

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



CalCacao versión 1.0

Manual de uso



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

Una publicación del Ministerio de Comercio Exterior y Turismo (MINCETUR).

Calle Uno Oeste No 50, Urb. Córpac, San Isidro, Lima, Perú

Teléfono: (51-1) 513-6100

www.mincetur.gob.pe

© MINCETUR. Todos los derechos reservados.

Esta publicación ha sido cofinanciada por el Programa SeCompetitivo de la Cooperación Suiza SECO, implementada por Helvetas Perú y en colaboración con la Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo (PROMPERÚ)

Elaboración:

MINCETUR y PROMPERÚ. Obra colectiva.

Investigación realizada por:

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

Equipo investigador:

Ian Vázquez Rowe, Ph. D., profesor principal PUCP y gestor del proyecto

Ramzy Kahhat Abedrabbo, Ph. D., profesor principal PUCP

Alexis Dueñas Dávila, Ph. D., profesor auxiliar PUCP

Eizo Muñoz Sovero, investigador PELCAN-PUCP

Índice

CAP 1. Introducción	8
1.1. Información general	8
1.2. Antecedentes	8
CAP 2. Marco conceptual	12
2.1. Conceptos clave (glosario)	12
2.2. Metodología de ACV	15
2.2.1. Definición	15
2.2.2. Objetivos y alcance	16
2.2.3. Límites del sistema	17
2.2.4. Métodos de análisis y categorías de impacto	18
2.2.5. Contexto normativo	23
CAP 3. Características de la calculadora	28
3.1. Requisitos y principios	28
3.2. Arquitectura de cálculo	29
3.3. Interfaz de usuario	33



CAP 4. Uso del software	36
4.1. Inicialización	36
4.2. Uso bajo la perspectiva del productor	37
4.2.1. Hoja 1: información general	37
4.2.2. Hoja 2: etapa de vivero	39
4.2.3. Hoja 3: Etapa de cultivo	39
4.2.4. Hoja 4: Etapa de beneficiado (fermentación en cajas y secado)	41
4.2.5. Hoja 5: Tamizado, almacenamiento y traslado a puerto	42
4.2.6. Hoja 6: Resultados	43
4.2.7. Hoja 7: Comparación	44
4.2.8. Informe	46
4.3. Errores frecuentes	46
4.3.1. Resultados con #NA	46
4.3.2. Error 1004 de VBA	46
CAP 5. Interpretación de resultados	48
CAP 6. Referencias	50

Figuras y tablas

Figura 2.1. Etapas de la metodología de ACV de acuerdo a la ISO 14040 (International Organization for Standardization, 2006a)	15
Figura 2.2. Límites del sistema considerado en CalCacao v1.0 para la perspectiva del productor dentro de una simplificación del ciclo de vida del cacao listo para consumo	17
Figura 2.3. Entradas y salidas de los principales procesos en la producción de grano de cacao seco considerados por CalCacao v1.0	18
Figura 3.1. Elementos principales de la interfaz de usuario: barra de navegación (a), entorno de trabajo (b) y barra de información (c)	33
Figura 3.2. Objetos fundamentales del entorno de trabajo: checkbox (a), listas desplegables (b), celdas numéricas (c) y botones de interacción (d)	34
Figura 4.1. Captura de pantalla que muestra los mensajes iniciales en el primer uso de CalCacao v1.0	36
Tabla 4.1. Pesticidas más comunes en el manejo agronómico del cacao (adaptado de Avadí et al., 2021)	41
Tabla 4.2. Comparación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para la producción de 1 kilogramo de cacao en diferentes presentaciones en la literatura científica (adaptado de Avadí et al., 2021)	45





1.

INTRODUCCIÓN

1.1. Información general

CalCacao se define como una herramienta informática que facilita el cálculo de los impactos ambientales asociados a la producción de grano de cacao seco y su consumo, utilizando como estructura operacional la metodología de Análisis de Ciclo de Vida (ACV). El análisis efectuado comprende los diferentes distritos del Perú en cuyo territorio existe producción de cacao (*Theobroma cacao* L.). El análisis computacional que ofrece la calculadora se realiza considerando una perspectiva de cuna a puerta, es decir, desde la etapa de vivero hasta la etapa de traslado a puerto. 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 presente 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.



Se realiza un análisis **de cuna a puerta** desde la etapa de vivero hasta traslado a puerto



1.2. 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 ambiente. Además, dado que la UE es el mercado que consume más de la mitad del cacao producido en todo el mundo y que las exportaciones de América Latina y el Caribe se dirigen mayoritariamente a esta región (MINCETUR, 2016), resulta imprescindible adaptar los métodos productivos



para que se cumpla con estos estándares y, en paralelo, promover el uso de herramientas cuyas metodologías permitan a todo el recurso humano del sector productor cuantificar sus impactos ambientales por cada campaña producida.

Todos estos mecanismos destinados a mejorar la transparencia del manejo ambiental de los productos de origen agrícola y agroforestal necesitan de un trabajo previo que consiste en la capacitación del sector en el uso de herramientas de gestión ambiental, una recopilación exhaustiva de inventarios de flujos ambientales y el desarrollo de herramientas y mecanismos de trazabilidad que permitan el monitoreo de los impactos ambientales que ocurren en estos procesos de producción. 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 cacao.

El desarrollo de las Reglas de Categoría de Huella Ambiental (PEFCR) desde el año 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 cacao. La CE propuso como una de las métricas para evaluar el desempeño ambiental de la producción

de cacao a la Huella Ambiental de Producto (HAP), basada en la metodología de ACV. En esta, se cuantifica el impacto ambiental involucrado desde la producción de la materia prima utilizada hasta la disposición final del producto.

En este contexto, el Perú tiene una política sostenida de fomento a la producción de cacao desde el año 2005, cuando la ONG Agrónomos y Veterinarios sin Fronteras (AVSF) implementó el proyecto “Fomento de la competitividad del sector cacaotero en el Perú” (PROCACAO), el cual permitió articular varios ejes de apoyo público como el programa “Promoción externa del comercio” (PROMPERÚ), la política de promoción de la producción agraria, el “Programa de compensación para la competitividad” y la política de escuelas de campo para agricultores en el cultivo del cacao (MINAGRI/INIA). También está la “Alianza Cacao Perú” de 2013, iniciativa público/privada para promover la producción y comercialización del CFA.

