiendo de la siguiente información:

1. Textura del suelo
2. Uso de suelo
3. Tasa de precipitación
4. Tasa de evapotranspiración
5. Profundidad de la napa freática
6. Declinación

3.2.5. Contexto normativo

Para el desarrollo del *software* se consideraron los siguientes textos normativos:

ISO 14021:2016

Etiquetas y declaraciones ambientales - Afirmaciones ambientales autodeclaradas (etiquetado ambiental tipo II)

Documento que especifica los requerimientos para declaraciones ambientales textuales, simbólicas y gráficas relacionadas con productos. En este texto se describen los términos oficiales a ser empleados en declaraciones ambientales y las calificaciones necesarias mínimas para su uso. Asimismo, se detallan los métodos de evaluación y verificación para este tipo de declaraciones.

ISO 14040:2006

Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Principios y marco de referencia

Estándar que establece las siguientes definiciones asociadas al ACV: objetivo, alcance, inventario, evaluación de impacto, interpretación, reporte y análisis crítico, limitaciones, relaciones entre fases y elecciones de valor. Este documento no incluye la aplicación propiamente dicha del ACV ni brinda información sobre metodologías correspondientes a las fases individuales involucradas en un ACV. Si bien la ISO 14040 no es certificable, sus aplicaciones derivadas como el **ecodiseño y el ecoetiquetado** sí lo son.

NTP-ISO 14044:2006

Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Requisitos y directrices

Documento que especifica los procedimientos involucrados en la definición del objetivo y del alcance de un ACV, incluyendo las aplicaciones de las siguientes fases: análisis del inventario, evaluación de impacto e interpretación. Asimismo, provee directrices para el reporte de resultados de un ACV, su análisis crítico, las limitaciones, las relaciones entre las fases de un ACV y las condiciones empleadas para las elecciones de valor.

ISO/TS 14048:2002

Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Formatos para documentación de datos

Especificaciones técnicas que proveen los requisitos y la estructura necesaria para presentar los datos de manera transparente y certera de un ACV. Al cumplir con este estándar, se garantiza una documentación consistente para el intercambio de información, el intercambio de datos, el cálculo de valores y la calidad de la información. Este documento no establece ningún *software* o plataforma de base de datos para su implementación (International Organization for Standardization, 2016).

ISO 14067:2018

Gases de efecto invernadero - Huella de carbono de productos - Requisitos y directrices para cuantificación

Documento que especifica los requisitos mínimos para la cuantificación y documentación de la huella de carbono de productos, de modo que sea consistente con los estándares internacionales actuales de ACV. Este estándar no considera el aspecto social ni el económico del impacto, tampoco los efectos ambientales adicionales referentes a otras categorías de impacto (International Organization for Standardization, 2018).

PAS 2050:2008

Verificación de la huella de carbono

Especificación publicada por la Institución de Estándares Británicos que establece recomendaciones para el cálculo de huella de carbono de productos para garantizar que el ACV realizado sea satisfactorio. Este documento identifica dos tipos de ciclos de vida: negocio a negocio (fin de vida es equivalente a la entrega del producto para que sea reutilizado por otra organización) y negocio a cliente (fin de vida concluye con el descarte del producto) (Publicly Available Specification, 2008).

4.

Características de la calculadora

4.1. Requisitos y principios

Las empresas que deseen cuantificar su impacto ambiental deben ser capaces de demostrar que se han cumplido los siguientes principios cuando se lleve a cabo la evaluación:

a.

Relevancia: los métodos usados para los cálculos en este *software* corresponden a aquellos de mayor actualización, lo que certifica su relevancia científica y social.

b.

Integridad: se garantiza que el proceso de cálculo de las emisiones de GEI se rige a nivel temporal y espacial de manera definida. Asimismo, la herramienta será sometida a un proceso de revisión periódico para garantizar que no se pierdan estas características y se mantenga la calidad de datos de la presente versión.

c.

Coherencia: los datos y métodos incluidos en el proceso de cálculo del *software* garantizan su reproducibilidad. Por lo tanto, usando las mismas suposiciones metodológicas, los datos son comparables con otros estudios.

d.

Precisión: el sesgo y la incertidumbre que poseen los datos se han reducido lo máximo posible. En primer lugar, el uso de bases de datos actualizadas, como ecoinvent® v3.5 y Perú LCA, permiten realizar los cálculos de manera que se garanticen versiones actualizadas en cada momento. En segundo lugar, la adaptación de muchos inventarios a las características del Perú hace que los datos también dispongan de un mayor grado de especificidad. Por último, los datos primarios que incluyan los usuarios para obtener sus resultados dependerán de la precisión, el empeño y la transparencia que estén dispuestos a compartir en cada momento.

e.

Transparencia: los datos utilizados por el usuario se muestran a lo largo del proceso de cálculo, lo que permite identificar o detectar errores e incongruencias. Además, en el supuesto de que el *software* se use en un futuro para dar soporte matemático a un proceso de certificación, los datos proporcionados serán monitoreados por una tercera parte.

4.2. Arquitectura de cálculo

CalCafé v2.1 realiza los cálculos utilizando operaciones aritméticas y heurísticas programadas en lenguaje VBA. El *software* utiliza como recurso una base de datos compuesta por dos partes: una base de datos estática y otra dinámica. La base de datos estática se caracteriza por contener información invariante en cualquier etapa del cálculo. Es decir, el usuario no tiene la posibilidad de modificar estos datos y solo son utilizados como datos de consulta durante el uso del *software*. Por su parte, la base de datos dinámica se actualiza constantemente con la información ingresada por el usuario. Del mismo modo, bajo esta filosofía de programación, toda la información de **CalCafé v2.1** está contenida en una sola base de datos (por ejemplo, un archivo *.csv) que puede ser utilizada para la reconstrucción del *software* en cualquier otro lenguaje de programación.

