



Organización de las Naciones  
Unidas para la Alimentación  
y la Agricultura



# MEDICIÓN DE LAS HUELLAS DE CARBONO Y AGUA EN LA CADENA DE VALOR DE LA PIÑA



# **MEDICIÓN DE LAS HUELLAS DE CARBONO Y AGUA EN LA CADENA DE VALOR DE LA PIÑA**

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura  
Roma 2024

**Cita requerida:**

FAO. 2024. *Medición de las huellas de carbono y agua en la cadena de valor de la piña*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cd1688es>

Las denominaciones empleadas en este producto informativo y la forma en que aparecen presentados los datos que contiene no implican, por parte de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), juicio alguno sobre la condición jurídica o nivel de desarrollo de países, territorios, ciudades o zonas, ni sobre sus autoridades, ni respecto de la demarcación de sus fronteras o límites. La mención de empresas o productos de fabricantes en particular, estén o no patentados, no implica que la FAO los apruebe o recomiende de preferencia a otros de naturaleza similar que no se mencionan.

ISBN 978-92-5-139030-6

© FAO, 2024



Algunos derechos reservados. Esta obra se distribuye bajo licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 3.0 Organizaciones intergubernamentales (CC BY-NC-SA 3.0 IGO; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/igo/deed.es>).

De acuerdo con las condiciones de la licencia, se permite copiar, redistribuir y adaptar la obra para fines no comerciales, siempre que se cite correctamente, como se indica a continuación. En ningún uso que se haga de esta obra debe darse a entender que la FAO refrenda una organización, productos o servicios específicos. No está permitido utilizar el logotipo de la FAO. En caso de adaptación, debe concederse a la obra resultante la misma licencia o una licencia equivalente de Creative Commons. Si la obra se traduce, debe añadirse el siguiente descargo de responsabilidad junto a la referencia requerida: “La presente traducción no es obra de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). La FAO no se hace responsable del contenido ni de la exactitud de la traducción. La edición original en [idioma] será el texto autorizado”.

Todo litigio que surja en el marco de la licencia y no pueda resolverse de forma amistosa se resolverá a través de mediación y arbitraje según lo dispuesto en el artículo 8 de la licencia, a no ser que se disponga lo contrario en el presente documento. Las reglas de mediación vigentes serán el reglamento de mediación de la Organización Mundial de la Propiedad Intelectual <http://www.wipo.int/amc/en/mediation/rules> y todo arbitraje se llevará a cabo de manera conforme al reglamento de arbitraje de la Comisión de las Naciones Unidas para el Derecho Mercantil Internacional (CNUDMI).

**Materiales de terceros.** Si se desea reutilizar material contenido en esta obra que sea propiedad de terceros, por ejemplo, cuadros, gráficos o imágenes, corresponde al usuario determinar si se necesita autorización para tal reutilización y obtener la autorización del titular del derecho de autor. El riesgo de que se deriven reclamaciones de la infracción de los derechos de uso de un elemento que sea propiedad de terceros recae exclusivamente sobre el usuario.

Ventas, derechos y licencias. Los productos informativos de la FAO están disponibles en la página web de la Organización (<http://www.fao.org/publications/es>) y pueden adquirirse dirigiéndose a [publications-sales@fao.org](mailto:publications-sales@fao.org). Las solicitudes de uso comercial deben enviarse a través de la siguiente página web: [www.fao.org/contact-us/licence-request](http://www.fao.org/contact-us/licence-request). Las consultas sobre derechos y licencias deben remitirse a: [copyright@fao.org](mailto:copyright@fao.org).

# ÍNDICE

<b>ABREVIACIONES</b>	<b>8</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>2. CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA EMPRESA</b>	<b>15</b>
2.1 Principios para contabilizar y reportar las emisiones	17
2.2 ¿Cuáles son los conceptos que debo entender para gestionar adecuadamente mis emisiones?	17
2.3 Definiendo el alcance del inventario	20
2.3.1 ¿Cuáles deben ser los límites organizacionales y de informe al gestionar las emisiones?	20
2.3.2. Selección y establecimiento de un año base	21
2.4 Fuentes de emisión en el sector piñero	21
2.5 ¿Qué datos se deben recolectar y cómo estimar las emisiones?	21
2.6 Emisiones más importantes en la industria de la piña	23
2.6.1 Consumo de electricidad	24
2.6.2 Uso de lubricantes	26
2.6.3 Uso de extintores	29
2.6.4 Consumo de gases (soldadura, oxicorte, otros)	32
2.6.5 Fugas de gas refrigerante	33
2.6.6 Consumo de combustibles fósiles	36
2.6.7 Uso de fertilizantes nitrogenados y enmiendas orgánicas	39
2.6.8 CO <sub>2</sub> por urea	46
2.6.9 Correctores de suelo (encalado)	48
2.6.10 Manejo de rastrojo	51
2.6.11 Disposición de residuos sólidos	59
2.6.12 Tratamiento de aguas residuales	63
2.6.13 Variación de las reservas de carbono en el suelo por labranza	73
2.6.14 Variación de carbono por cambios de uso de la tierra	82
2.7 Consolidación del inventario e informe de resultados	88
2.7.1 Relacionando las emisiones con la producción de piña	91
2.7.2 ¿Qué sigue después de desarrollar el inventario de mi organización?	91
2.7.3 Verificación del inventario de emisiones y declaración de carbono neutralidad	92
<b>3. HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO DE AGUA EN LA EMPRESA</b>	<b>95</b>
3.1. Alcance de la guía	96
3.2. Conceptos generales para entender la huella de agua	98
3.3. Paso 1: Definir el objetivo y el alcance del estudio	101
3.3.1. Objetivo	101
3.3.2. Alcance	102
3.4. Paso 2: Desarrollar el inventario de huella de agua	103

3.4.1. Recolección de datos	103
<b>3.5. Paso 3: Evaluar los impactos de la huella de agua</b>	<b>107</b>
3.5.1. Impactos por uso consuntivo o consumo de agua	108
3.5.2. Impactos por uso degradativo del agua	111
3.5.3. Interpretación de la huella de agua	121
<b>3.6. Informe para el reporte de la huella de agua</b>	<b>123</b>
<b>3.7. Revisión crítica del estudio de huella de agua</b>	<b>124</b>
<b>3.8. Observaciones finales en relación con la huella de agua</b>	<b>124</b>
<b>4. REDUCCIÓN DE EMISIONES E IMPACTOS DE LA HUELLA DE AGUA</b>	<b>125</b>
4.1. Reducción de emisiones de carbono	126
4.2. Remociones de carbono	128
4.3 Huella de agua	129
<b>5. EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE DEL INVENTARIO DE EMISIONES</b>	<b>133</b>
5.1 Comprensión de las fuentes de incertidumbre	135
5.2 Estimación de incertidumbres individuales	135
5.3 Combinación de incertidumbres	136
5.4 Expresión del resultado de incertidumbre total del inventario	137
<b>REFERENCIAS</b>	<b>141</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>145</b>
Anexo 2. Potenciales de calentamiento global	171
Anexo 3. Fichas resumen de impactos en huella de agua	172
Anexo 4. Herramienta CROPWAT	177
Anexo 5. Factores de caracterización por impacto para la huella de agua	183

## LISTA DE FIGURAS

1. Proceso de medición y declaración de inventario de emisiones	16
2. Etapas de la cadena de valor del cultivo de piña consideradas en la guía	16
3. Principios de contabilidad y reporte de emisiones de GEI	17
4. Gases de efecto invernadero	18
5. Ecuación general para el cálculo de emisiones de GEI	18
6. Categorización de las emisiones en una empresa (INTE-ISO 14064-1)	20
7. Ejemplos de fuentes de emisión en la cadena de valor de piña	22
8. Ejemplo de contabilidad de GEI de producción, venta y consumo de energía	24
9. Ejemplo de consolidación de resultados del inventario de emisiones	89
10. Ejemplo de consolidación de emisiones/remociones por usos de la tierra	90
11. Contenido mínimo del informe de resultados	90
12. Fórmula para demostrar la carbono neutralidad	93
13. Etapas del proceso productivo de la piña de exportación y alcance de la guía	96
14. Usos directos e indirectos del agua en la producción de la piña de exportación	97
15. Etapas del estudio de la huella de agua	98
16. Tipos de usos de agua	99
17. Categorías de Impacto potenciales para reportar la huella de agua	100
18. Cuantificación de los indicadores de categorías de impactos	100
19. Componentes del objetivo del estudio de la huella de agua	101
20. Conformación del alcance del estudio de huella de agua	102
21. Datos requeridos en el inventario por tipo de categoría de impacto	103
22. Diagrama de identificación del balance de agua y uso de productos	104
23. Diagrama de identificación del balance de agua y uso de productos en la etapa de empaque	106
24. Relacionamiento de datos del inventario y la evaluación de impactos	108
25. Estructura del informe	123
26. Orientación sobre el contenido de un plan de gestión de emisiones	126
27. Ejemplos de acciones de reducción de las emisiones	127
28. Medidas de reducción de la huella de agua por escasez	129
29. Medidas de reducción de la huella de agua por toxicidad humana, ecotoxicidad y eutrofización	130
30. Pasos generales para la evaluación de incertidumbre	134
31. Tipos de evaluación de incertidumbre	136
A4.1. Visualización del programa CROPWAT en su sección de clima y evapotranspiración de referencia	177
A4.2. Visualización del programa CROPWAT en su sección de precipitación (Prec.)	178
A4.3. Visualización del programa CROPWAT en su sección de cultivo	179
A4.4. Visualización del programa CROPWAT en su sección de suelo	180
A4.5. Visualización del programa CROPWAT en su sección de requerimientos de agua del cultivo (RAC) y resultados de evapotranspiración.	182
A5.1. Visualización inicial del Google Earth con la capa del AWARE	183
A5.2. Información del FC que corresponderá a la ubicación geográfica seleccionada	184