Según datos del INEI, en el año 2020, la producción total de cacao en el Perú fue de 152 000 toneladas métricas, un crecimiento de casi el 7 % en comparación con el año precedente (2019) (INEI, 2021). Según esta misma fuente, este incremento de la producción se debió fundamentalmente a las lluvias moderadas que se dieron en la fase de floración y fructificación en la mayoría de las zonas cacaoteras, y no a una expansión de la frontera agrícola como tal en ese periodo. Dentro de este escenario nacional, San Martín y Junín destacan como las principales regiones productoras del país. El volumen de producción destinado a la exportación ascendió en 2020 a 67 000 toneladas métricas, de las cuales la mayor parte fueron enviadas a Holanda, Bélgica, los Estados Unidos de América e Indonesia. Por último, cabe indicar que el Perú es el segundo productor de cacao orgánico del mundo (MINCETUR, 2016).

En todo este contexto, es importante tener herramientas que nos permitan hacer un seguimiento de los impactos ambientales que surgen a consecuencia de la producción de los productos agrícolas, sean estos con fines de exportación o de consumo nacional, con el fin de identificar acciones de mejora ambiental en el sector bajo estudio, en este caso el cacao. Por este motivo, el presente manual presenta el software de cálculo CalCacao, el cual consiste en una herramienta que permite estimar el impacto ambiental de una plantación personalizable de cacao localizada en el Perú en base a la información de entrada provista por el usuario.



A su vez, permitirá reportar los perfiles ambientales de los productos a los consumidores y otros actores de la cadena de valor, tanto a nivel nacional como en el extranjero; en paralelo de extender facultades para fomentar una cultura de transparencia y reproducibilidad de los flujos ambientales que ocurren en los sistemas agroalimentarios.

Por ello, presentamos en este manual CalCacao una calculadora científica para medir los impactos ambientales de la producción de cacao hasta la puesta en puerto de los productos derivados listos para su exportación. CalCacao usa como base la metodología de Análisis de Ciclo de Vida, descrita en el presente manual, presentando ocho indicadores ambientales o categorías de impacto que se pueden usar en la herramienta Excel acompañante, con el fin de que el sector nacional pueda hacer sus mediciones de una manera sencilla y directa, pero al mismo tiempo con cálculos rigurosos y basados en la literatura científica relacionada.

El principal beneficio del empleo de CalCacao está ligado con tener una mayor visibilidad en los mercados locales y extranjeros interesados en garantizar la trazabilidad de los flujos y huellas ambientales. Asimismo, esto extenderá la facultad de identificar agentes contaminantes en la línea de producción y puntos críticos de demanda energética, y permitir una toma de decisiones en la cadena de producción adecuada a una producción con parámetros más ecoeficientes.

2.

MARCO CONCEPTUAL

2.1. Conceptos clave (glosario)

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

- **Acidificación de agua dulce (FA, *Freshwater Acidification*):** indicador del ingreso de sustancias acidificantes como sulfatos y nitratos en cuerpos de agua dulce, cuantificado en iones de hidrógeno equivalentes. Esta variación es potencialmente negativa para la biodiversidad en estos ecosistemas, alterando el pH y, en consecuencia, poniendo desafíos fisiológicos en este hábitat.
- **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. Estos flujos pueden referirse a recursos, materias primas, productos, transportes, fuentes de energía, etc.

- **Escasez de agua (WD, *Water Depletion*):** indicador del consumo de agua durante el sistema de producción, tomando en cuenta la disponibilidad de este recurso en la cuenca local.
- **Eutrofización potencial de agua dulce (FE, *Freshwater Eutrophication*):** indicador del potencial enriquecimiento de ecosistemas acuáticos con nutrientes principalmente compuestos de nitrógeno y fósforo. En consecuencia, este fenómeno negativo promueve el crecimiento excesivo de materia orgánica que cubre con una película superficial verdosa los cuerpos de agua (por lo general, lagos, riachuelos, etc.), evitando el ingreso de la luz solar a los fondos de estos ecosistemas, limitando la fotosíntesis de algas y promoviendo el crecimiento de microorganismos tóxicos que agotan el oxígeno disuelto, compitiendo a su vez con las especies abióticas del ambiente.
- **Ecotoxicidad de agua dulce (FT, *Freshwater Toxicity*):** 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 son capaces de retener la energía solar que llega a la superficie del planeta, calentándolo.
- **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 consumo de agua que se producen 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 de ellos puede tener un impacto ambiental asociado, dependiendo de 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 ($PM_{2.5}$, *Particulate Matter 2.5*):** 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.
- **PAF (*Potentially Affected Fraction*):** factor de caracterización vinculado a la categoría de impacto ecotoxicidad de agua dulce. Este representa la fracción de especies potencialmente afectadas por metro cúbico en un día ($PAF.m^3 .día$).
- **Potencial de Calentamiento Global (GWP, *Global Warming Potential*):** efecto de calentamiento a lo largo del tiempo correspondiente a 1 kg de un determinado GEI expresado relativamente al causado por el dióxido de carbono. Toma en cuenta tanto los efectos de la fuerza radiativa de cada gas como 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 (HTP-NC, *Human Toxicity Potential - Non-Carcinogenic*):** indicador de los efectos negativos a la salud humana producidos por la ingesta de sustancias tóxicas a través de la inhalación de aire, consumo de comida/agua y penetración de la piel. Estos efectos no se encuentran relacionados a enfermedades cancerígenas, material particulado ni a radiación ionizante.
- **Toxicidad humana con efectos cancerígenos (HTP-NC, *Human Toxicity Potential - Carcinogenic*):** indicador de los efectos negativos a la salud humana producidos por la ingesta de sustancias tóxicas a través de la inhalación de aire, consumo de comida/agua y penetración de la piel. Estos efectos se encuentran relacionados únicamente a enfermedades cancerígenas.
- **Unidad Funcional (UF):** referencia base matemática del producto del sistema analizado. En base a él, se consideran las entradas y salidas.