Respecto a los procesos de ciclo de vida, la calculadora sigue el flujo de modelado propio de un ACV. Esto quiere decir que el ICV consta de datos de fondo y de primer plano (*background* y *foreground*, respectivamente, por sus nombres en inglés). En general, los datos de fondo son aquellos vinculados a procesos y productos no relacionados directamente con la etapa de producción del grano verde de café, pero que sí son parte de su ciclo de vida (por ejemplo, la fabricación e importación de pesticidas y fertilizantes). Por otro lado, toda la información asociada directamente con la etapa de producción se considera como información de primer plano. Como regla general, esta información será ingresada por el usuario. En caso que no sea posible, CalCafé v2.1 cuenta con datos predeterminados vinculados a la producción de grano verde de café y café de consumo.

A lo largo de las distintas etapas del ciclo de vida de café verde se tomaron distintos supuestos y constantes que no podrán ser observados en el **modo usuario**. Estos son:

Etapas de vivero: las emisiones del vivero correspondientes a la arena, las bolsas negras y la tierra agrícola se han modelado asumiendo una huella por kg de café verde de $2,26E-06$ kg de CO_2 equivalente, $2,43E-09$ PAF.m³, $9,19E-10$ kg de P equivalente y $3,01E-06$ m³ de agua. Asimismo, se desprecian las emisiones correspondientes a los procesos de selección de semillas y germinación de semillas, puesto que su huella ambiental es despreciable.

Etapa de cultivo: se considera una huella para los empaques de fertilizantes y pesticidas de 0,388 kg de CO₂ equivalente, 1131,5 PAF.m³ y 6,21E-05 kg de P equivalente por kilogramo de grano verde de café. En el caso de los fertilizantes orgánicos, se ha modelado su transporte regional y el usuario puede incluir su transporte local con la interfaz el kilometraje correspondiente. En caso de que el transporte local se haga en vehículos de tracción animal, se recomienda que el valor de kilometraje se establezca en cero. La producción de fertilizante orgánico se dejó fuera de los límites del sistema al entender que su producción constituye la disposición de residuo de otro proceso previo o por sus condiciones naturales, como el caso del guano de isla.

Etapa de beneficiado húmedo y secado: se considera que para el funcionamiento de la despulpadora se emplea energía eléctrica, gasolina 84 o diésel-petróleo. Para el cálculo de la huella ambiental correspondiente a la energía eléctrica, se consideran los factores de emisión asociados al mix eléctrico del año de producción seleccionado. Si se elige la opción de gasolina 84 o diésel-petróleo, se considera tanto la emisión como la producción del combustible elegido. Se consideró que los residuos sólidos de origen orgánico generados en esta fase se descomponen al aire libre en condiciones semiaerobias, en condiciones físico-químicas similares a un botadero de baja profundidad. Para modelar estas condiciones se usó el *software* EASTECH, desarrollado por la Universidad Técnica de Dinamarca (DTU), y se consideraron condiciones climáticas promedio de fundos cafeteros en el Perú (Olesen y Damgaard, 2014; Ziegler-Rodriguez *et al.*, 2019). Por ejemplo, en el caso de la huella de carbono, la emisión por kilogramo de residuo se estimó en 2,03 kg CO₂ equivalente. En lo concerniente a las emisiones atribuidas a las aguas mieles, estas se modelaron en base al contenido de nitrógeno y DQO contenidos en dichas aguas, por lo que tienen su correspondiente impacto en la categoría de eutrofización. La huella ambiental correspondiente al transporte del café pergamino húmedo al almacén y a los recipientes empleados para este propósito son asumidos como 0 por ser despreciables.

Etapa de trillado y puesto en puerto: las emisiones correspondientes al transporte en vehículo automotor han sido modeladas sobre la base de un vehículo Euro 4 estándar. Si bien los vehículos Euro 4 ya se comercializan en el Perú, es importante tener en cuenta que en muchos casos los vehículos utilizados tienen un estándar de emisiones más antiguo, lo que podría elevar el impacto ambiental. En lo referido a la huella ambiental asociada a la fibra de yute, se consideraron factores de emisión de 0,445 kg de CO₂ por unidad funcional. Para la determinación de la huella ambiental asociada al consumo eléctrico, se siguió el mismo procedimiento explicado en la sección de beneficiado húmedo y secado.

Captura de carbono: para la determinación del contenido de biomasa húmeda en vegetación con diámetro menor a 11 pulgadas, se emplea la ecuación 3.1:

$$Biomasa = 0,25 \times D^2 \times H \quad (3.1)$$

Donde la biomasa es expresada en libras, D es el diámetro en pulgadas y H es la altura en pies. En caso el diámetro sea mayor a 11 pulgadas, se emplea la ecuación 3.2:

$$\text{Biomasa} = 0,15 \times D^2 \times H \quad (3.2)$$

Posteriormente, se aproxima el contenido de biomasa seca al 72,5 % del total de biomasa. Para obtener la masa total de carbono, se considera el 50 % de la biomasa seca. Para obtener el total de la masa de carbono incluyendo las raíces, se multiplica el total de carbono por 1,2. Finalmente, para calcular el total de dióxido de carbono se multiplica el anterior resultado por el coeficiente estequiométrico de 3,67. El valor considerado para captura de carbono corresponde al total de dióxido de carbono dividido entre 20 años, que se considera como la vida útil de los árboles sombra y los cafetos. En caso se elija la opción de emplear datos predeterminados de árboles sombra, se emplean factores de captura de carbono por unidad de área estimados de acuerdo con estudios previos. Estos se calibran respecto a tres rangos de altura, puesto que esta variable condiciona tanto las dimensiones de la vegetación como su densidad.

Etapa de consumo: el transporte internacional desde el Perú hacia los países de consumo se determinó considerando los puertos más importantes de las naciones involucradas. En otras palabras, las distancias contempladas corresponden a los recorridos marinos entre el puerto del Callao y los puertos de Hamburgo, Marsella, Algeciras, Rávena y Helsinki para Alemania, Francia, España, Italia y Finlandia, respectivamente. En caso de analizar el consumo dentro del Perú, no se considera este factor. Por otro lado, respecto a la distribución interna del producto al consumidor, se contemplaron distancias promedio de 100 km para Finlandia, 200 km para Italia y Alemania, y 300 km para Francia, España y el Perú. En lo referido a la energía requerida para el tostado, se utilizó el valor reportado por Schwartzberg (2013), correspondiente a 1,621 kJ por kilogramo. Finalmente, las proporciones de café, agua, detergente, consumo energético y las propiedades de los empaques fueron obtenidas de la investigación realizada por Usva *et al.* (2020).