## TABLA DE CUADROS

1. Principales fuentes de emisión en compañías piñeras	23
2. Agentes extinguidores de uso común	30
3. Diferentes tipos de refrigerantes	34
4. Contenido promedio de nitrógeno en diferentes fertilizantes sintéticos con base en estudios de la Asociación Internacional de Fertilizantes	40
5. Consideraciones de cálculo según el método de manejo de rastrojo de piña	51
6. Ejemplo recopilación de datos manejo de rastrojo	56
7. Consideraciones de factores de emisión de CH <sub>4</sub> por sistema de tratamiento	66
8. Consideraciones de factores de emisión de CH <sub>4</sub> por tipo de vertido	66
9. Consideraciones de factores de emisión de N <sub>2</sub> O por sistema de tratamiento	68
10. Consideraciones de factores de emisión de N <sub>2</sub> O por tipo de vertido	68
11. Orientación sobre el tipo de clima	75
12. Orientación sobre el tipo de suelo	76
13. Información de referencia para recopilar en el inventario de la huella de agua directa en el sistema campo	104
14. Información de referencia para recopilar en el inventario de la huella de agua directa en el sistema de planta de empaque	106
15. Resumen de los indicadores de impacto y su interpretación	122
A1.1. Factores de emisión de referencia.	146
A1.2. Estimaciones por defecto para carga, vida útil y factores de emisión para sistemas de refrigeración y aire acondicionado.	148
A1.3. Factores de emisión por defecto para estimar emisiones directas de N <sub>2</sub> O de suelos gestionados	149
A1.4. Factores de emisión de volatilización y lixiviación por defecto para emisiones indirectas de N <sub>2</sub> O del suelo	150
A1.5. Factores de emisión por defecto para las emisiones de CH <sub>4</sub> and N <sub>2</sub> O procedentes del tratamiento biológico de los desechos	151
A1.6. Factores de emisión (g kg <sup>-1</sup> e materia seca quemada) para distintos tipos de quemado	151
A1.7. Fracciones de remoción de materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales (TOW <sub>REM</sub> ) según el tipo de tratamiento	152
A1.8. Valores MCF por defecto y FEs (CH <sub>4</sub> ) resultantes para aguas residuales industriales	152
A1.9. Valores de FE (N <sub>2</sub> O) por defecto para aguas residuales domésticas e industriales	153
A1.10. Fracciones de remoción de nitrógeno en el tratamiento de aguas residuales (N <sub>REM</sub> ) según el tipo de tratamiento	154
A1.11. Referencia por defecto de condición de reservas de carbono orgánico del suelo (SOC <sub>REF</sub> ) para suelos minerales (toneladas de carbono por hectárea en 0-30 cm de profundidad)	155
A1.12. Factores relativos de cambio en las reservas de carbono (F <sub>LU</sub> , F <sub>MG</sub> y F <sub>I</sub> ) (durante 20 años) para actividades de gestión en tierras de cultivo	156
A1.13. Incremento medio anual de la biomasa sobre el suelo en la regeneración natural, por categorías generales (toneladas de materia seca/ha/año)	158

<b>A1.14.</b> Incremento medio anual de la biomasa sobre el suelo en las plantaciones, por categorías generales (toneladas de materia seca/ha/año)	159
<b>A1.15.</b> Relación media biomasa bajo el suelo/sobre el suelo (relación raíz-vástago, R) en la regeneración natural, por categorías generales	160
<b>A1.16.</b> Densidades de madera básica (D) de troncos (toneladas de materia seca/m <sup>3</sup> de volumen recién talado) para especies arbóreas tropicales	161
<b>A1.17.</b> Valores por defecto de los factores de expansión de la biomasa (FEB)	167
<b>A1.18.</b> Reservas de biomasa sobre el suelo en bosques regenerados naturalmente, por categorías generales (toneladas de materia seca/ha)	168
<b>A1.19.</b> Reservas de biomasa sobre el suelo en bosques de plantación, por categorías generales	169
<b>A1.20.</b> Volumen de madera en pie y contenido de la biomasa sobre el suelo (materia seca) en bosques	170
<b>A2.1.</b> Potenciales de calentamiento global	171
<b>A3.1.</b> Ficha resumen de la huella de agua por escasez	172
<b>A3.2</b> Ficha resumen de la huella de agua por eutrofización en agua dulce	173
<b>A3.3.</b> Ficha resumen de la huella de agua por eutrofización en agua salada	174
<b>A3.4.</b> Ficha resumen de la huella de agua por ecotoxicidad	175
<b>A3.5.</b> Ficha resumen de la huella de agua por toxicidad humana	176
<b>A4.1.</b> Datos teóricos del cultivo de piña para su uso en CROPWAT	178
<b>A4.2.</b> Parámetros relacionados al suelo a ingresar en CROPWAT	180
<b>A5.1.</b> Factores de caracterización para estimar la huella de agua por eutrofización en agua dulce	184
<b>A5.2.</b> Factores de Caracterización para estimar la huella de agua por eutrofización en agua salada	185
<b>A5.3.</b> Factores de caracterización de punto medio para el impacto de ecotoxicidad en agua dulce para los ingredientes activos comúnmente encontrados en la producción de piña	186
<b>A5.4.</b> Factores de caracterización de punto medio para el impacto de toxicidad humana para los ingredientes activos comúnmente encontrados en la producción de piña	191

# ABREVIACIONES

AWARE	Metodología del agua disponible restante
ARI	aguas residuales industriales
ARO	aguas residuales ordinarias
DBO	demanda bioquímica de oxígeno
DQO	demanda química de oxígeno
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
FE	factor de emisión
GEI	gases de efecto invernadero
ha	hectárea
HFC	hidrofluorocarbonos
IMN	Instituto Meteorológico Nacional, Costa Rica
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático
ISO	Organización Internacional de Normalización
kg	kilogramo
L	litro
PCG	potencial de calentamiento global
PFC	perfluorocarbonos
RSM	residuos sólidos municipales

# AGRADECIMIENTOS

Esta guía ha sido elaborada por Gestarse S.A. bajo la dirección de la División de Mercados y Comercio de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y es un producto del proyecto “Creación de cadenas de valor globales responsables para la producción y el comercio sostenibles de frutas tropicales” (Proyecto de Frutas Responsables). El proyecto apoya a empresas, organizaciones de productores y agricultores, asociaciones comerciales, procesadores, empacadores, exportadores e importadores del sector de la piña a ser más sostenibles y resilientes ante las crisis. La guía ha sido elaborada por Verónica Vargas Madrigal, Miguel Ángel Vallejo Solís y Ana Lorena Vallejo Chaverri. Los diagramas y la ilustración fueron diseñados por Stephanie Rojas Ávila y Edwin Rodríguez.

El documento ha contado con la orientación y el apoyo de Pascal Liu, Economista Principal y Jefe de Equipo, Equipo de Cadenas de Valor Responsables, División de Mercados y Comercio. Michael Riggs, Asesor Técnico, y María Hernández Lagana, Oficial de Proyectos (Resiliencia), Proyecto de Frutas Responsables, División de Mercados y Comercio, guiaron la elaboración del documento. Valentina Pérez-Mardones, del Proyecto de Frutas Responsables, División de Mercados y Comercio, se encargó de la divulgación y la coordinación con los productores participantes. El apoyo editorial fue brindado por Aymeline Main De Boissiere y Alejandro Schoor Gallardo.

La guía no podría haberse desarrollado sin el apoyo de las empresas piñeras y asociaciones de productores que participaron activamente en la extensa validación de la metodología. Entre ellas se encuentran las asociaciones de la Cámara Nacional de Productores y Exportadores de Piña (CANAPEP) y la Cámara de Piñeros Unidos, Jorge Sánchez, NICOVERDE, Kimberly Ramírez, NICOVERDE, Joselyne Rojas, NICOVERDE, Estarlin Amador, Upala Agrícola, David Villegas, Upala Agrícola, César Barrantes, Cooperativa de Comercio y Servicios Múltiples de Productores de Piña de San Carlos, COOPEPIÑA R. L., Alfredo Zamora, Cooperativa de Comercio y Servicios Múltiples de Productores de Piña de San Carlos, COOPEPIÑA R.L., Laura Jiménez, Costa Rica Fruit Company, Paola Trejos, Costa Rica Fruit Company, Jessica Vega, Grupo Agroindustrial Caribe, Ronney Yen Leon, Grupo Acón, y Luis Miguel Quirós, Grupo Acón.



# 1. INTRODUCCIÓN

La cadena de valor de la piña es una importante fuente de medios de vida en los países en desarrollo y la fruta representa una parte valiosa de la seguridad alimentaria y nutricional en los países productores e importadores. Al mismo tiempo, el sector agrícola, incluidas las cadenas de valor de la piña, se enfrenta a un creciente escrutinio sobre su sostenibilidad. La inquietud sobre las emisiones de gases de efecto invernadero, el uso del agua y su contaminación es cada vez mayor y podría repercutir en las preferencias de los consumidores, así como en el acceso a los mercados y a la financiación.

El sector agrícola, y el de las frutas tropicales en particular, corren el riesgo de sufrir los efectos negativos del cambio climático, ocasionados por el aumento de las temperaturas, los fenómenos meteorológicos extremos, incluidos los ciclones tropicales, y los problemas asociados a ellos, como el estrés hídrico y el aumento de plagas y enfermedades. Los desafíos combinados del cambio climático y la gestión del agua plantean riesgos significativos para la sostenibilidad a largo plazo de la producción y el comercio de frutas tropicales, incluidas las piñas.



La atmósfera está constituida por diferentes tipos de gases, entre los cuales existen unos con alta capacidad de absorber radiación solar, conocidos como gases de efecto invernadero (GEI). Estos gases son importantes para el calentamiento de la atmósfera y permiten que haya una temperatura adecuada en la Tierra para poder albergar vida. Este proceso es conocido como el efecto invernadero natural. Sin embargo, las actividades humanas han ocasionado un aumento en las emisiones de GEI, lo que ha generado una mayor cantidad de GEI en la atmósfera, aumentando la captura de radiación e incrementando la temperatura media de la Tierra. Este fenómeno ha provocado un incremento del efecto invernadero, y su principal consecuencia es el cambio en la temperatura media global, conocido como cambio climático.