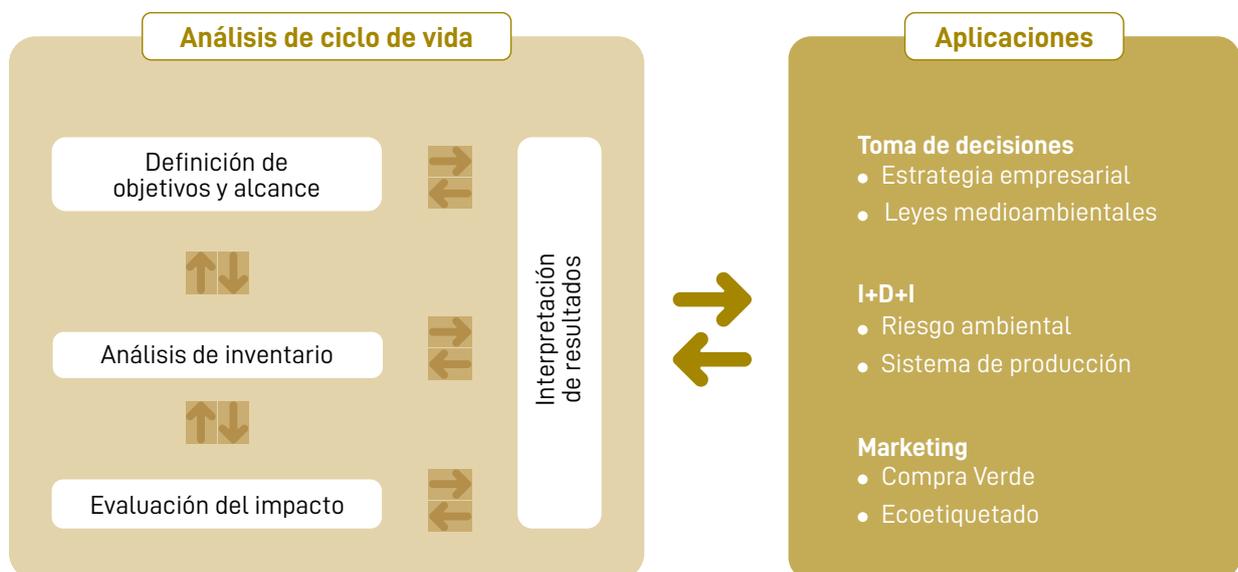
2.2. Metodología de ACV

2.2.1. Definición

De acuerdo al 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 que 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 a la ISO 14040



Fuente: International Organization for Standardization, 2006a

En lo que refiere a CalCacao v1.0, esta calculadora NO REALIZA UN ACV COMPLETO por dos motivos fundamentales. Por un lado, este software 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 otros) 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 CalCacao v1.0 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.

2.2.2. 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 CalCacao v1.0 ha sido diseñado con la finalidad de proporcionar un cálculo simplificado de las cargas ambientales asociadas a la cadena de valor del cacao peruano de exportación, abordando las perspectivas tanto del productor como del consumidor. La unidad de referencia a la cual se asocian 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 de cacao seco. Los cálculos y resultados están presentados en referencia a esta unidad, además de un cálculo adicional por 1 quintal de grano de cacao seco (1 quintal = 46 kg).

En esta versión, se reportan los impactos ambientales exclusivamente de la producción del producto principal. En este sentido, no existe ningún coproducto o salida del sistema que pueda ser reutilizado o ser reintroducido a otra cadena de valor, excepto los residuos que se destinan a compostaje. Por lo tanto, si bien no se realiza una asignación



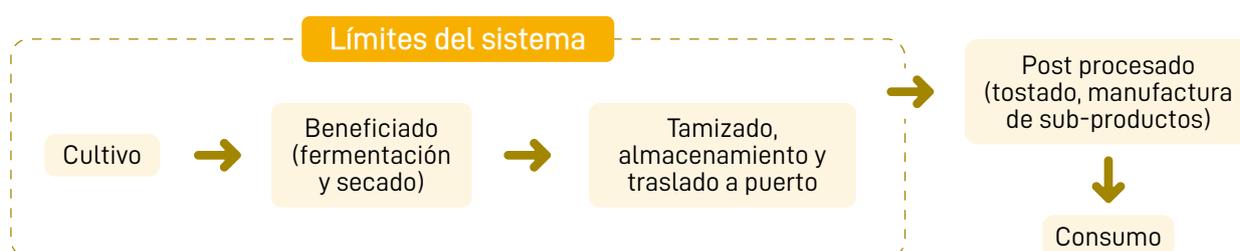
Proporciona un **cálculo simplificado** de las cargas ambientales asociadas a la cadena de valor del **banano peruano** de exportación

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. Entonces, los usuarios de la herramienta solo verán el impacto atribuido a la cantidad de grano de cacao producido correspondiente.

2.2.3. Límites del sistema

Los límites del sistema incluyen analizar el grano de cacao seco, el cual es en realidad un producto intermedio en la cadena de valor de la producción de cacao listo para su consumo. En este sentido, la calculadora realiza un análisis en una etapa intermedia (puerto de exportación) 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; es decir, cacao seco, listo para exportación. Sin embargo, la calculadora permite reducir el límite del sistema para considerar solo los impactos ambientales hasta la producción del cacao seco, sin incluir el transporte a puerto para exportación, ya que en algunos casos el cacao se lleva a procesado en polvo o pasta dentro del Perú. La figura 2.2 permite apreciar los límites del sistema que considera CalCacao v1.0, y cómo este forma parte de un sistema más complejo.