Nota:

Los datos de fondo se obtuvieron de la literatura y utilizaron bases de datos comerciales. El acuerdo de colaboración comercial y de confidencialidad entre PELCAN y ecoinvent® (ecoinvent, 2019) permite que **CalCafé v2.1** utilice datos de ecoinvent® v3.5 en la construcción de los inventarios y para el cálculo de los impactos. Sin embargo, los inventarios obtenidos de esta base de datos previos al cálculo de impactos **no pueden ser visualizados por el usuario** debido a las limitaciones de la licencia. Si el usuario desea explorar inventarios que provengan de ecoinvent® v3.5, deberá realizar la compra de la licencia completa.

4.3. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario consta de tres elementos principales: la barra de navegación, el entorno de trabajo y la barra de información (ver figura 3.1). La barra de navegación contiene las principales etapas secuenciales que el usuario debe completar para que la calculadora realice un cómputo válido. Cada una de estas etapas está vinculada a un entorno de trabajo particular que permite al usuario introducir datos, seleccionar modalidades de cálculo y visualizar resultados. De igual forma, cada entorno de trabajo está acompañado de información de utilidad contenida en la barra de información. Como se puede apreciar, estas etapas coinciden con los procesos involucrados en el ciclo de vida de la producción del café.

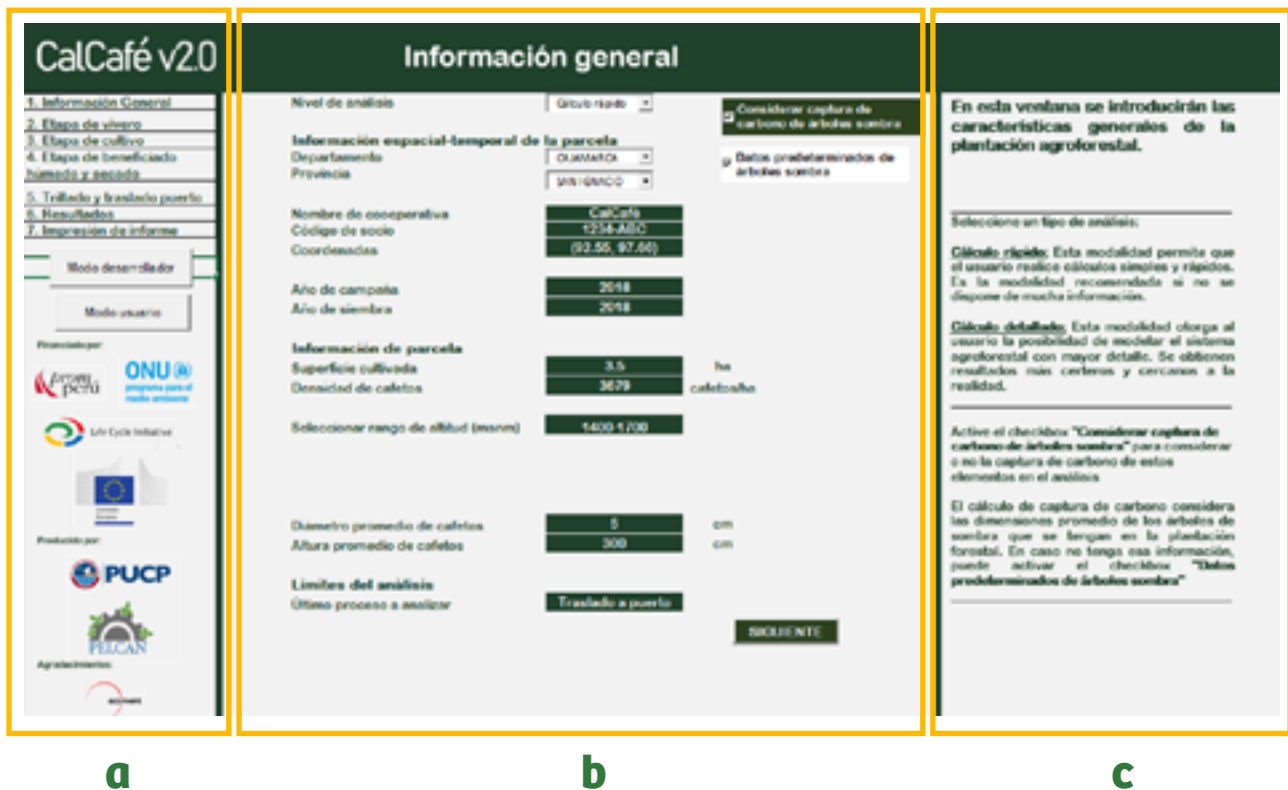


Figura 3.1. Elementos principales de la interfaz de usuario: barra de navegación (a), entorno de trabajo (b) y barra de información (c).

El entorno de trabajo cuenta con cuatro objetos fundamentales con los que el usuario interactuará: las listas desplegables, *check-box*, celdas numéricas y botones de interacción (ver figura 3.2). Los datos cuantitativos solo podrán ser introducidos en las celdas numéricas. Estos objetos tienen el mismo formato de celda de hoja de cálculo, por lo que pueden contener fórmulas aritméticas. El resto de objetos solo se utilizan para proporcionar información cualitativa o para navegar a lo largo de la calculadora.

Información general

Nivel de análisis: Cálculo rápido

Información espacial-temporal de la parcela

Departamento: CAJAMARCA

Provincia: SAN IGNACIO

Nombre de cooperativa: CalCafe

Código de socio: 1234-ABC

Coordenadas: (92.55, 97.66)

Año de campaña: 2018

Año de siembra: 2018

Información de parcela

Superficie cultivada: 3.5 ha

Densidad de cafetos: 3679 cafetos/ha

Seleccionar rango de altitud (msnm): 1400-1700

Diámetro promedio de cafetos: 5 cm

Altura promedio de cafetos: 300 cm

Límites del análisis

Último proceso a analizar: Traslado a puerto

Considerar captura de carbono de árboles sombra

Datos predeterminados de árboles sombra

Figura 3.2. Objetos fundamentales del entorno de trabajo: checkbox (a), listas desplegables (b), celdas numéricas (c) y botones de interacción (d).