Mediante la cuantificación y reducción de las emisiones de GEI, las empresas más eficientes, reducir costos, mejorar la resiliencia de sus operaciones y mitigar el cambio climático.

Por otra parte, el agua es un recurso esencial para la vida de los seres humanos y los ecosistemas, y que puede ser remplazada por ninguna otra sustancia. Su disponibilidad a nivel mundial varía dependiendo de la región. En algunas regiones, este recurso es escaso, lo que repercute negativamente en la salud humana y la biodiversidad. Incluso cuando no hay problemas de escasez, la sobreexplotación y la contaminación de las fuentes de agua debido a usos industriales y agrícolas pueden generar impactos negativos en la salud humana y la biodiversidad.

Los desafíos relacionados con el agua se ven agravados por el cambio climático, que se espera que aumente la presión en los recursos hídricos. Cuantificar el uso y la contaminación del agua y evaluar el impacto ambiental bajo un enfoque de ciclo de vida son pasos fundamentales para reducir los impactos negativos sobre el agua y asegurar su cantidad, calidad y continuidad para una empresa, las personas y el medio ambiente que comparten el recurso.

Con el crecimiento de la población, la demanda de agua está en aumento, y la disponibilidad del recurso es limitada. Todo el panorama anterior se agrava al enfrentarse a las consecuencias del cambio climático, ya que se espera que este aumente la presión sobre las fuentes de agua. Al cuantificar el uso y contaminación del agua, y evaluar el efecto ambiental bajo un enfoque de ciclo de vida, son pasos fundamentales para reducir los efectos sobre el recurso y asegurar su cantidad, calidad y continuidad para una empresa.

En reconocimiento de estos desafíos, el [Proyecto de Frutas Responsables](#) ha desarrollado esta guía técnica sobre la medición de las huellas de carbono y de agua para la industria de la piña. El proyecto se basa en más de una década de experiencia de la FAO trabajando con el sector privado en frutas tropicales,<sup>1</sup> y trabaja con empresas, organizaciones y cooperativas de agricultores, importadores y exportadores (en adelante denominados colectivamente “empresas”) y otros actores de la cadena de valor de la piña.

Esta guía es parte de una serie de productos desarrollados por el proyecto con base en la demanda. El tema de la medición de las huellas de carbono y de agua fue seleccionado en colaboración con los participantes del proyecto como área prioritaria en el contexto de la creación de empresas resilientes y sostenibles; y está estrechamente vinculado con la guía técnica del proyecto [Estrategia de adaptación al cambio climático para la industria de las frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de piña](#) (FAO, 2024).

---

<sup>1</sup> Esto incluye facilitar el Foro Mundial Bananero y su trabajo para reducir las huellas de carbono y agua en las plantaciones bananeras (ver <https://www.fao.org/world-banana-forum/projects/reduciendo-la-huella-de-carbono-y-la-huella-de-agua-en-la-produccion-bananera/es/>), y trabajar con más de 30 empresas agroalimentarias y asociaciones industriales líderes para aplicar las recomendaciones de diligencia debida basada en riesgos de la Guía OCDE-FAO para cadenas de suministro agrícolas responsables.

Esta guía técnica tiene dos objetivos principales:

1. Familiarizar a las empresas de la cadena de valor de la piña con una metodología para estimar la huella de carbono de sus operaciones.
2. Familiarizar a las empresas de la cadena de valor de la piña con la metodología para estimar la huella de agua por uso directo del agua.

La cuantificación de las emisiones de GEI es producto de años de investigación y fue impulsada en 1997 con la aprobación del Protocolo de Kioto, durante la Tercera Conferencia de las Partes sobre Cambio Climático. Existen diferentes referentes metodológicos para la cuantificación de emisiones, entre ellos las Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), las directrices publicadas por el Greenhouse Gas Protocol (GHG Protocol), estándares voluntarios como el PAS 2060, y el conjunto de estándares voluntarios de la Organización Internacional de Normalización (ISO), ISO 14064, que cubren el desarrollo de inventarios nacionales, organizacionales o de productos. En esta guía técnica, la estimación de la huella de carbono se basa en la norma ISO 14064 “Gases de efecto invernadero - Parte 1: especificación con orientación, a nivel de organización, para la cuantificación y notificación de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero”.<sup>2</sup>

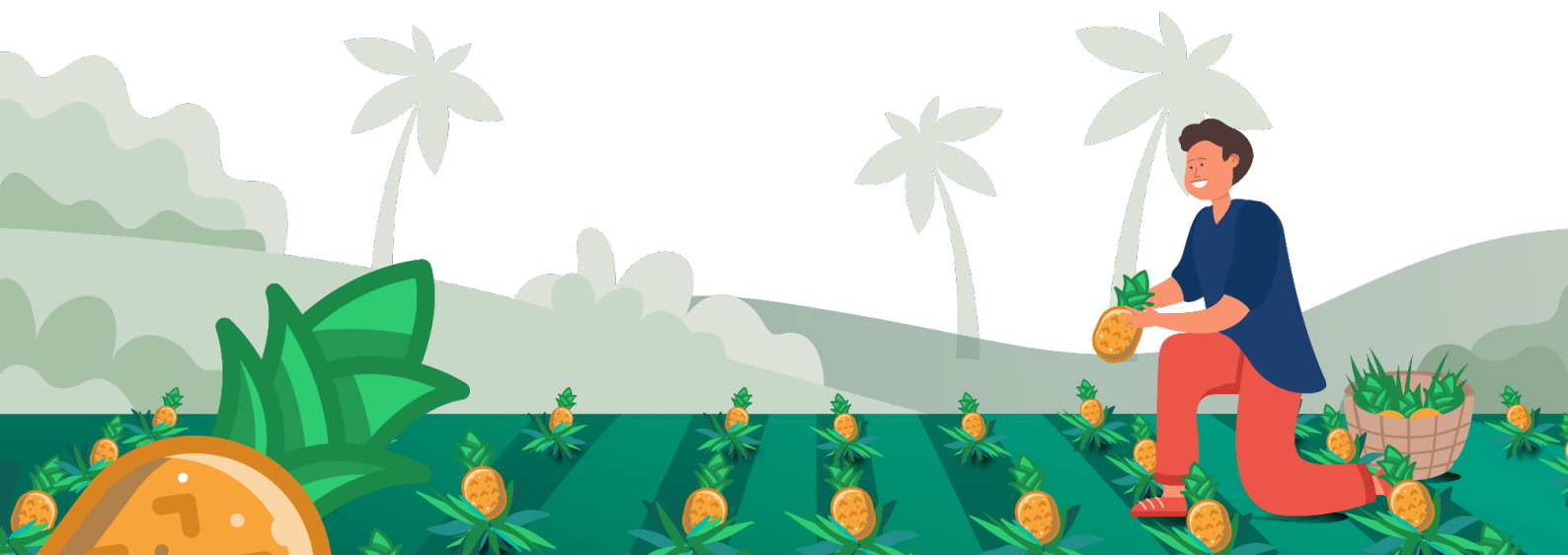
<sup>2</sup> Consulte [www.iso.org/es/contents/data/standard/06/64/66453.html](https://www.iso.org/es/contents/data/standard/06/64/66453.html)

Además, se apoya en los lineamientos del GHG Protocol y las Directrices del IPCC como metodologías de cuantificación de emisiones.

El concepto de huella de agua ha ido evolucionando con el tiempo. En esta guía técnica, la estimación de la huella de agua se basa en la norma ISO 14046 “Gestión ambiental - Huella de agua - Principios, requisitos y directrices”.<sup>3</sup> Esta metodología es más completa a la hora de evaluar la gestión de los recursos hídricos en una empresa o producto y, por tanto, proporciona un indicador más significativo en comparación con otros métodos. Permite a la empresa analizar y comprender su impacto, identificar riesgos y oportunidades relacionados con la gestión del agua y monitorear y comunicar el desempeño a las partes interesadas de la empresa. Además, el mercado mundial avanza hacia el concepto de análisis del ciclo de vida, en el que se basa la norma ISO 14046.

Dado el alto grado de complejidad técnica que presentan ambas huellas, esta guía está orientada a personal técnico, ingenieros ambientales o profesionales de áreas afines, que sean responsables de la cuantificación de la huella de carbono o huella de agua en las empresas piñeras. Idealmente, los lectores de esta guía deberían tener conocimientos sobre inventarios de emisiones, neutralidad de carbono y gestión del agua

<sup>3</sup> Consulte <https://www.iso.org/standard/43263.html>





# 2. CÁLCULO DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA EMPRESA



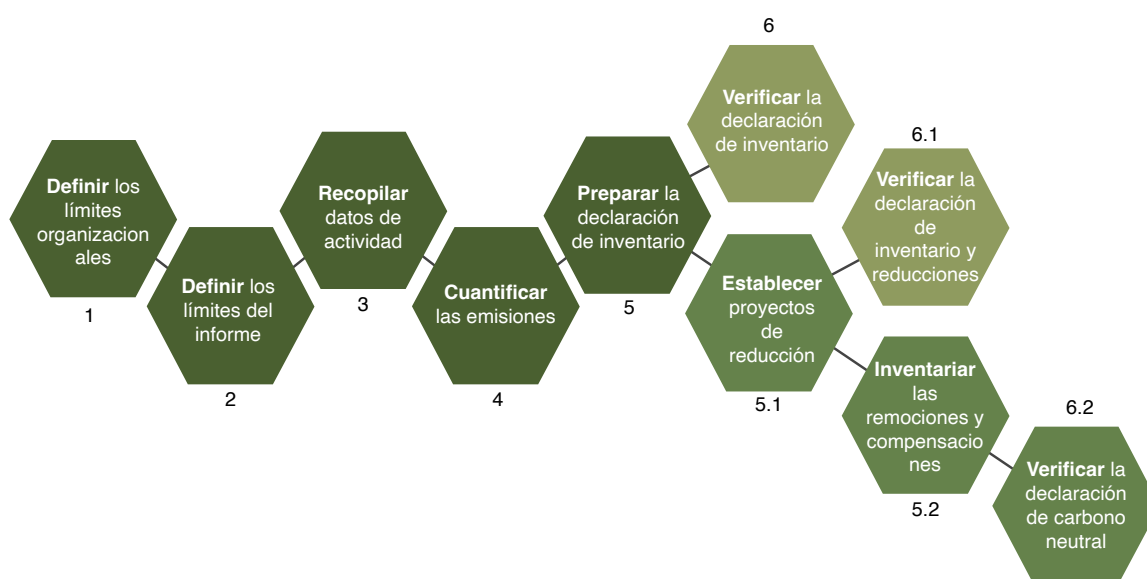
Este capítulo presenta una descripción detallada del procedimiento que las empresas del sector piñero, específicamente productores y empacadores, deben seguir para cuantificar y reportar adecuadamente sus emisiones de GEI. Se abordarán los aspectos fundamentales a tener en cuenta, así como el método de cálculo recomendado para llevar a cabo la cuantificación de su huella de carbono.