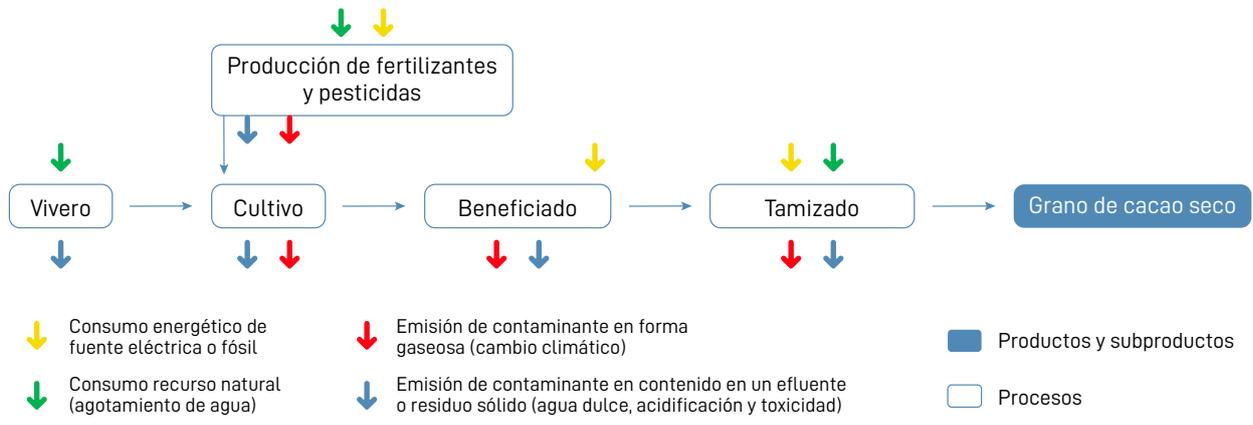
Figura 2.2. Límites del sistema considerado en CalCacao v1.0 para la perspectiva del productor dentro de una simplificación del ciclo de vida del cacao listo para consumo



Fuente: CalCacao v1.0

Los procesos fundamentales considerados dentro de estos límites se presentan en la figura 2.3. En esa figura, se puede observar los diferentes ingresos y salidas en cada uno de los procesos principales del sistema.

Figura 2.3. Entradas y salidas de los principales procesos en la producción de grano de cacao seco considerados por CalCacao v1.0



Fuente: CalCacao v1.0

2.4. Método 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 que se generan 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 aquellas metodologías que se encuentran más actualizadas y 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 emanando de la perspectiva general de ACV. Respecto a las categorías de impacto, un total de ocho se consideran: 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, centrándose en los volúmenes de agua usados y la escasez generada, mientras que las otras tres categorías son degradativas. A continuación, se describen brevemente estas ocho categorías:

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). Esta categoría 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 CO₂eq/kg de emisión. Cabe resaltar que este indicador tiene un horizonte temporal de 100 años. Esto quiere decir que se 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 (IPCC, 2013), 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 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).
- **Escasez 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 cacao (Boulay et al., 2018)
- **Acidificación de agua dulce (FA):** la metodología de excedencia de sustancias acidificantes acumuladas emplea el número de moles de hidrón equivalente para medir esta categoría de impacto en la evaluación del ACV. La acidificación de agua dulce afecta la estabilidad de los ecosistemas acuáticos, imponiendo desafíos fisiológicos a peces, crustáceos, microorganismos y plantas en estos hábitats al alterar el pH, convirtiendo estos cuerpos de agua en un medio ácido.

→ 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 enfermedades no cancerígenas 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.
 1. Material Particulado ($PM_{2.5}$)
 2. 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 cacao. 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 que se han desarrollado en los últimos años es el modelo 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:** definida 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 el cálculo de la misma, 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:** definida como la habilidad del suelo para absorber sustancias diluidas en la solución de agua subterránea y permitir el intercambio de iones adsorbidos. 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 en base a la textura del suelo y la acidez del mismo. 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 en base al 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 para 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

Si bien en la presente herramienta de cálculo el modelo LANCA no se desarrolla, es importante tener en cuenta que en futuras actualizaciones del software se puedan incluir algunos de estos indicadores, así como otros aspectos ambientales adicionales que puedan surgir y considerarse relevantes para este tipo de sistemas agroforestales.

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 a 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 de 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 ecoetiquetado sí lo son.

→ NTP-ISO 14044:2006

Gestión ambiental - Análisis de 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, el análisis crítico de los mismos, 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 de 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 y 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).

Cabe notar que otras normativas ISO relacionadas con el ACV o el cálculo de emisiones de GEI no fueron consideradas para usar en la presente calculadora. Este es el caso de la ISO 14064 de Huella de carbono corporativa. Dicha ISO es ampliamente utilizada por el sector empresarial para reportar las emisiones de GEI de las actividades organizacionales de una empresa. De hecho, la plataforma Huella de Carbono Perú, del MINAM, usa esta herramienta para que las empresas del Perú puedan reportar sus emisiones de GEI de manera transparente y validable en un portal web (MINAM, 2022). Sin embargo, es importante recalcar que dicho cálculo de huella de carbono no es de producto, sino de organización, por lo que no se rige por los mismos supuestos metodológicos que la huella de carbono de producto presentada en este manual.







3.

CARACTERÍSTICAS DE LA CALCULADORA

3.1. Requisitos y principios

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

1. **Relevancia:** los métodos usados para los cálculos en este software corresponden a aquellos de mayor actualización, garantizando su relevancia científica y social.
2. **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 periódica para garantizar que no se pierdan estas características y se mantenga la calidad de datos de la presente versión.
3. **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.
4. **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® v3.6 y Perú LCA (ecoinvent, 2022; Vázquez-Rowe et al., 2019), 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 dependen de la precisión, el empeño y la transparencia que estén dispuestos a compartir en cada momento.

- 5. 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.

3.2. Arquitectura de cálculo

CalCacao v1.0 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. Por un lado, la base de datos estática se caracteriza por contener información invariable 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 otro lado, 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 CalCacao v1.0 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 de cacao, pero que sí son parte del ciclo de vida del mismo, como por ejemplo la fabricación e importación de pesticidas y fertilizantes. Por otro lado, toda aquella 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, CalCacao v1.0 cuenta con datos predeterminados vinculados a la producción de grano de cacao seco.

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

Etapa de vivero:

las emisiones del vivero correspondientes a la arena, las bolsas negras y a la tierra agrícola se han modelado asumiendo una huella por kg de cacao seco de $2.26E-06$ kg de CO_2 equivalente, $2.43E-09$ PAF m^3 , $9.19E-10$ kg de P equivalente y $3.01E-06$ m^3 de agua. Asimismo, se desprecian las emisiones correspondientes a los procesos de selección de semillas y germinación de semillas, puesto que su huella ambiental se asume despreciable (Avadí et al., 2021).