5.

Uso del *software*

5.1. Inicialización

CalCafé v2.1 se encuentra disponible en dos presentaciones: una versión para MS Excel® y una en línea. La primera versión requiere que el usuario tenga instalado MS Excel® 2013 o versiones posteriores y se ejecuta haciendo doble clic al archivo con extensión ***.xlsm**. El archivo utiliza comandos macros que requieren ser activados la primera vez que se ejecuta **CalCafé v2.1**. Por otro lado, la versión en línea únicamente requiere una conexión a Internet para su uso.

A continuación se presenta una descripción de la versión en MS Excel® de **CalCafé v2.1**; sin embargo, cabe resaltar que la interfaz de ambas versiones es virtualmente idéntica. Como muestra la figura 4.1, la calculadora requiere ser activada al iniciar. Esta verificación y activación solo se realizará la primera vez que se abra el archivo en una computadora nueva. Por defecto, la calculadora inicializa en *modo usuario*, pero cuenta con el *modo desarrollador* si el equipo desarrollador desea realizar alguna modificación o actualización del *software*.

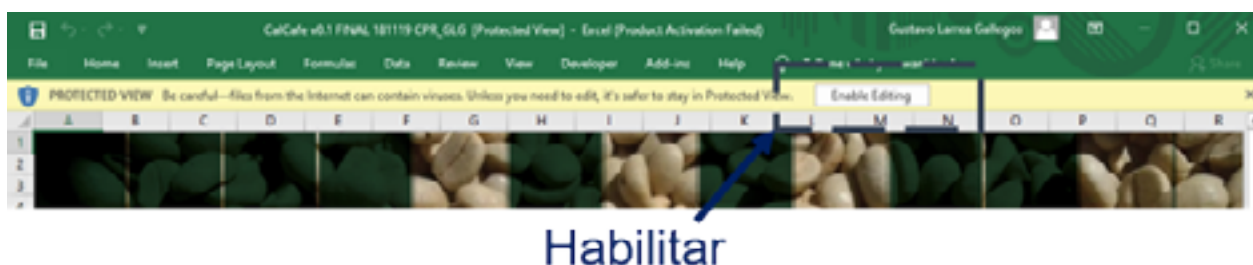


Figura 4.1. Captura de pantalla que muestra el mensaje inicial de la primera ejecución de **CalCafé v2.1**.

El *software* de cálculo consta de múltiples hojas que cumplen distintas funciones: inicialización, introducción de los datos correspondientes al contexto del usuario, presentación de resultados, creación de un documento con los resultados del cálculo, ejecución de cálculos internos, almacenamiento de datos no accesibles para los usuarios y cierre del programa. Las hojas empleadas para la introducción de datos del usuario corresponden con las etapas del ciclo de vida establecidas por la Red Latinoamericana y del Caribe de la Huella Ambiental del Café.

5.2. Uso bajo la perspectiva del productor

Para empezar, se debe apretar el botón “Productor” en la hoja de inicio al inicializar la calculadora. Luego, se deben completar los datos de la hoja “Información general” y hacer clic en el botón siguiente ubicado en la parte inferior derecha de la hoja. Se debe proceder de esta manera hasta introducir el total de los datos. Se ha habilitado un botón “Anterior” a la izquierda del botón “Siguiente” para regresar a la anterior hoja en caso de errores. A continuación, se presenta una descripción de las hojas utilizadas en el *software* para la introducción de datos del usuario.

5.2.1. Hoja 1: Información general

Se le solicita al usuario datos de las siguientes cuatro categorías:



Nivel de análisis

- **Análisis rápido:** esta modalidad de cálculo está implementada con la finalidad de que el usuario realice un cálculo sencillo y veloz. Al utilizarla, la calculadora considera una serie de ratios de rendimiento predeterminados en las distintas etapas previas al beneficiado. Se recomienda su uso cuando no se dispone de mucha información.
- **Análisis detallado:** esta modalidad permite la configuración más detallada de las condiciones del sistema agroforestal. En este análisis el usuario ingresará los rendimientos en las diferentes etapas (por ejemplo, cultivo, beneficiado, entre otros), así como las distancias entre el punto de trillado y exportación. Se recomienda su uso cuando se cuente con suficiente información.



Información espacial-temporal

- **Ubicación de parcela:** a partir de un menú desplegable el usuario puede elegir el departamento y la provincia donde se desarrollan las actividades de producción del café. Se adicionaron todos los departamentos donde se encuentra alguno de los 338 distritos cafetaleros del Perú. Más allá del interés informativo de esta funcionalidad, la selección geográfica influye en los resultados de la categoría de impacto de escasez de agua.
- **Año de producción:** corresponde al año en el cual se obtuvo el café verde listo para el traslado a puerto. A través de un menú desplegable, se permite al usuario elegir un año en el periodo comprendido entre 2015 y 2025.



- Año de siembra: corresponde al año en el cual las semillas del café pasaron a la etapa de vivero de la cadena de producción. A través de un menú desplegable, se permite al usuario elegir un año en el periodo comprendido entre 2015 y 2025.

Información de parcela

- **Superficie cultivada:** se define como la totalidad del área ocupada por cafetos durante la etapa de cultivo en hectáreas. Los usuarios que deseen fragmentar sus áreas cultivadas deberán hacer corridas independientes al *software*.
- **Densidad de cafetos:** se solicita el número de cafetos por hectárea durante la etapa de cultivo del café.
- **Densidad de árboles sombra (cálculo detallado):** se define como la cantidad de árboles sombra presentes por hectárea en las inmediaciones del terreno.
- **Diámetro promedio de árboles sombra (cálculo detallado):** se solicita el diámetro promedio de todas las especies de árboles sombra en centímetros.
- **Altura promedio de árboles sombra (cálculo detallado):** se solicita la altura promedio de todas las especies de árboles sombra en centímetros.
- **Rango de altitud (cálculo rápido):** se solicita el rango de alturas en el cual se encuentra la plantación. Luego, se estima un factor de captura de carbono por hectárea.