En la Figura 1 se describen los pasos recomendados a seguir para la cuantificación y

declaración de la huella de carbono de empresas del sector piñero.

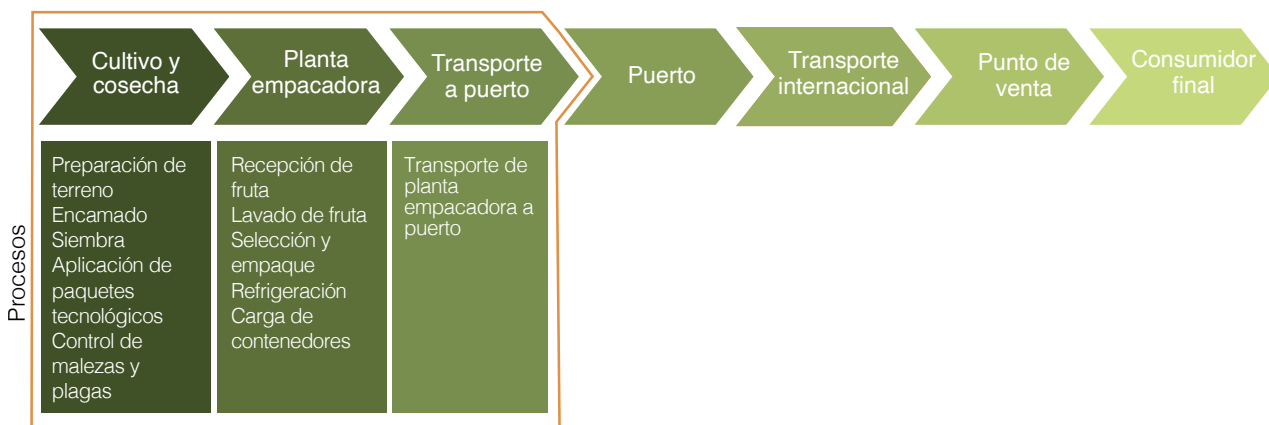
Esta guía está enfocada en la gestión de las emisiones de GEI de una empresa, cuyo alcance depende de los límites establecidos, según los pasos 1 y 2 en la Figura 1. Considera aquellas emisiones que se puedan generar desde el área de cultivo (siembra y cosecha), proceso de empaque (planta empacadora), y el transporte terrestre de la fruta a los puertos para su exportación (Figura 2).

**Figura 1.** Proceso de medición y declaración de inventario de emisiones



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

**Figura 2.** Etapas de la cadena de valor del cultivo de piña consideradas en la guía



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

## 2.1 Principios para contabilizar y reportar las emisiones

Existen cinco principios fundamentales para asegurar que la información y cálculos relacionados con los GEI sean verdaderos y

razonables. Los principios se definen en la Figura 3 según lo establece la norma internacional ISO 14064-1 (INTECO, 2019).

**Figura 3.** Principios de contabilidad y reporte de emisiones de GEI



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

## 2.2 ¿Cuáles son los conceptos que debo entender para gestionar adecuadamente mis emisiones?

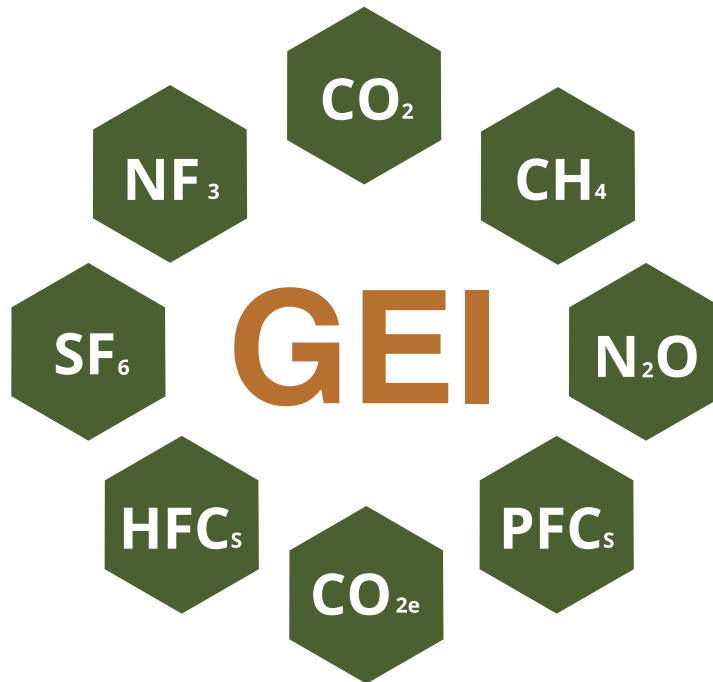
- **Gases de efecto invernadero (GEI):** son componentes gaseosos presentes en la atmósfera, tanto de origen natural como resultado de actividades humanas, que tienen la capacidad de absorber y emitir radiación (INTECO, 2019). Estos gases se consideran responsables del fenómeno del cambio climático. Al desarrollar un

inventario de emisiones, se toman en cuenta los siguientes GEI: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), perfluorocarbonos (PFCs), hidrofluorocarbonos (HFCs), hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>) y trifluoruro de nitrógeno (NF<sub>3</sub>). Ver Figura 4.

- **Fuente de emisión de GEI:** toda actividad o proceso que al desarrollarse ocasione emisiones de GEI hacia la atmósfera (INTECO, 2019).
- **Emisión de GEI:** cantidad total de uno o varios GEI que ha sido liberada a la atmósfera en un momento específico (INTECO, 2019).

Para determinar las emisiones de GEI generadas por las fuentes identificadas, en relación a las actividades o procesos de la empresa (por ejemplo, consumo de energía eléctrica, consumo de combustibles, manejo de rastrojo, aplicación de fertilizantes, etc.), se utilizará una fórmula base que se detalla en la Figura 5.

**Figura 4.** Gases de efecto invernadero



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

**Figura 5.** Ecuación general para el cálculo de emisiones de GEI



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

- **Magnitud de la actividad (dato de actividad):** medida cuantitativa específica de la actividad o fuente que genera las emisiones, que permitirá contabilizar el impacto en emisiones (INTECO, 2019).
- **Carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e)<sup>4</sup>:** unidad que permite comparar la fuerza de radiación de un GEI determinado con el dióxido de carbono o CO<sub>2</sub>. El dióxido de carbono equivalente se calcula utilizando la masa de un GEI determinado, multiplicada por su potencial de calentamiento global (vea a continuación) (INTECO, 2019).
- **Factor de emisión (FE)<sup>5</sup>:** factor que relaciona la magnitud de la actividad con la emisión de un determinado GEI (INTECO, 2019). Existen factores de emisión diferenciados para determinar las emisiones por tipo de GEI y en algunos casos se cuenta con factores de emisión en CO<sub>2</sub>e.
- **Potencial de calentamiento global (PCG)<sup>6</sup>:** valor que describe el impacto de efecto invernadero de un determinado GEI, con respecto al CO<sub>2</sub>, lo cual permite reportar todas las emisiones en términos de CO<sub>2</sub> equivalente (CO<sub>2</sub>e) (INTECO, 2019).
- **Emisión directa de GEI:** emisión de GEI proveniente de fuentes de GEI que pertenecen o son controladas por la empresa (INTECO, 2019).
- **Emisión indirecta de GEI:** emisión de GEI resultante de las operaciones y actividades de una empresa, pero proveniente de fuentes que no pertenecen ni son controladas por la empresa (INTECO, 2019).
- **Sumidero de GEI:** toda actividad o proceso físico y/o químico que al desarrollarse ocasione una remoción de GEI de la atmósfera (INTECO, 2019).
- **Remoción de GEI:** masa total de alguno de los GEI que ha sido removida de la atmósfera en un momento determinado. (INTECO, 2019).
- **Inventario de emisiones de GEI:** un documento que agrupa las fuentes, sumideros, emisiones y remociones de GEI de una empresa (INTECO, 2019). Esta es una herramienta base para que la empresa comprenda cuáles son sus emisiones y los riesgos asociados a éstas, identifique oportunidades de reducción de emisiones, establezca objetivos y metas de reducción, y comunique su desempeño a las partes interesadas de la misma (Vallejo *et al.*, 2017).
- **Iniciativa de reducción:** una acción que reduce la cantidad de GEI emitido, o bien, aumenta su remoción o captura (INTECO, 2019).
- **Medidas de adaptación:** acción que permite a la empresa adaptarse a las consecuencias previstas del cambio climático (DCC, 2014).
- **Compensación:** compra voluntaria de mecanismos de compensación, con el fin de contrarrestar las emisiones que no han sido reducidas internamente (INTECO, 2021).

<sup>4</sup> Para poder realizar acumulación o sumatoria de emisiones y permitir comparaciones, se debe reportar todas las emisiones en la misma unidad de medida; dióxido de carbono equivalente.