**Etapa de cultivo:**

se considera una huella para los empaques contenedores de HDPE de fertilizantes y pesticidas de 0.388 kg de CO_2 equivalente, 4248.391 PAF m^3 , $7.408E-05$ kg de P equivalente y 0.1781 m^3 de agua por kilogramo de cacao seco producido. En el caso de los fertilizantes orgánicos, se ha modelado su transporte regional y el usuario puede incluir su transporte local, incluyendo en la interfaz el kilometraje correspondiente. En caso de que el transporte local se haga en vehículos de tracción animal, el valor de kilometraje se debe establecer 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. Las necesidades de nitrógeno de las plantas de cacao, utilizadas para estimar las emisiones directas, se determinaron a 400 kg N/ha, para plantas con edades de entre 5 y 12 años, en base a datos de Applied Agricultural Resources (<http://www.aarsb.com.my/cocoa-fertilizerrequirements>). Sin embargo, la información de la cantidad de fertilizante aplicado en la producción de cacao no está computarizada en la calculadora y se espera que estos datos se incluyan por parte del productor. Por último, en el caso de las necesidades hídricas, como valor referencial, se considera que un fundo cacaotero precisa de unos 1500 a 2000 mm por hectárea y año (Gaibor Pozo, 2017). Sin embargo, esta demanda es cubierta por la precipitación en las regiones geográficas de producción en el Perú, por lo que se mantiene fuera de los límites del sistema de la presente calculadora.



- **Etapa de beneficiado (fermentación en cajas y secado):**

en la planta de beneficiado, los granos de cacao llegan en baba o en mazorca. Si el insumo llega en mazorca, se emplea una máquina descascarilladora que separa los granos en baba del resto del cacao. Para este paso, es necesario considerar la energía empleada en el

descascarillado. En la presente calculadora, los usuarios pueden escoger la fuente de energía utilizada en el descascarillado: 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. Cuando el cacao se recibe en baba, el insumo pasa directamente a las cajas de fermentación, seguido de un cuidadoso secado solar o con energía suministrada en la planta. Los factores de emisión que se consideraron en las cajas de fermentación fueron de 56.22 g CO₂eq por kilogramo de cacao listo para comercialización (Cappa-Hernandes et al., 2022).



Para los residuos sólidos de origen orgánico generados en esta fase (por ejemplo, cáscara y placenta) 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), considerando condiciones climáticas promedio de fundos cacaoteros en el Perú (Olesen y Damgaard, 2014; Ziegler-Rodríguez et al., 2019). Por ejemplo, en el caso de huella de carbono, la emisión por kilogramo de residuo se estimó en 2.03 kg CO₂ equivalente. La huella ambiental correspondiente al transporte del cacao a un almacén y los recipientes empleados para este propósito son asumidos como 0 por ser despreciables.

- **Etapas de etiquetado, puesta en quintales y transporte a puerto:**

el modelado de la energía utilizada por la máquina de tamizado consideró como opciones energía eléctrica, diésel y gasolina 84. Las emisiones correspondientes al transporte en vehículo automotor han sido modeladas en base a 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 de los quintales, se consideró el factor de emisión de 0.6486 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 los árboles sombra con diámetro menor a 11 pulgadas, se emplea la ecuación 3.1:

$$\text{Biomasa} = 0.25 \times D^2 \times H \quad (3.1)$$

Donde la biomasa es expresada en libras, D es el diámetro en pulgadas y H la altura en pies. En caso que el diámetro de los árboles sombra 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. Finalmente, 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 de los cacaoteros. 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 en base a estudios previos. Estos están calibrados respecto a tres rangos de altura, puesto que esta variable condiciona tanto las dimensiones de la vegetación como la densidad de la misma.



En el caso de los cacaoteros, el cálculo de la biomasa para estimar la captura de carbono se rige bajo la ecuación 3.3:

$$Y = -2,01539 + 0,191278 \times E - 0,000370852 \times E^2 \quad (3.3)$$

Donde Y representa la biomasa húmeda y E, la biomasa edad promedio de cacaoteros en meses (Ortiz et al., 2008). Además, se considera que el contenido de carbono en esa biomasa es del 46 %. Se considera un 20 % de carbono adicional en las raíces. El tiempo de producción promedio de un cacaotero se estimó en 20 años.

Nota: los datos de fondo se obtuvieron de la literatura y se utilizaron bases de datos comerciales. El acuerdo de colaboración comercial y de confidencialidad entre PELCAN y ecoinvent® (ecoinvent, 2022) permite que CalCacao v1.0 utilice datos de ecoinvent® v3.6 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. En caso que el usuario desee explorar inventarios que provengan de ecoinvent® v3.6, se deberá realizar la compra de la licencia completa.

3.3. Interfaz de usuario

La calculadora utiliza el entorno visual de MS Excel. Este 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 cacao.

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

The screenshot shows a web-based user interface for agricultural carbon capture calculation. It is divided into three main sections:

- Barra de navegación (a):** Located on the left side, it contains a vertical list of 8 steps: 1. Información general, 2. Etapa de cultivo, 3. Etapa de selección, 4. Etapa de fertilización, 5. Etapa de riego, 6. Resultados parte I - Huella de Carbono, 7. Resultados parte II - Huellas Ambientales, and 8. Impresión de informe. Below this list are two buttons: 'Modo desarrollador' and 'Modo usuario'.
- Entorno de trabajo (b):** The central area where data is entered. It features a 'Cálculo detallado' dropdown menu and a checkbox for 'Considerar captura de carbono de árboles sombra'. Below this is a section for 'Información espacial-temporal de la parcela' with dropdowns for 'Departamento' (SAN MARTÍN) and 'Provincia' (MOYOBAMBA). A large table displays key data:

Nombre de cooperativa	PELCAN-A
Código de socio	XXXX
Coordenadas	(Latitud, Longitud)
Año de campaña	2020
Año de siembra	2015
Información de parcela	
Superficie cultivada	3 ha
Densidad de cacaoteros	950 cacaoteros/ha
Seleccionar rango de altitud (msnm)	1700-2200
Edad en meses de cacaotero	120 meses
Altura promedio de cacaotero	200 cm
Límites del análisis	
Último proceso a analizar	Traslado a puerto

 At the bottom of this section are 'SIGUIENTE' and 'PÁGINA 18' buttons.
- Barra de información (c):** The right side of the interface, containing text and logos. It states: 'En esta ventana se introducirán las características generales de la plantación agrícola. El cálculo de captura de carbono considera las dimensiones promedio de los bananos que se teogan en la plantación. Esta herramienta es resultado del financiamiento por: SeCompetitivo, HELVETAS PERU, and others. It is developed by the Red Peruana Ciclo de Vida y Ecología Industrial (PELCAN PUCP) with support from DROM PERU and RPE (Ruta Productiva Exportadora). Logos for various Peruvian government ministries are also present at the bottom.