Tipo de cultivo

- **Diámetro promedio de cafetos:** se solicita el diámetro promedio de los cafetos en centímetros.
- **Altura promedio de cafetos:** se solicita la altura promedio de los cafetos en centímetros.



Límites del análisis

El usuario debe elegir si desea que el análisis culmine hasta la etapa de beneficiado o de traslado a puerto. De elegir la opción "Beneficiado", no se calculará el impacto ambiental correspondiente a los procesos de trillado y transporte al puerto de comercialización.

5.2.2. Hoja 2: Etapa de vivero



Cantidad de agua para riego

Se solicita introducir la cantidad total de agua en litros empleada por cafeto durante la etapa de vivero. En otras palabras, el total del volumen de agua utilizado para el desarrollo de las chapolas hasta ser plántulas.

5.2.3. Hoja 3: Etapa de cultivo



Fertilizantes orgánicos

El usuario debe introducir la cantidad (en kilogramos) de fertilizante orgánico por hectárea empleada en su cultivo. Las opciones disponibles son compost, pachakushi, guano de isla, dolomita, estiércol de ganado y Molimax. Asimismo, en la columna de la derecha se solicita especificar la distancia en kilómetros recorrida en vehículo automotor hasta el proveedor local del cual se hizo la adquisición de cada producto. Como se explicó anteriormente, si el vehículo de transporte local es de tracción animal, se deberá establecer el kilometraje en cero.



Fertilizantes inorgánicos

El usuario debe introducir la cantidad de fertilizante inorgánico por hectárea empleada en su cultivo. Las opciones disponibles son nitrato de amonio, nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, ácido fosfórico, ácido bórico, urea (nitrato de amonio), caliza, cloruro de potasio y fertilizantes fosfatados. Todos estos elementos se cuantifican utilizando kilogramos por hectárea. Asimismo, en la columna de la derecha se solicita especificar la distancia en kilómetros recorrida en vehículo automotor hasta el proveedor local al que se adquirió cada producto. Como se explicó anteriormente, si el vehículo de transporte local es de tracción animal, se deberá dejar el kilometraje como cero.



Pesticidas

Los pesticidas no están permitidos en la producción de café orgánico, pero sí son de uso habitual en la producción de café convencional. En este sentido, es necesario tener en cuenta que la aplicación de pesticidas puede ser altamente variable según las decisiones en cada fundo cafetalero. A la hora de medir los impactos ambientales de estos productos, es importante tener en cuenta que son altamente intensivos energéticamente en su producción y el impacto de las emisiones que generan en campo. Si bien existen modelos en la literatura de ACV para medir estas últimas –como PestLCI, que se han usado en otros estudios de ACV para el Perú (Vázquez-Rowe *et al.*, 2016; Vázquez-Rowe *et al.*, 2017)–, resulta complejo incluirlos para una calculadora que se va a usar de manera difusa en todo el territorio nacional. Esta complicación se atribuye a la gran cantidad de parámetros locales necesarios para modelar. Por ello, en esta calculadora se están usando los valores referenciales apuntados por Margni *et al.* (2002) en la literatura. Estos autores indican que el 7,5 % del contenido total de ingrediente activo en un pesticida orgánico finaliza en las corrientes de agua dulce, mientras que el 76,5 % es retenido en las texturas edáficas, el 5 % permanece en la planta (en este caso, los cafetos) y el 11 % restante pasaría al compartimento aéreo.

Teniendo en cuenta que esta calculadora cuantifica la ecotoxicidad de agua dulce, se asume que el 7,5 % del contenido de ingrediente activo en cada pesticida aplicado está pasando a las corrientes de agua dulce.

A continuación, se presenta un ejemplo de cómo los usuarios deben introducir en la calculadora los contenidos de pesticidas aplicados en la producción de café convencional:

- Identificar el nombre comercial del pesticida orgánico que se va a utilizar. Por ejemplo, Roundup® Ultimate.

- Identificar en las especificaciones del producto el ingrediente activo del pesticida utilizado. Por ejemplo, en el caso de Roundup® Ultimate, el ingrediente activo es glifosato.
- Identificar el porcentaje de ingrediente activo en la composición del pesticida comercial. Estos datos se pueden visualizar comúnmente en los envases adquiridos, pero también en los documentos de presentación del producto, que suelen estar disponibles en Internet.
- En el caso de Roundup® Ultimate, el contenido de glifosato es del 48 %, mientras que el 52 % restante es material inerte.
- Según la dosis empleada por hectárea de cada pesticida comercial, se pueden obtener las cantidades de ingrediente activo utilizados. Por ejemplo, si se están aplicando 10 kilogramos por hectárea de Roundup® Ultimate, considerando un 48 % de contenido de glifosato, se están aplicando 4,8 kilogramos de ingrediente activo, es decir, glifosato, por hectárea. Este último valor de 4,8 kg/ha es el que el usuario deberá incluir en la casilla de glifosato en la pestaña de “Cultivo”.



Cantidad de agua para riego

Se solicita introducir la cantidad total de agua en litros empleada por cafeto durante la etapa de vivero. En otras palabras, el total del volumen de agua utilizado para el desarrollo de las chapolas hasta ser plántulas.

5.2.4. Hoja 4: Etapa de beneficiado húmedo y secado

Con esta hoja culminará la introducción de datos si se eligió la opción “Beneficiado” como límite del análisis en la hoja 1 “Información general”.



Despulpado

Se solicita seleccionar el tipo de combustible empleado por la despulpadora, ya sea gasolina con grado de octanaje 84, diésel-petróleo o electricidad, de acuerdo con la opción elegida en el menú desplegable. Asimismo, el usuario debe introducir el consumo anual de combustible por la despulpadora. Se

puede indicar el consumo tanto en litro como en galones por año o kWh para el caso de la energía eléctrica utilizando el menú desplegable.



Lavado

El usuario debe indicar si durante el proceso de lavado se emplea agua con el menú desplegable. De elegir la opción “Sí”, se debe introducir el volumen de agua empleado para el proceso de fermentado en litros.