<sup>5</sup> Existen diferentes fuentes de información reconocidas de factores de emisión, entre las que se encuentran Directrices del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (EPA), Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA) del Reino Unido de Gran Bretaña e Irlanda del Norte, Publicaciones nacionales tales como los factores de emisión de Costa Rica publicados por el Instituto Meteorológico Nacional, entre otros. A efectos de esta guía, se utilizan como referencia factores de emisión del Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica y del IPCC. Ver Anexo 1. Factores de emisión.

<sup>6</sup> Existen Potenciales de Calentamiento Global publicados por diferentes Informes del IPCC. Se recomienda utilizar los más recientes, o cuando aplique, los que el programa de GEI solicite. Cada GEI tiene su potencial de calentamiento global que permite representar las emisiones en una unidad comparativa (dióxido de carbono equivalente). Ver Anexo 2. Potenciales de Calentamiento Global.

## 2.3 Definiendo el alcance del inventario

La empresa debe tener claro el fin para el que cuantificará sus emisiones, el cual debe responder a los objetivos del usuario previsto. Por ejemplo, la asociación comercializadora, el cliente, un programa país de carbono neutralidad o algún organismo de verificación. Cuando se ha identificado el propósito y la razón del estudio, se podrán definir los límites de este, incluyendo los límites organizacionales, límites de informe, los tipos de GEI, y el período de tiempo que se contemplará. Los límites definen lo que abarcará el inventario (Vallejo *et al.*, 2017).

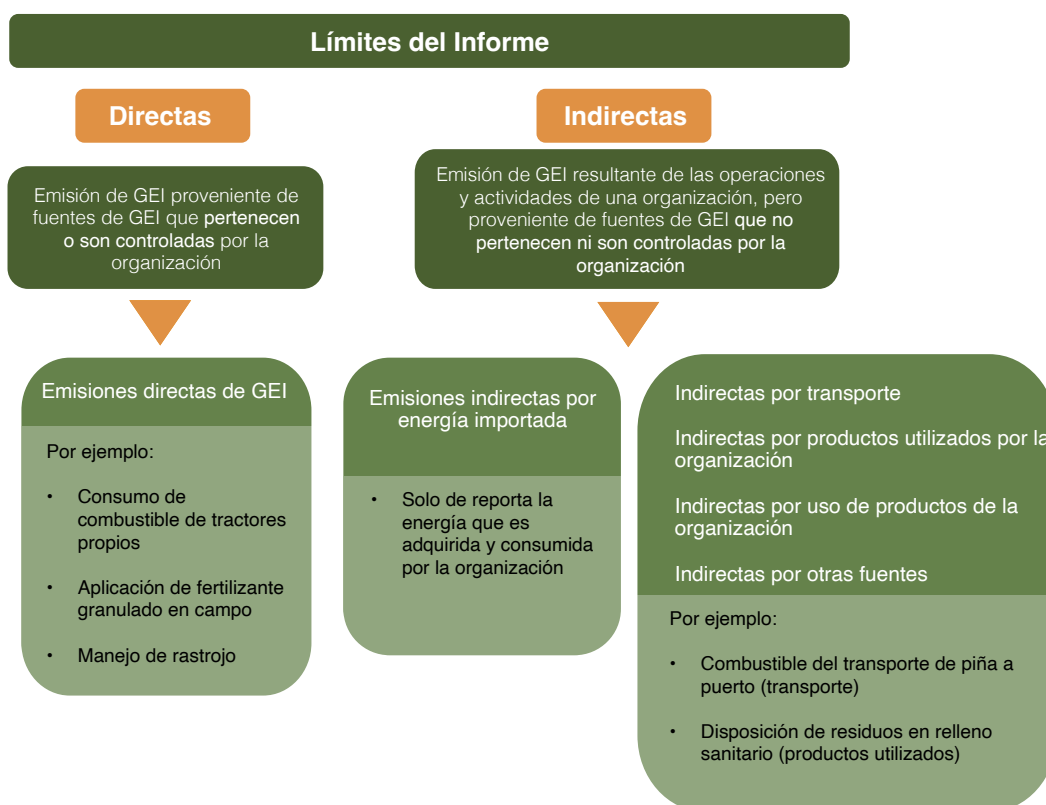
### 2.3.1 ¿Cuáles deben ser los límites organizacionales y de informe al gestionar las emisiones?

La empresa debe definir los límites organizacionales y límites de Informe que se

prevén en la elaboración y declaración del inventario. Los **límites organizacionales** se refieren a las áreas de la empresa que serán consideradas: instalaciones físicas, áreas de cultivo, de proceso, empaque y embarque, así como al enfoque de consolidación seleccionado para la cuantificación del inventario. Entre las opciones disponibles, se recomienda utilizar el enfoque de control, que consiste en seleccionar aquellas actividades, procesos e instalaciones sobre las que la empresa tiene el control y poder de decisión operativo (Vallejo *et al.*, 2017).

Los **límites de informe** se refieren a la identificación de emisiones y remociones directas e indirectas asociadas a las operaciones de la empresa. Las emisiones de GEI se clasifican por categorías, según se definen en la **Figura 6**.

**Figura 6.** Categorización de las emisiones en una empresa (INTE-ISO 14064-1)



**Fuente:** Elaboración de los autores.



### 2.3.2. Selección y establecimiento de un año base

La empresa debe establecer un año base para las emisiones y remociones de GEI con propósitos de comparación y que le puede ayudar a alcanzar sus metas en materia de GEI, cumplir con requisitos de programas de GEI o con otros usos previstos del inventario de GEI.

El año base se puede determinar tomando como referencia un período específico (por ejemplo, un año en el que las condiciones estacionales son una característica de la actividad de la empresa) o promediarse entre varios períodos (por ejemplo, varios años). En caso de no disponer de suficiente información sobre las emisiones o remociones históricas de GEI, la empresa puede usar su primer periodo de inventario de GEI como año base (INTECO, 2019).

Es importante que el año base tenga datos

## Importante

Si bien la guía da una orientación metodológica para fuentes de emisión que pueden estar categorizadas como emisiones directas o indirectas, no considera la identificación de todas las fuentes indirectas de las operaciones de la empresa, ni la evaluación de dichas fuentes para determinar aquellas que sean significativas. Se recomienda que cada empresa realice su análisis, identificación y evaluación de fuentes indirectas para determinar las significativas, utilizando como orientación la Norma INTE-ISO 14064-1.

El anexo B de la norma de referencia INTE-ISO 14064-1, brinda una orientación de como clasificar las fuentes de emisión por categorías y subcategorías

representativos de los límites del informe actual de la empresa, y que los datos estén disponibles, completos, respaldados y verificables. El periodo de tiempo seleccionado debe abarcar doce meses en un año natural.

## 2.4 Fuentes de emisión en el sector piñero

Todas las actividades que generen emisiones de GEI a la atmósfera, representan una fuente de emisión. Las fuentes de emisión que se encuentren dentro de los límites organizacionales y de informe propuestos, deben ser identificadas. Asimismo, se deben cuantificar en el inventario de emisiones por categoría, es decir, cuantificar las emisiones directas, indirectas por energía y

las indirectas significativas que haya determinado la empresa. En las siguientes secciones se resumen las posibles fuentes de emisiones más importantes que se podrán encontrar en los procesos de siembra, cosecha, empaque y transporte de piña a puerto de exportación. En la Figura 7 se muestran algunos ejemplos (Vallejo *et al.*, 2017).

## 2.5 ¿Qué datos se deben recolectar y cómo estimar las emisiones?

Es fundamental que la empresa recopile datos precisos sobre cada actividad generadora de emisiones a partir de fuentes confiables. Esto garantiza la identificación clara y documentalmente respaldada del origen de la

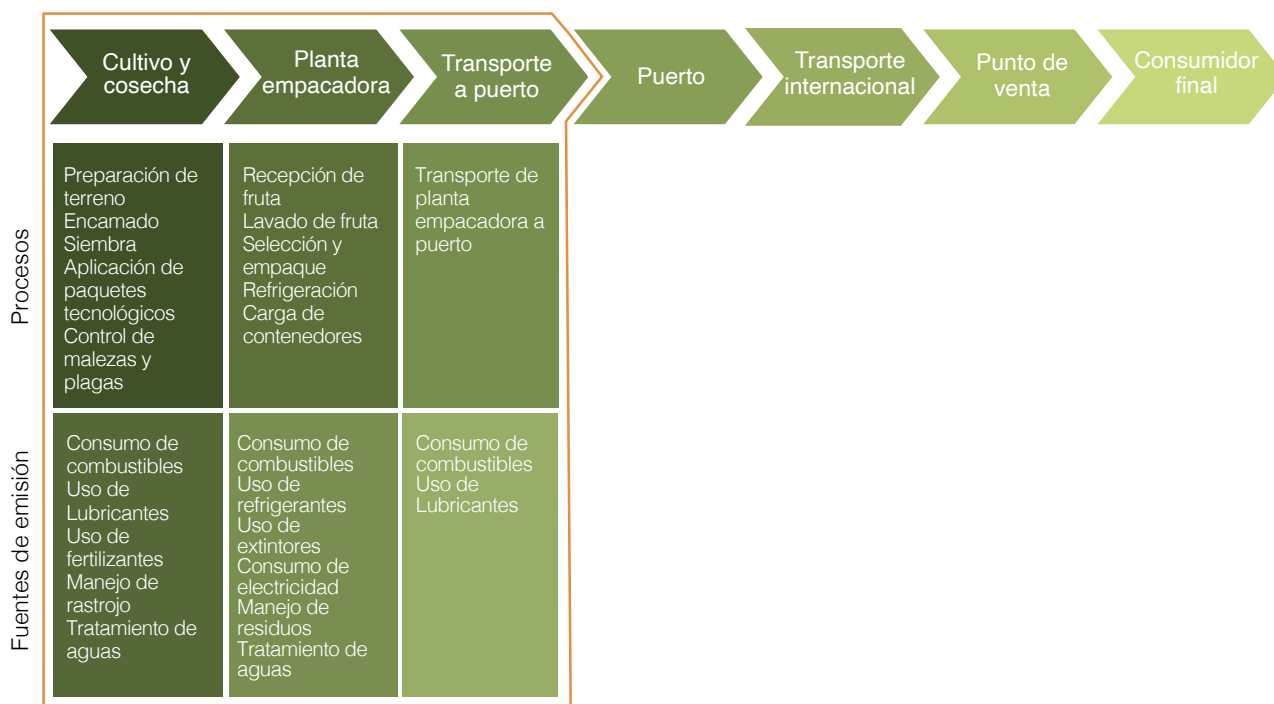
información. Ejemplos de referencias confiables y directas para obtener estos datos incluyen facturas de servicios o compras de productos, comprobantes, hojas de seguridad, registros, informes y datos de mantenimiento. Estas

fuentes proporcionan información verificable y respaldada que asegura la calidad y precisión de los datos recopilados (Vallejo *et al.*, 2017).