Fuente: Elaboración propia

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 MS Excel, 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.

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

The screenshot shows a software interface with the following elements:

- Nivel de análisis:** A dropdown menu.
- Información espacial-temporal de la parcela:**
 - Departamento: A dropdown menu.
 - Provincia: A dropdown menu.
- Checkboxes (A):**
 - Considerar captura de carbono de árboles sombra
 - Datos predeterminados de árboles sombra
- Data Table (C):**

Nombre de cooperativa	PELCAN-A
Código de socio	XXXX, YYYY
Coordenadas	(Latitud, Longitud)
Año de campaña	2019 -
Año de siembra	2018 -
Información de parcela	
Superficie cultivada	5 ha
Densidad de cacaoteros	1200 cafetos/ha
Densidad de árboles sombra	0 árboles/ha
Díámetro promedio de árboles sombra	0 cm
Altura promedio de árboles sombra	0 cm
Díámetro promedio de cacaotero	5 cm
Altura promedio de cacaotero	200 cm
- Buttons (D):**
 - SIGUIENTE** button.
- Other fields:**
 - Último proceso a analizar: Beneficiado -

Fuente: Elaboración propia



4.

UTILIZACIÓN DEL SOFTWARE

4.1. Inicialización

CalCacao v1.0 requiere que el usuario tenga instalado MS ExcelR2013 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 CalCacao v1.0.

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 en caso de que el equipo desarrollador desee realizar alguna modificación o actualización del software.

Figura 4.1. Captura de pantalla que muestra los mensajes iniciales en el primer uso de CalBanano v1.0



Fuente: Elaboración propia

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 el equipo de investigación y están en consonancia con la observación del proceso productivo del cacao y de la literatura científica existente (Parra-Paitan and Verbung, 2022; Raschio et al., 2018; Boakye-Yiadom et al., 2021).

4.2. Uso bajo la perspectiva del productor

Para empezar, se debe apretar el botón "Clic para iniciar aquí" 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. En caso se haya efectuado un error, se ha habilitado un botón "Anterior" a la izquierda del botón "Siguiente" para regresar a la anterior hoja. A continuación, se presenta una descripción de las hojas utilizadas en el software para la introducción de datos del usuario:

4.2.1. Hoja 1: información general

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

→ Nivel de análisis

Se presenta un análisis minucioso en el que se permite la configuración más detallada posible 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 tamizado y exportación. Se recomienda su uso cuando se cuente con suficiente información.

→ Información espacio-temporal

- Ubicación de parcela: a partir de un menú desplegable, el usuario puede elegir el departamento y la provincia, en los cuales se desarrollan las actividades de producción del cacao. Se adicionaron todos los departamentos donde se encuentran producciones de cacao en el 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 grano de cacao seco listo para el traslado a puerto. A través de

un menú desplegable, se le permite al usuario elegir un año en el periodo comprendido entre el 2019 al 2029.

- Año de siembra: corresponde al año en el cual las semillas del cacao pasaron a la etapa de vivero de la cadena de producción. A través de un menú desplegable, se le permite al usuario elegir un año en el periodo comprendido entre el 2019 al 2029.

→ Información de parcela

- Superficie cultivada: se define como la totalidad del área ocupada por cacaoteros durante la etapa de cultivo en hectáreas. Los usuarios que deseen fragmentar sus áreas cultivadas deberán hacer corridas independientes al software.
- Densidad de cacaoteros: se solicita el número de cacaoteros por hectárea durante la etapa de cultivo del cacao.
- Densidad de árboles sombra (cálculo detallado): se define como la cantidad de árboles sombra presente 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 con promedios): se solicita el rango de alturas en el cual se encuentra la plantación. En base a ello, se estima un factor de captura de carbono por hectárea.

→ Tipo de cultivo

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

→ Límites del análisis

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

4.2.2. Hoja 2: etapa de vivero

→ Cantidad de agua para riego

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

4.2.3. Hoja 3: etapa de cultivo

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

→ Fertilizantes orgánicos

El usuario debe introducir la cantidad (en kilogramos) de fertilizante orgánico por hectárea empleada en su cultivo. Las opciones disponibles son las siguientes compost, pachakushi y guano de isla. Asimismo, en la columna de la derecha se solicita especificar la distancia en kilómetros recorrida en vehículo automotor hasta el proveedor local, donde 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 las siguientes: nitrato de amonio, nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de potasio, sulfato de magnesio, ácido fosfórico, ácido bórico y urea (nitrato de amonio). A excepción de la urea (expresada en litros por hectárea), los fertilizantes inorgánicos 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, donde se hizo la adquisición de cada producto. Como se explicó anteriormente, si el vehículo de transporte local es de tracción animal, se deberá dejar el kilometraje en cero.

→ Pesticidas

Los pesticidas no están permitidos en la producción de cacao orgánico, pero sí son de uso habitual en la producción de cacao convencional. En este sentido, es necesario tener en cuenta que la aplicación de pesticidas puede ser altamente variable según las decisiones en

cada fundo cacaotero. A la hora de medir los impactos ambientales de estos productos, es importante tener en cuenta que estos 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 ha usado en otros estudios de ACV para Perú (Vázquez-Rowe et al., 2016; Vázquez-Rowe et al., 2017), resulta complejo incluirlos para una calculadora que se va a usar 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 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 cacaoteros) 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 cacao convencional:

1. Identificar el nombre comercial del pesticida que se va a utilizar. Por ejemplo, Roundup® Ultimate.
2. Identificar en las especificaciones del producto cuál es el ingrediente activo del pesticida utilizado. Por ejemplo: en el caso de Roundup® Ultimate, el ingrediente activo es glifosato.
3. 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.
4. En base a la dosis empleada por hectárea de cada pesticida comercial, se pueden obtener las cantidades de ingrediente

activo utilizadas. 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”.