Secado

El usuario debe indicar si durante el proceso de secado se empleó energía eléctrica con el menú desplegable. De elegir la opción “Sí”, se debe introducir el valor consumido de energía eléctrica en kWh. Asimismo, el usuario debe especificar si durante el proceso de secado se empleó agua con el menú desplegable. De elegir la opción “Sí”, se debe introducir el volumen de agua empleado para el proceso en litros.



Producto

Se solicita indicar en kilogramos el peso total de café pergamino seco obtenido al concluir la etapa de beneficiado. Asimismo, se pide al usuario que indique la cantidad de residuo que se destina a compostaje.

5.2.5. Hoja 5: Trillado y traslado a puerto

Esta hoja solo estará disponible si se seleccionó la opción “Traslado a puerto” como límite del análisis en la hoja 1 “Información general”.



Distancia a planta de trillado (cálculo rápido y detallado): se solicita indicar la distancia en kilómetros recorrida en vehículo automotor desde la cooperativa hasta la planta de trillado.



Energía de trilladoras (cálculo detallado): el usuario debe introducir la energía total empleada durante el trillado por las maquinarias en kWh.



Distancia a puerto (cálculo rápido y detallado): se solicita indicar la distancia en kilómetros recorrida en vehículo automotor desde la planta de trillado hasta el puerto de comercialización.



Café verde obtenido (cálculo detallado): el usuario debe indicar la cantidad de café verde obtenido en kilogramos al culminar el proceso.

5.2.6. Hoja 6: Resultados

Resultados generales

Se presenta la huella ambiental total considerada para dos unidades funcionales: 1 kg de café verde y 1 quintal (46 kg) de café verde. Las categorías de impacto consideradas son huella de carbono, ecotoxicidad de agua dulce, eutrofización, escasez de agua, toxicidad humana con efectos cancerígenos, toxicidad humana sin efectos cancerígenos, material particulado y acidificación de agua dulce.

Resultados por etapa

Se presenta la huella ambiental de 1 kg de café verde para las cuatro categorías de impacto antes mencionadas por cada una de las cuatro etapas analizadas: vivero, cultivo, beneficiado húmedo y secado, y trillado y puesta en puerto. Para las categorías de impacto se presenta el valor absoluto y el valor relativo de cada etapa.

Gráficos de resultados

A través de gráficos se presenta la distribución porcentual de la huella ambiental por etapa para las ocho categorías de impacto consideradas.

Elementos más contaminantes

Sobre la base de los datos introducidos por el usuario, se determinan los elementos de mayor magnitud en las categorías de impacto. Se especifica la huella ambiental de cada uno por 1 kg de café verde y su porcentaje de contribución a la huella ambiental total.

Análisis de captura de carbono

Sobre la base de los datos introducidos por el usuario, se determinan los elementos de mayor magnitud

en las categorías de impacto. Se especifica la huella ambiental de cada uno por 1 kg de café verde y su porcentaje de contribución a la huella ambiental total.

5.2.7. Hoja 7: Comparación

En esta sección, se yuxtapone el resultado obtenido por el usuario de la calculadora con el de otros productores de la región Latinoamérica en términos de huella de carbono. Los valores comparativos presentados corresponden a documentos académicos con sustento científico (Andrade *et al.*, 2014; Coltro *et al.*, 2006; Kilian *et al.*, 2013; Segura y Andrade, 2012).

5.2.8. Hoja 8: Informe

En esta hoja se presenta un botón rotulado como “Imprimir informe”. Al hacer clic en él, se abre una interfaz donde se despliega un resumen de los datos introducidos y de los resultados computados por el software. De ser requerido, este informe se puede guardar en PDF o imprimir.

5.3. Uso bajo la perspectiva del consumidor

Para empezar, se debe apretar el botón “Consumidor” en la hoja de inicio al inicializar la calculadora. Esta funcionalidad comprende las etapas de tostado, preparación, consumo y limpieza posconsumo.

5.3.1. Hoja 1: Información de consumo

En esta hoja el usuario deberá completar los siguientes campos:

País de consumo

El usuario debe especificar en dónde se realiza el consumo del producto: Perú, Alemania, Finlandia, España, Francia o Italia. Estos países se seleccionaron tomando en cuenta el consumo de café per cápita y el volumen de café importado proveniente del Perú. Según la información introducida por el usuario, se ajustan los valores de transporte internacional, regional, entre otros.

Forma de preparación del café

Se solicita indicar si la preparación del café para consumo se realizó a través de una prensa francesa o una máquina de café. Dependiendo de la selección, se ajustan las proporciones de café, agua, consumo eléctrico, consumo de detergente, entre otros.

Volumen de café preparado

El usuario debe introducir la cantidad de café preparado para que este sea analizado por la calculadora. Los resultados del análisis del ciclo de vida se presentan por litro de café y por el volumen especificado por el usuario.

Uso de lavaplatos para aseo

Se dispone de un menú desplegable para que el usuario especifique si utiliza una máquina lavaplatos para la limpieza de los recipientes empleados durante la preparación; en caso contrario, la calculadora asumirá que el lavado se realiza a mano. Los valores de consumo de agua y detergente se ajustan para contemplar la selección del usuario.

5.3.2. Hoja 2: Resultados de consumo

Resultados

En esta sección se presentan los resultados de huella ambiental para las ocho categorías de impacto consideradas por la calculadora de acuerdo con las especificaciones del usuario. Los valores se agregan a nivel de 1 litro de café listo para consumo y a nivel del volumen especificado por el usuario. Los valores presentados contemplan el transporte desde el Perú al país de consumo, el tostado, el empaquetado, el transporte del producto dentro del país de consumo, la preparación del café y el lavado de los utensilios empleados.

Comparación de huella de carbono

Al igual que bajo la perspectiva del productor, en esta sección se yuxtapone el resultado obtenido por el usuario de la calculadora con el de otros resultados de café de consumo correspondientes a otros países en términos de huella de carbono. Los valores comparativos presentados corresponden a documentos académicos con sustento científico (Hassard *et al.*, 2014; Hicks, 2018; Humbert *et al.*, 2009; Öko-Institut, 2008; Usva *et al.*, 2020).