En las secciones siguientes se presentan los inventarios prioritarios para una empresa del sector piñero, así como otros inventarios adicionales y sugeridos a considerar. Cada

fuente de emisión se describe detalladamente, incluyendo su método de cálculo, orientación sobre la recolección de datos de actividad, selección de factores de emisión y recomendaciones o excepciones aplicables. Además, se proporcionan ejemplos de cálculos para una mejor comprensión y aplicación práctica.

**Figura 7.** Ejemplos de fuentes de emisión en la cadena de valor de piña



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/18333es>



## Para considerar:

En situaciones en las que falten datos o exista cierta limitación en la disponibilidad de información, puede ser necesario realizar cálculos adicionales o utilizar datos teóricos para completar la evaluación de emisiones. Esto puede implicar el uso de modelos de cálculo, datos teóricos o referencias, así como el asesoramiento de expertos en la materia para garantizar la exactitud y la integridad de los resultados obtenidos.

## 2.6 Emisiones más importantes en la industria de la piña



### Importante

Todas las emisiones de los diferentes GEI, deben convertirse a unidades de CO<sub>2</sub>e, para lo cual se utiliza los PCG. Los resultados del inventario deben reportarse en toneladas de CO<sub>2</sub>e.

El Cuadro 1 detalla las fuentes de emisión más significativas en las diversas etapas de producción de piña, las cuales se pueden categorizar como directas o indirectas, según el enfoque de control. Cada fuente puede estar compuesta por varias subfuentes que generan emisiones, las cuales pueden estar asociadas a diferentes tipos de GEI. Además, es posible que se

encuentren las mismas fuentes de emisión en diferentes categorías de emisiones, lo cual dependerá del análisis, identificación y evaluación de fuentes indirectas llevado a cabo por la empresa. Este proceso determinará qué emisiones indirectas deben ser cuantificadas.

**Cuadro 1.** Principales fuentes de emisión en compañías piñeras

Fuente	Subfuente (ejemplos)	GEI
Consumo de electricidad	Consumo de electricidad de la red eléctrica	CO <sub>2</sub> e
Uso de aceites lubricantes	Uso de lubricantes de motor en vehículos, tractores o camiones Uso de lubricantes de mezcla en motoguadañas o desmalezadoras	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
Uso de extintores	Uso de extintores de CO <sub>2</sub> Uso de extintores de agente limpio Uso de extintores de halón	CO <sub>2</sub> , HFC, Halones
Consumo de gases para soldadura y oxicorte (acetileno, propano)	Uso de acetileno para soldadura Uso de propano para oxicorte	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
Fugas de gas refrigerante	Fugas de gas refrigerante de aires acondicionados Fugas de gas refrigerante de refrigeradoras Fugas de gas refrigerante de cámaras de frío	HFC, HCFC
Consumo de combustibles fósiles (fuentes móviles y fijas)	Consumo de diésel en tractores de campo Consumo de gasolina en vehículos Consumo de diésel en planta de emergencia	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
Uso de fertilizantes nitrogenados	Uso de fertilizante granulado Uso de fertirriego	N <sub>2</sub> O
Uso de enmiendas orgánicas	Uso de abono orgánicos en campo Uso de bioles en suelo	N <sub>2</sub> O
Correctores de suelo	Uso de caliza Uso de cal dolomita	CO <sub>2</sub>
Manejo de rastrojo	Rastrojo incorporado en el suelo en verde (manejo verde) Rastrojo quemado con herbicida químico Rastrojo quemado con herbicida químico y fuego	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O
Disposición de residuos sólidos	Disposición de residuos en relleno sanitario Compostaje de residuos	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

Fuente	Subfuente (ejemplos)	GEI
Tratamiento de aguas residuales	Disposición de aguas residuales en tanque séptico Uso de letrinas Planta de tratamiento aeróbica Lagunas de oxidación	CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O

**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/8333es>

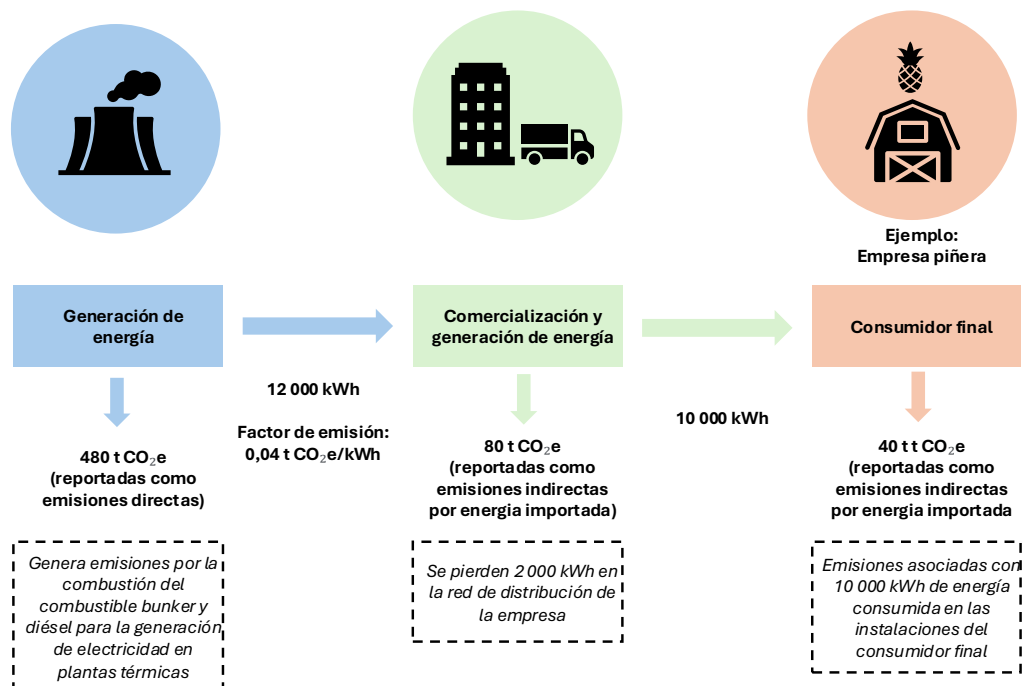
## 2.6.1 Consumo de electricidad

Categoría:	Indirecta por energía importada						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros
Electricidad						✓	

Las emisiones provenientes de la electricidad importada corresponden a las emisiones asociadas con la producción de energía eléctrica, que es consumida por la empresa. Cuando una compañía compra, adquiere y consume energía eléctrica de una red eléctrica, ésta tiene emisiones de GEI indirectas asociadas que deben ser contabilizadas.

Para efectos de esta guía, la fuente de emisión indicada se considera únicamente cuando la compañía consume electricidad producida por un tercero. En Costa Rica proviene del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), Cooperativa de Electrificación Rural de San Carlos

**Figura 8.** Ejemplo de contabilidad de GEI de producción, venta y consumo de energía



**Fuente:** Elaboración de los autores.



## Excepciones:

- Sistema de generación distribuida (paneles solares), si la empresa tiene generación de energía con paneles solares y además consume energía de la red de un tercero, el dato de actividad de consumo eléctrico a considerar en los cálculos será el consumo neto facturado por el proveedor de servicio. Este se obtiene de la diferencia de la energía que se consume de la red, de la energía generada por la empresa y de la energía que es inyectada a la red.
- Generación de energía propia, esta fuente de emisión debe ser reportada como una emisión de categoría directa. Por ejemplo, si la producción de energía es a partir de combustibles fósiles, las emisiones asociadas al consumo de combustible para la generación de electricidad, debe incluirse como una fuente de emisión directa (Vallejo *et al.*, 2017).
- Si el 100 % de la energía consumida proviene de paneles solares, esta energía queda exenta de emisiones y por ende no tiene un factor de emisión asociado, por lo que se considera “cero” emisiones. Este consumo de energía no se incluye en la cuantificación de emisiones de GEI.

(COOPELESCA), Compañía Nacional de Fuerza y Luz, entre otros. Dichas emisiones deben ser reportadas en la categoría de emisiones indirectas por energía importada (Vallejo *et al.*, 2017).

La Figura 8 muestra un ejemplo de cómo tratar las emisiones asociadas a la generación de energía eléctrica.

### 2.6.1.A Método de cálculo

#### Ecuación 2.6.1a

*Emisiones electricidad (t CO<sub>2</sub>e):*  $DA \times FE_E \times FC$

**Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** emisiones por electricidad en toneladas de dióxido de carbono equivalente.

**DA:** dato de actividad (kWh o MWh).

**FE<sub>E</sub>:** factor de emisión de electricidad (kg CO<sub>2</sub>e/kWh o MWh).

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, la conversión de kg a toneladas).

### 2.6.1.B Recolección de información

**Dato de actividad:** el origen de los datos de

actividad depende de las características de cada empresa. En la mayoría de los casos el dato de actividad de energía eléctrica proviene de facturas mensuales por consumo de energía eléctrica proporcionadas por el proveedor del servicio eléctrico. Puede que en algunos casos el dato de actividad provenga de medidores internos de consumo de energía, principalmente cuando se cuenta con medidores de energía compartidos con otras organizaciones o instalaciones.