Tabla 4.1. Pesticidas más comunes en el manejo agronómico del cacao (adaptado de Avadí et al., 2021)

Insecticidas	Herbicidas	Fungicidas	Otros pesticidas
Cypermethrin	Paraquat dichloride	Chlorothalonil	Clorpirifos
Lamnda-cyhalotrin	Glifosato	Compuestos cúpricos	Metsulfuron-methyl
Thiamethoxam	Diquat dibromide	Triazol	

Fuente: Avadí et al., 2021

→ **Cantidad de agua para riego**

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

4.2.4. Hoja 4: Etapa de beneficiado (fermentación en cajas y secado)

→ **Descascarillado**

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 descascarilladora. 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.

→ **Fermentación en cajas**

La fermentación en cajas es una parte importante del sistema productivo de la producción de cacao. Sin embargo, debido a la

dificultad de hacer mediciones in situ de este tipo de emisiones, se optó por considerar el factor de emisión descrito anteriormente extraído de la literatura. Por ello, todas las emisiones ligadas a esta fase en la cosecha analizada, se incluyen por defecto con una adición constante en base a la unidad funcional en la categoría de impacto de Potencial de Calentamiento Global.

→ **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 grano de cacao seco obtenido al concluir la etapa de beneficiado. Asimismo, se pide al usuario que indique la cantidad de residuo que se destina a compostaje.

4.2.5. Hoja 5: Tamizado, almacenamiento y traslado a puerto

Esta hoja variará según los límites del sistema seleccionado. Solo estará la opción de "Traslado a puerto" si así se indicó como límite del análisis en la hoja 1 "Información general".

- Energía de las máquinas de tamizado: el usuario debe introducir la energía total empleada durante el trillado por las maquinarias en kWh.
- Distancia a puerto: se solicita indicar la distancia en kilómetros recorrida en vehículo automotor desde la planta de beneficiado/ tamizado hasta el puerto de comercialización.
- Cacao seco obtenido (cálculo detallado): el usuario debe indicar la cantidad de cacao seco obtenido en kilogramos al culminar el proceso.

4.2.6. Hoja 6: Resultados

→ Resultados generales

Se presenta la huella ambiental total considerada para dos unidades funcionales: 1 kg de cacao seco y 1 quintal (46 kg) de cacao. Las categorías de impacto consideradas son las siguientes: 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 cacao seco para las ocho categorías de impacto antes mencionadas por cada una de las cinco etapas analizadas: vivero, cultivo, beneficiado húmedo y seco (fermentación en cajas y secado), tamizado y puesta en puerto. Para cada una de 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

En base a los datos introducidos por el usuario, se determinan cuáles son los elementos de mayor magnitud en cada una de las categorías de impacto. Se especifica la huella ambiental de cada uno por 1 kg de cacao seco y el porcentaje de contribución de cada uno a la huella ambiental total.

→ Análisis de captura de carbono

Se presenta un gráfico de barras donde se representa tanto la huella como la captura de carbono, empleando valores positivos y negativos respectivamente.

4.2.7. 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 y otras partes del mundo en términos de huella de carbono. Los valores comparativos presentados, tal y como se puede visualizar en la tabla 4.2, corresponden a documentos académicos con sustento científico. De hecho, se compararon los impactos de grano seco y otras disposiciones de grano procesado o sin procesar en el Perú con procesos equivalentes en otras partes del mundo disponibles en bases de datos como ecoinvent®, WFLDB y AGRIBALYSE, o directamente de la bibliografía científica (ver tabla 4.2). Se observa que los impactos del grano peruano son equiparables a los de Ecuador o Brasil, mientras que en líneas generales estos impactos son sustancialmente más bajos que los del resto de países exportadores. Las razones que explican esta diferencia entre Latinoamérica y otras zonas del mundo son múltiples e incluyen presión sobre el uso de agua, las intensidades relativas fitosanitarias, el nivel de fertilización y otros aspectos como el transporte. El cambio de uso de suelo juega un rol dominante en este proceso, ya que en los sistemas de países como Costa de Marfil o Indonesia, dicha transformación representa más del 90 % de los impactos sobre el cambio climático; mientras que en el Perú, debido a que el cacao se ha implantado desde hace más de 20 años en zonas ya previamente, el secuestro neto de carbono en biomasa es tan importante que los impactos sobre el cambio climático son bajos (Avadí et al., 2021). Cabe notar que el proceso de comparación con la literatura debe hacerse con mucha cautela debido a una serie de factores climáticos, edáficos, orográficos, geológicos, entre otros. Asimismo, cabe resaltar que no todos los estudios mostrados en la tabla 4.2 muestran los mismos límites del sistema, lo que hace que los resultados se deban presentar con todavía más cautela.

Tabla 4.2. Comparación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) para la producción de 1 kilogramo de cacao en diferentes presentaciones en la literatura científica (adaptado de Avadí et al., 2021)

Todos los valores están reportados por kilogramo de producto en kilogramos de CO₂ equivalente.

Producto	Brasil	Costa de Marfil	Ecuador	Perú	Indonesia
Grano seco, de sistemas agroforestales (1)	-1.67	28.91	-1.61	-	38.61
Grano seco, de sistemas intensivos (1)	2.46	-	2.18	-	16.55
Grano seco, de sistemas con prácticas mejoradas (1)	-	22.35	-	-	-
Grano seco, de sistemas extensivos (1)	-	-	-	-	-
Grano seco, de sistemas semintensivos (1)	2.60	31.09	2.64	-	31.45
Grano seco, promedio nacional (1)	1.62	29.17	1.84	-	26.93
Grano seco, promedio nacional (2)	-	10.80	-	-	-
Grano commodity, pequeños productores (3)	-	-	4.04	-	-
Grano diferenciado, grandes productores (3)	-	-	4.53	-	-
Grano premium, productores medianos (3)	-	-	1.84	-	-
Grano orgánico, pequeños productores (3)	-	-	2.65	-	-
Grano seco, puesto en puerto (4)	-	-	-	1.10 - 1.26	-
Mazorca cosechada y almacenada, monocultivo (5)	-	-	-	-	0.071
Mazorca cosechada y almacenada, agroforestal cacao-caucho (5)	-	-	-	-	0.077
Mazorca cosechada y almacenada, agroforestal cacao-coco (5)	-	-	-	-	0.037

(1) Nemecek et al. (2020)

(2) Wernet et al. (2016)

(3) Avadí et al. (2021)

(4) Mogrovejo et al. (2022)

(5) Utomo et al. (2016)

Fuente: Avadí et al., 2021

En la hoja 7 de la calculadora se presenta una versión comparativa reducida con respecto a la tabla 4.2 con el fin de garantizar una comparación justa en cuanto a los límites del sistema.