5.4. Errores frecuentes

Existen una serie de errores que el usuario puede identificar a la hora de ver los resultados en la versión de MS Excel®. Se detallan a continuación los más frecuentes y cuál sería la solución.

5.4.1. Resultados con #NA

Causa: no se colocó un valor de cerezo, café verde o café pergamino, por lo que el sistema intenta dividir entre 0 y produce un error aritmético.

Solución: revisar que ninguno de estos tres datos no sean 0 o nulos.

5.4.2. Error 1004 de VBA

Causa: se han utilizado incorrectamente los botones de “Modo desarrollador” y “Modo usuario” o se ha interactuado incorrectamente con los botones, listas desplegables y *checkboxes*.

Solución: reiniciar el programa.

6.

Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos por el *software* de cálculo permiten identificar las cargas críticas del proceso productivo del café tanto bajo la perspectiva del productor como del consumidor. Además, los resultados permiten obtener los resultados globales del proceso productivo estudiado de huella de carbono, huella hídrica y efectos en la salud humana, por lo que se cubren las dos principales huellas ambientales usadas en el sector privado.

Si bien los resultados no certifican el perfil ambiental del producto, suponen un punto de referencia para productores, empresas, técnicos o cooperativas del sector. Dichos resultados pueden ser usados de cara a la preparación de estrategias corporativas para la obtención de ecoetiquetas o para usar como punto de referencia en las declaraciones ambientales de producto. Asimismo, se recomienda proceder con cautela al momento de efectuar comparaciones con los resultados de otros estudios publicados en la literatura. Ello se debe a que los métodos de análisis y las bases de datos de inventario de ciclo de vida son múltiples y están sujetos a actualizaciones constantes. Por lo tanto, la comparación que se ofrece es meramente referencial y no debe usarse para propósitos comerciales.

Referencias

- Andrade, H., Segura, M., Canal, D., Feria, M., Alvarado, J., Marín, L., ... Gómez, M. (2014).** Chapter 3. The carbon footprint of coffee production chains in Tolima, Colombia. En *Sustainable agroecosystems in climate change mitigation* (pp. 53-66). Wageningen Academic Publishers. Recuperado de <https://www.wageningenacademic.com/doi/abs/10.3920/978-90-8686-788-2> doi: 10.3920/978-90-8686-788-2_3
- Bos, U., Maier, S. D., Horn, R., Leistner, P. y Finkbeiner, M. (2020).** A GIS based method to calculate regionalized land use characterization factors for life cycle impact assessment using LANCA®. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(7), pp. 1259-1277. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-020-01730-y> doi: 10.1007/s11367-020-01730-y
- Boulay, A. M., Bare, J., Benini, L., Berger, M., Lathuillière, M. J., Manzardo, A., ... Pfister, S. (2018).** The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining (AWARE). *International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(2), pp. 368-378. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-017-1333-8> doi: 10.1007/s11367-017-1333-8
- Coltro, L., Mourad, A. L., Oliveira, P. A., Baddini, J. P. O. y Kletecke, R. M. (2006).** Environmental profile of Brazilian green coffee. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 11, pp. 16-21. Springer. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1065/lca2006.01.230> doi: 10.1065/lca2006.01.230
- De Laurentiis, V., Secchi, M., Bos, U., Horn, R., Laurent, A. y Sala, S. (2019).** Soil quality index: Exploring options for a comprehensive assessment of land use impacts in LCA. *Journal of Cleaner Production*, 215, pp. 63-74. doi: 10.1016/j.jclepro.2018.12.238
- Fantke, P., Bijster, M., Guignard, C., Hauschild, M. Z., Huijbregts, M. A., Jolliet, O., ... van Zelm, R. (2017).** *USEtox 2.0 Documentation (Version 1.1)* (USEtox® Team, Ed.). Lyngby: USEtox International Center hosted at the Technical University of Denmark. Recuperado de <http://usetox.org> doi: 10.11581/DTU:00000011
- Gallego, A., Rodríguez, L., Hospido, A., Moreira, M. T. y Feijoo, G. (2010).** Development of regional characterization factors for aquatic eutrophication. *International Journal*

of *Life Cycle Assessment*, 15(1), pp. 32-43. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-009-0122-4> doi: 10.1007/s11367-009-0122-4

Hassard, H. A., Couch, M. H., Techa-Erawan, T. y Mclellan, B. C. (2014). Product carbon footprint and energy analysis of alternative coffee products in Japan. *Journal of Cleaner Production*, 73, pp. 310-321. doi: 10.1016/j.jclepro.2014.02.006

Hicks, A. L. (2018). Environmental implications of consumer convenience: Coffee as a case study. *Journal of Industrial Ecology*, 22(1), pp. 79-91. Descargado de <http://doi.wiley.com/10.1111/jiec.12487> doi: 10.1111/jiec.12487

Humbert, S., Loerincik, Y., Rossi, V., Margni, M. y Jolliet, O. (2009). Life cycle assessment of spray dried soluble coffee and comparison with alternatives (drip filter and capsule espresso). *Journal of Cleaner Production*, 17(15), pp. 1351-1358. doi: 10.1016/j.jclepro.2009.04.011

International Organization for Standardization. (2006a). ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Principios y marco de referencia. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/{#}iso:std:iso:14040:ed-2:v1:es>

International Organization for Standardization. (2006b). ISO 14044:2006(es). Gestión ambiental - Análisis del ciclo de vida - Requisitos y directrices. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/{#}iso:std:iso:14044:ed-1:v1:es>

International Organization for Standardization. (2016). ISO 14021:2016(es), Etiquetas y declaraciones ambientales - Afirmaciones ambientales autodeclaradas (Etiquetado ambiental tipo II). Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/{#}iso:std:iso:14021:ed-2:v1:es>

International Organization for Standardization. (2018). ISO 14067:2018(es), Gases de efecto invernadero - Huella de carbono de productos - Requisitos y directrices para cuantificación. Recuperado de <https://www.iso.org/obp/ui/{#}iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>

Ita-Nagy, D., Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Chinga-Carrasco, G. y Quispe, I. (2020). Reviewing environmental life cycle impacts of biobased polymers: current trends and methodological challenges. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(11), pp. 2169-2189. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-020-01829-2> doi: 10.1007/s11367-020-01829-2

Jolliet, O., Antón, A., Boulay, A. M., Cherubini, F., Fantke, P., Levasseur, A., ... Frischknecht, R. (2018). Global guidance on environmental life cycle impact assessment indicators: impacts of climate change, fine particulate matter formation, water consumption and land use. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 23(11), pp. 2189-2207. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-018-1443-y> doi: 10.1007/s11367-018-1443-y

Kilian, B., Rivera, L., Soto, M. y Navichoc, D. (2013). Carbon footprint across the coffee supply chain: The case of Costa Rican coffee. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 3, pp. 151-175.