**Factor de emisión:** el factor de emisión por consumo de energía eléctrica usualmente se expresa como kg CO<sub>2</sub>e/kWh o kg CO<sub>2</sub>e/MWh. Para el cálculo de emisiones de esta fuente se pueden utilizar factores de emisión promedio de la red local, regional o nacional, según la información disponible y las características de generación, venta y distribución de energía en cada país. El factor de emisión utilizado debe corresponder a las emisiones del año que se informa o se quiere calcular, si están disponibles, o de no estarlo, del año más reciente.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones para el consumo de electricidad, categoría indirecta por energía importada.



## Recomendación

Tabule la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.

### Ejemplo: cálculo de emisiones de electricidad

**Paso 1.** En una finca ubicada en San Carlos (Costa Rica), se consumieron 15 000 kWh de electricidad durante el año 2021 proveniente de la red eléctrica del proveedor de servicio. Para calcular las emisiones asociadas por consumo de energía eléctrica, primero se debe identificar el factor de emisión ( $FE_E$ ) apropiado para esta fuente, año y país específico.

$FE_E$	Referencia
0,0400 $\frac{\text{Kg CO}_2\text{e}}{\text{kWh}}$	Valor específico para Costa Rica para el año 2021

**Paso 2.** Multiplicar la cantidad total de kWh consumidos por el factor de emisión respectivo, para obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente (kg CO<sub>2</sub>e) y realizar la conversión a toneladas con el FC. Los factores de emisión para esta fuente usualmente están dados en CO<sub>2</sub>e, por lo que no es necesario utilizar el potencial de calentamiento global (PCG).

#### Ecuación 2.6.1a

$$\text{Emisiones por electricidad (t CO}_2\text{e)} = 15\,000 \text{ kWh} \times 0,0400 \text{ kg CO}_2\text{e/kWh} \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} = 0,6 \text{ t CO}_2\text{ e}$$

## 2.6.2 Uso de lubricantes

Categoría:	Directa o indirecta por productos utilizados por la empresa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros
Lubricantes o aceites para motores cuatro tiempos	✓						
Lubricantes o aceites de mezcla para motores dos tiempos	✓	✓	✓				

Los aceites lubricantes son productos derivados del petróleo ampliamente utilizados como agentes no energéticos en la lubricación de motores y equipos diversos dentro del sector piñero (Vallejo *et al.*, 2017). Los aceites lubricantes que se consideran en la cuantificación de emisiones se clasifican de forma general como **lubricantes para motor de cuatro tiempos**,

que no se combustionan; tales como aceite de motor de vehículos, aceite de motor de maquinaria, aceite de plantas de emergencia, entre otros. Así como los aceites o **lubricantes para motor de dos tiempos** o de mezcla, que se mezclan con el combustible en equipos tales como, motoguadañas o desmalezadoras, motosierras, cortadoras de césped, entre otros.

En el caso de los **lubricantes para motor de cuatro tiempos** es difícil determinar cuál es la fracción del lubricante consumido en las máquinas y en los vehículos que entra efectivamente en la combustión y que produce emisiones de CO<sub>2</sub> y cuál es la fracción no totalmente oxidada. Por lo tanto, para calcular las emisiones a partir de la cantidad total de lubricantes que se pierde durante el uso, se supone que éstos se queman por completo y las emisiones se declaran directamente como emisiones de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2006).

En el caso de **lubricantes para motor de dos tiempos**, que utiliza una mezcla de aceite y combustible que se quema en el motor; la empresa debe declarar emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

La fuente de emisión puede ser directa si el lubricante se utiliza en equipos que son propiedad de la empresa o están bajo control operacional de la empresa, por ejemplo, si la empresa cuenta con tractores propios para trabajos en campo. La fuente de emisión sería indirecta, si el uso de lubricantes se da en tractores de un tercero como parte de un servicio subcontratado.

### 2.6.2.A Método de cálculo

#### Ecuación 2.6.2a

*Emisiones lubricantes (t CO<sub>2</sub>e):*

$$DA \times FE_{GEI} \times PCG \times FC$$

**Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** emisiones por uso de lubricantes en toneladas de dióxido de carbono equivalente.

**DA:** dato de actividad relacionado al volumen de aceite o lubricante (litros de lubricante).

**FE<sub>GEI</sub>:** factor de emisión por tipo de GEI evaluado (por ejemplo, kgCO<sub>2</sub>/L de lubricante).

**PCG:** potencial de calentamiento global por tipo de GEI evaluado.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, la conversión de kg o g a toneladas).



## Importante

En el caso de los lubricantes para motor de cuatro tiempos, que no se combustionan, solo se determinan emisiones de CO<sub>2</sub>. Por otro lado, en el caso de los lubricantes para motor de dos tiempos, los cuales se combustionan, se determinan emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O.

### 2.6.2.B Recolección de información

**Dato de actividad:** Para obtener la cantidad de litros de **lubricante para motor de cuatro tiempos**, el cual no se combustiona, es necesario contabilizar el volumen de aceite utilizado por cambio o consumo en diversos vehículos de carga y transporte relacionados con las actividades productivas. Asimismo, es necesario contabilizar el volumen de aceite utilizado en otros vehículos, maquinaria (por ejemplo, tractores) y equipos con motores de cuatro tiempos (por ejemplo, bombas o generadores), pertenecientes a la empresa. El volumen de aceite puede obtenerse a partir de informes de mantenimiento, registros internos de cambios de aceite por vehículo o equipo, o bien, de facturas de compra.

Para determinar la cantidad de litros de **lubricante para motor de dos tiempos**



## Importante

Dependiendo del país o fuente de información de los datos, el volumen de aceite puede estar expresado en unidades distintas, como cuartos de galón, galones o mililitros. Sin embargo, dado que la mayoría de los factores de emisión disponibles están dados en kilogramos de GEI por litro, es necesario realizar la conversión de las unidades utilizadas a litros.



## Recomendación:

- Si no se cuenta con datos del volumen de aceite lubricante para motor de cuatro tiempos utilizado, se puede estimar el mismo a partir de la capacidad de almacenaje de aceite de los motores, y la frecuencia de cambio del mismo. En última instancia, se pueden emplear datos teóricos de uso de aceite para cada motor obtenidos de las fichas técnicas de los equipos o de revisión de literatura (Vallejo *et al.*, 2017).
- Si no se cuenta con datos del volumen de aceite para motor de dos tiempos utilizado, se puede estimar la cantidad de aceite utilizando el dato de combustible utilizado en los equipos de motores de dos tiempos y una referencia de la relación de aceite de mezcla y gasolina.
- Para ambos casos indicados anteriormente, se recomienda conservar evidencia de las referencias utilizadas.
- Tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.

que se combustiona, es necesario tener en cuenta el volumen de aceite que se mezcla con el combustible en equipos con motores de dos tiempos, como motoguadañas o desmalezadoras, motocicletas, motosierras, entre otros. El volumen de aceite utilizado puede obtenerse a partir de registros internos de consumo de aceite, facturas de compra, entre otros.

**Factor de emisión:** El factor de emisión por uso

de lubricantes para motor de cuatro tiempos, usualmente se expresa como  $\text{kg CO}_2/\text{L}$ . Para el caso de aceites de mezcla los factores de emisión usualmente se expresan en  $\text{kg CO}_2$  y gramos de  $\text{CH}_4$  y  $\text{N}_2\text{O}$  por litro, es decir,  $\text{kg CO}_2/\text{L}$ ,  $\text{g CH}_4/\text{L}$  y  $\text{g N}_2\text{O}/\text{L}$ .

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones para la fuente de uso de lubricantes.

### Ejemplo: cálculo de emisiones de lubricantes

**Paso 1.** En una finca piñera se contabilizó un total de 1 000 litros de aceite de motor por cambios de aceite de los tractores propios durante el año 2022, y un total de 25 cuartos de galón de aceite de mezcla para motores de 2 tiempos de equipos propios de la finca. Para proceder con la cuantificación de emisiones, se identifican los factores de emisión (FE) apropiados para cada tipo de aceite e identificar las unidades que se requieren de los datos de actividad.

Tipo de lubricante/factor		Referencia
Lubricante para motor de cuatro tiempos	$0,5184 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{L}}$	Valor específico para Costa Rica por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN)
Lubricante para motor de dos tiempos	$2,549 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{L}}$	
Residencial o agrícola. Lubricante para motor de dos tiempos	$0,348 \frac{\text{g CH}_4}{\text{L}}$	Valor específico para Costa Rica por el IMN
Residencial o agrícola. Lubricante para motor de dos tiempos	$0,021 \frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{L}}$	

Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no estar disponible, se puede utilizar los FE dados por el IPCC ([Anexo 1](#). Factores de emisión).

**Paso 2.** Nótese que los factores de emisión están dados por unidad de litros, por lo que, para el caso del dato de actividad de aceite de mezcla dos tiempos, se debe realizar la conversión de cuartos de galón a litros.

$$\text{Litros de aceite de mezcla (motor dos tiempos)} = 25 \text{ cuartos} \times \frac{0.946 \text{ L}}{1 \text{ cuarto}} = 23,65 \text{ litros}$$

**Paso 3.** Una vez obtenidos ambos datos de actividad en litros, se procede a calcular las emisiones para cada tipo de lubricante, multiplicando la cantidad total de aceite utilizado por el factor de emisión respectivo ([ver Anexo 1](#)) y el potencial de calentamiento global respectivo ([ver Anexo 2](#)), para obtener las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de los aceites lubricantes.