4.2.8. 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.

4.3. Errores frecuentes

Existe una serie de errores que el usuario podría identificar al intentar ver los resultados de la calculadora. Los más frecuentes se detallan a continuación junto a la solución.

4.3.1. Resultados con #NA

- Causa: no se colocó un valor de cacao producido por lo que el sistema intenta dividir entre 0, produciendo un error aritmético.
- Solución: revisar que ninguno de estos tres datos no sea 0 o nulo.

4.3.2. 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.



5.

INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos por el software de cálculo permiten identificar las cargas críticas del proceso productivo del cacao. Además, los resultados permiten obtener los resultados globales del proceso productivo estudiado tanto de huella de carbono como de huella hídrica y efectos en la salud humana, cubriendo las dos principales huellas ambientales que se usan 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 debido 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.



6.

REFERENCIAS

- Avadí, A.; Temple, L.; Blockeel, J.; Salgado, V.; Molina, G.; Andrade, D. (2021). Análisis de la cadena de valor del cacao en Ecuador. Reporte para la Unión Europea, DG-INTPA. Value Chain Analysis for Development Project (VCA4D CTR 2016/375-804), 171 pp. + anexos.
- Boakye-Yiadom, K. A.; Duca, D.; Foppa Pedretti, E.; e Ilari, A. (2021). Environmental Performance of Chocolate Produced in Ghana Using Life Cycle Assessment. *Sustainability*, 13(11), 6155.
- 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. Descargado 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. y 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. Descargado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-017-1333-8> doi: 10 1007/s11367-017-1333-
- Hernandez, G. M. C.; Efraim, P.; Silva, A. R. D. A. y Queiroz, G. D. C. (2022). Carbon footprint of Brazilian cocoa produced in Pará state. *Brazilian Journal of Food Technology*, 25.
- 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. y van Zelm, R. (2017). USEtox 2.0 Documentation (Version 1.1) (USEtoxR Team, Ed.). Lyngby: USEtox International Center hosted at the Technical University of Denmark. Descargado de <http://usetox.org> doi: 10.11581/DTU:00000011

- Gaibor Pozo, L. R. (2017) Efecto del riego por aspersión para la optimización del rendimiento en el cultivo del cacao (*Theobroma cacao*) variedad CCN-51 en época seca, en el cantón Quinsaloma, provincia de Los Ríos. Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

- 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. Descargado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-009-0122-4> doi: 10.1007/s11367-009-0122-4

- Huella de Carbono Perú (2022). Huella de Carbono Perú. Ministerio del Ambiente, Perú. <https://huellacarbonoperu.minam.gob.pe/>

- International Organization for Standardization. (2006a). ISO 14040:2006(es), Gestión ambiental - Análisis de Ciclo de Vida - Principios y marco de referencia. Descargado 2020-10-12, 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 de Ciclo de Vida - Requisitos y directrices. Descargado 2020- 10-12, 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). Descargado 2020-10-12, 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. Descargado 2020-10-12, de <https://www.iso.org/obp/ui/{\#}iso:std:iso:14067:ed-1:v1:es>

- IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- 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), 2169-2189. Descargado 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), 2189-2207. Descargado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-018-1443-y> doi: 10.1007/s11367-018-1443-y
- 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), 379-392. doi: 10.1016/S0167-8809(01)00336-
- MINCETUR (2016). Análisis integral de la logística en el Perú. 5 cadenas de exportación: producto cacao. Disponible en: https://www.mincetur.gob.pe/wp-content/uploads/documentos/comercio_exterior/facilitacion_comercio_exterior/P_Cacao.pdf
- Mogrovejo, P.; Quispe, I; Dueñas, A; Cornejo, C. y Gusukuma, M. (2022). Huella de carbono del cacao en grano en Perú. *Proceedings de la conferencia LCA Foods 2022*, Lima, octubre 2022.
- 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), 95-131. Descargado de <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009699523349> doi: 10.1023/a:1009699523349

- Nemecek, T; Bengoa, X; Rossi, V. et al. (2020). World Food LCA Database: Methodological guidelines for the life cycle inventory of agricultural products. Version 3.5. Agroscope and Quantis

- 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.

- Ortiz, Á.; Riascos, L. y Somarriba, E. (2008). Almacenamiento y tasas de fijación de biomasa y carbono en sistemas agroforestales de cacao (*Theobroma cacao*) y laurel (*Cordia alliodora*). *Agroforestería en las Américas*, número 46 (2008)

- Parra-Paitan, C. & Verburg, P. H. (2022). Accounting for land use changes beyond the farm-level in sustainability assessments: The impact of cocoa production. *Science of the Total Environment*, 825, 154032.

- 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>

- Raschio, G.; Smetana, S.; Contreras, C.; Heinz, V. y Mathys, A. (2018). Spatio-temporal differentiation of Life Cycle Assessment Results for Average Perennial Crop Farm: A case study of Peruvian cocoa progression and deforestation issues. *Journal of Industrial Ecology*, 22(6), pp. 1378-1388

- Rosenbaum, R. K.; Bachmann, T. M.; Gold, L. S.; Huijbregts, M. A.; Jolliet, O.; Juraske, R. y Hauschild, M. Z. (2008). USEtox - The UNEP-SETAC toxicity model: Recommended characterization 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

- Utomo, B.; Prawoto, A. A.; Bonnet, S.; Bangwiwat, A. y Gheewala, S. H. (2016). Environmental performance of cocoa production from monoculture and agroforestry systems in Indonesia. *Journal of Cleaner Production*, 134, 583-591

- Vázquez-Rowe, I.; Kahhat, R. y Sánchez, I. (2019). Perú LCA: launching the Peruvian national life cycle database. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 24(11),2089-2090.
- 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, 2505-2517. doi: 10.1016/j.jclepro.2015.09.07
- 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), 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, 532-542. Descargado de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28575831/> doi: 10.1016/j.scitotenv.2017.05.221
- Ziegler-Rodríguez, 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, 989-1003. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.05.015





Departamento Federal de Economía,
Formación e Investigación DEFI
Secretaría de Estado para Asuntos Económicos SECO