- Margni, M., Rossier, D., Crettaz, P., y Jolliet, O. (2002).** Life cycle impact assessment of pesticides on human health and ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 93(1-3), pp. 379-392. doi: 10.1016/S0167-8809(01)00336-X
- Nakicenovic, N., Victor, N., y Morita, T. (1998).** Emissions scenarios database and review of scenarios. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 3(2-4), pp. 95-131. Descargado de <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009699523349> doi: 10.1023/a:1009699523349
- Öko-Institut. (2008).** *Case Study Tchibo Privat Kaffee Rarity Machare* (Inf. Téc.). Hamburgo: Autor.
- Olesen, A., y Damgaard, A. (2014).** *Landfilling in EASETECH: Data Collection and Modeling of the Landfill Modules in EASETECH* (Inf. Téc.). Kongens Lyngby: Technical University of Denmark.
- Publicly Available Specification. (2008).** *PAS 2050:2008(es), Verificación de la Huella de Carbono*. Descargado de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-pas-2050>
- Rosenbaum, R. K., Bachmann, T. M., Gold, L. S., Huijbregts, M. A., Jolliet, O., Juraske, R., ... Hauschild, M. Z. (2008).** USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterisation factors for human toxicity and freshwater ecotoxicity in life cycle impact assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 13(7), 532-546. Descargado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-008-0038-4> doi: 10.1007/s11367-008-0038-4
- Schwartzberg, H. (2013).** Batch Coffee Roasting; Roasting Energy Use; Reducing That Use. En *Food engineering series* (pp. 173-195). Springer. Descargado de https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4614-7906-2_10 doi: 10.1007/978-1-4614-7906-2_10
- Segura, M., y Andrade, H. (2012).** Huella de carbono en cadenas productivas de café (*Coffea arabica* L.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. *Luna Azul*, 35, pp. 60-77. Recuperado de http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1909-24742012000200005&script=sci_abstract&tlng=es
- Usva, K., Sinkko, T., Silvenius, F., Riipi, I. y Heusala, H. (2020).** Carbon and water footprint of coffee consumed in Finland –life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 25(10), pp. 1976-1990. Recuperado de <https://doi.org/10.1007/s11367-020-01799-5> doi: 10.1007/s11367-020-01799-5
- Vázquez-Rowe, I., Kahhat, R., Quispe, I., y Bentín, M. (2016).** Environmental profile of green asparagus production in a hyper-arid zone in coastal Peru. *Journal of Cleaner Production*, 112, pp. 2505-2517. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.076
- Vázquez-Rowe, I., Marvuglia, A., Flammang, K., Braun, C., Leopold, U., y Benetto, E. (2014).** The use of temporal dynamics for the automatic calculation of land use impacts in LCA

Vázquez-Rowe, I., Marvuglia, A., Flammang, K., Braun, C., Leopold, U. y Benetto, E. (2014).

The use of temporal dynamics for the automatic calculation of land use impacts in LCA using R programming environment: A case study for increased bioenergy production in Luxembourg. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(3), pp. 500-516. doi: 10.1007/s11367-013-0669-y

Vázquez-Rowe, I., Torres-García, J. R., Cáceres, A. L., Larrea-Gallegos, G., Quispe, I., y Kahhat, R. (2017).

Assessing the magnitude of potential environmental impacts related to water and toxicity in the Peruvian hyper-arid coast: A case study for the cultivation of grapes for pisco production. *Science of the Total Environment*, 601-602, pp. 532-542. Recuperado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28575831/> doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.221

Ziegler-Rodriguez, K., Margallo, M., Aldaco, R., Vázquez-Rowe, I. y Kahhat, R. (2019).

Transitioning from open dumpsters to landfilling in Peru: Environmental benefits and challenges from a life-cycle perspective. *Journal of Cleaner Production*, 229, pp. 989-1003. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.015

Índice de figuras

- Figura 2.1.** Etapas de la metodología del ACV de acuerdo con la ISO 14040 (International Organization for Standardization, 2006a)
- Figura 2.2.** Límites del sistema considerado en **CalCafé v2.1** para la perspectiva del productor dentro de una simplificación del ciclo de vida del café listo para consumo
- Figura 2.3.** Entradas y salidas de los principales procesos en la producción de grano verde de café considerados por **CalCafé v2.1**
- Figura 2.4.** Límites del sistema considerado en **CalCafé v2.1** para la perspectiva del consumidor
- Figura 2.5.** Entradas y salidas de los principales procesos en la obtención de café listo para consumo por **CalCafé v2.1**
- Figura 3.1.** Elementos principales de la interfaz de usuario: *barra de navegación* (a), *entorno de trabajo* (b) y *barra de información* (c)
- Figura 3.2.** Objetos fundamentales del entorno de trabajo: *checkbox* (a), *listas desplegadas* (b), *celdas numéricas* (c) y *botones de interacción* (d)
- Figura 4.1.** Captura de pantalla que muestra el mensaje inicial de la primera ejecución de **CalCafé v2.1**



Calle 21 N° 713, San Isidro
Lima – Perú

ALÓ EXPORTADOR

(01) 604-5601 / (01) 719-2999 / (01) 207-1530
(01) 616-7400 (Dpto. de Comercio Sostenible)

www.promperu.gob.pe
sae@promperu.gob.pe