**Lubricante para motor de cuatro tiempos**  
**Ecuación 2.6.2a**

$$\text{Emisiones lubricantes ( t CO}_2 \text{ e) (CO}_2\text{)} = 1\,000 \text{ L} \times 0,5184 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{L}} \times 1 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} = 0,5184 \text{ t CO}_2\text{e}$$

**Lubricante para motor de dos tiempos**  
**Ecuación 2.6.2a**

$$\text{Emisiones lubricantes ( t CO}_2 \text{ e) (CO}_2\text{)} = 23,65 \text{ L} \times 2,549 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{L}} \times 1 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} = 0,060 \text{ t CO}_2\text{e}$$

$$\text{Emisiones lubricantes ( t CO}_2 \text{ e) (CH}_4\text{)} = 23,65 \text{ L} \times 0,348 \frac{\text{g CH}_4}{\text{L}} \times 21 \times \frac{1\text{t}}{1\,000\,000 \text{ g}} = 0,000173 \text{ t CO}_2\text{e}$$

$$\text{Emisiones lubricantes ( t CO}_2 \text{ e) (N}_2\text{O)} = 23,65 \text{ L} \times 0,021 \frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{L}} / \text{L} \times 310 \times \frac{1\text{t}}{1\,000\,000 \text{ kg}} = 0,000154 \text{ t CO}_2\text{e}$$

**Total de emisiones lubricante para motor de dos tiempos**

$$0,060 \text{ t CO}_2\text{e} + 0,000173 \text{ t CO}_2\text{e} + 0,000154 \text{ t CO}_2\text{e} = 0,061 \text{ t CO}_2\text{e}$$

### 2.6.3 Uso de extintores

Categoría:	Directa o indirecta por productos utilizados por la empresa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Extintores de CO <sub>2</sub>	✓						
Extintores Halotrócn				✓			
Extintores de agente limpio				✓	✓		✓

Los extintores son dispositivos de seguridad diseñados con el propósito de controlar y extinguir el fuego de forma oportuna. Algunos extintores emplean agentes extinguidores tales como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), los hidrofluorocarbonos (HFC) y, en menor medida, los perfluorocarbonos (PFC), los cuales son gases que se consideran GEI. Para asegurar la efectividad de un extintor, es fundamental garantizar la calidad de su agente extinguidor. Por lo tanto, estos dispositivos requieren mantenimiento regular y, en algunos casos, deben ser recargados periódicamente. Durante el proceso de recarga, el contenido del extintor puede ser liberado para su posterior recarga o, en casos de uso, puede haber una liberación intencional o accidental, generando una emisión al medio ambiente. En el **Cuadro 2** se detallan algunos de los agentes extinguidores de uso común, que representan un gas de efecto invernadero.

**Cuadro 2.** Agentes extinguidores de uso común

Agente extinguidor
CO <sub>2</sub> (Hielo seco)
HFC-23
HFC-125
HFC-227ea
HFC-236fa
Halón 1211
Halón 1301
PFC-143 (CF <sub>4</sub> )



## Importante

Existen extintores que no representan una fuente de emisión de GEI, por el tipo de agente extinguidor que utiliza, tales como extintores de polvo químico, agua o espuma. Por lo tanto, estos no deben considerarse en la cuantificación de emisiones

### Agente extinguidor

PFC-31-10 (C<sub>4</sub>F<sub>10</sub>)

**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

Las emisiones de los extintores se calculan mediante el supuesto de que todo el agente extinguidor se pierde durante su recarga. Por lo tanto, la cantidad total de agente recargado durante el periodo en estudio representará el total de emisión del GEI (Vallejo *et al.*, 2017).

### 2.6.3.A Método de cálculo

#### Ecuación 2.6.3a

*Emisiones por extintores (t CO<sub>2</sub>e):* DA × PCG × FC

**Donde:**

t CO<sub>2</sub>e: emisiones por uso de extintores en



## Recomendación:

- Es importante identificar con el proveedor de servicio de mantenimiento de extintores si los extintores se descargan y recargan todos los años durante los mantenimientos y considerar únicamente la liberación y recarga de extintores en el periodo evaluado.
- Analizar con el proveedor si se da alguna recuperación del agente extinguidor durante los mantenimientos de extintores que no deba considerarse como una emisión y conservar las evidencias que lo respalden.
- Tomar en cuenta la norma NFPA 10: "Extintores Portátiles Contra Incendios".
- Tabule la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados



## Importante

Con relación al uso de extintores, el gas contenido en el extintor es liberado directamente como gas, por lo que no se requiere un factor de emisión. Sin embargo, para determinar las emisiones en términos de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), es necesario considerar el potencial de calentamiento global asociado al gas liberado.

## Importante

Dependiendo del país o fuente de información de los datos, el dato de actividad requerido puede estar dado en libras. Sin embargo, dado que las emisiones se calculan en kilogramos para luego reportar el inventario final en toneladas, es necesario realizar la conversión de unidades de libras a kilogramos.

toneladas de dióxido de carbono equivalente.

**DA:** dato de actividad relacionado a la cantidad de agente extinguidor liberado o recargado (kg agente)

**PCG:** potencial de calentamiento global por tipo de GEI evaluado.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg a toneladas).

### 2.6.3.B Recolección de información

**Dato de actividad:** Para obtener el dato de actividad se requiere la cantidad de agente extinguidor liberado, el cual se puede obtener del volumen recargado en caso de que la compañía que brinda el servicio de mantenimiento lo indique en los reportes de mantenimiento o facturas del servicio. De otra forma, se puede multiplicar la capacidad de cada extintor indicado en la etiqueta del dispositivo, por la cantidad de recargas durante el año.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones para la fuente de uso de extintores.

#### Ejemplo: cálculo de emisiones por recarga de extintores.

**Paso 1.** Si la empresa cuenta con cinco extintores de CO<sub>2</sub> en sus instalaciones, los cuales se recargaron una vez durante el año de estudio, y su capacidad es de 10 libras cada uno, la cantidad total de CO<sub>2</sub> recargado se estima de la siguiente manera:

$$\text{Recarga total de extintores CO}_2 = 5 \text{ extintores} \times 1 \frac{\text{recarga}}{\text{extintor}} \times 10 \frac{\text{libras}}{\text{recarga}} = 50 \text{ libras CO}_2$$

**Paso 2.** Se requiere hacer la conversión de unidades de libras a kilogramos.

$$\text{kg CO}_2 = 50 \text{ libras CO}_2 \times \frac{0.454 \text{ kg}}{1 \text{ libra}} = 22,7 \text{ kg CO}_2$$

**Paso 3.** Multiplicar la cantidad total recargada de kg CO<sub>2</sub> obtenida en el Paso 2 por el potencial de calentamiento global del CO<sub>2</sub> (ver [Anexo 2](#)), para obtener las emisiones de CO<sub>2</sub>e.

#### Ecuación 2.6.3a

$$\text{Emisiones por extintores (t CO}_2\text{e)} = 22,7 \text{ kg CO}_2 \times 1 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} = 0,023 \text{ t CO}_2\text{e}$$

## 2.6.4 Consumo de gases (soldadura, oxicorte, otros)

Categoría:	Directa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Acetileno	✓						
Propano	✓						
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	✓						

El oxicorte es un proceso de corte térmico utilizado para cortar metales, mediante la combinación de oxígeno y combustible, generalmente acetileno, u otros gases como el propano. El proceso implica la combustión controlada del combustible en presencia de oxígeno.

En la soldadura se utiliza el acetileno en combinación con el oxígeno para generar una llama de alta temperatura que funde los metales y realizar la unión de ambas piezas. El acetileno de fórmula química C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>, es un gas incoloro e inflamable que requiere cantidades mínimas de oxígeno para alcanzar la combustión completa. Debido a sus propiedades, el acetileno es ampliamente utilizado para soldadura y oxicorte (Vallejo *et al.*, 2017).

El propano, de fórmula química C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>, es un gas incoloro e inflamable, que a diferencia del acetileno tiene un poder calórico menor, generando una llama de menor temperatura y por ende el corte es más lento.

Cuando el acetileno y el propano se someten a una reacción de combustión, según la estequiometría de esta, se produce emisiones de CO<sub>2</sub> que deben ser consideradas para el inventario de GEI. Para los cálculos se asume que hay una combustión completa formando CO<sub>2</sub> y agua.

Adicionalmente en “otras actividades” se puede hacer uso de otros gases, tales como CO<sub>2</sub>. Estas actividades también representan una emisión de CO<sub>2</sub>.

### 2.6.4.A Método de cálculo

#### Ecuación 2.6.4a

$$\text{Emisiones soldadura u oxicorte (t CO}_2\text{e):}$$

$$DA \times FE \times PCG \times FC$$

#### Donde:

**t CO<sub>2</sub>e:** emisiones por uso de gases en toneladas de dióxido de carbono equivalente.

**DA:** dato de actividad relacionado a la cantidad de gas consumido/comprado (kg gas).

**FE:** factor de emisión según tipo de gas (por ejemplo, kg CO<sub>2</sub>/kg gas).

**PCG:** potencial de calentamiento global.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg a toneladas).

**Nota:** En caso de utilizar gas CO<sub>2</sub>, se debe omitir el factor de emisión (FE) en la fórmula anterior.

### 2.6.4.B Recolección de información

**Dato de actividad:** Para obtener el dato de actividad se requiere la cantidad de gas consumido o comprado, el cual se puede obtener por medio de facturas de compra, registros de consumo interno y movimientos de inventario, entre otros. Para obtener la cantidad de kilogramos de gas, se puede multiplicar la cantidad de cilindros consumidos o comprados por la capacidad de cada cilindro.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones para la fuente de gases para soldadura y oxicorte.

## Ejemplo: cálculo de emisiones de acetileno

**Paso 1.** La finca Caribe 1 consumió tres cilindros de acetileno con un peso de 7 kg cada uno. Conociendo que el factor de emisión (FE), se estiman las emisiones al multiplicar la cantidad total de acetileno consumido, por el FE respectivo (ver [Anexo 1](#)), y el potencial de calentamiento global respectivo (ver [Anexo 2](#)).

*Consumo total de acetileno=3 cilindros × 7 kg acetileno/cilindro =21 kg acetileno*

### Ecuación 2.6.4a

$$\text{Emisiones por acetileno (t CO}_2\text{ e)} = 21 \text{ kg C}_2\text{H}_2 \times 3,38 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{kg C}_2\text{H}_2} \times 1 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} = 0,071 \text{ t CO}_2\text{e}$$

## 2.6.5 Fugas de gas refrigerante

Categoría:	Directa o indirecta por transporte e indirecta por productos utilizados						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Gases refrigerantes				✓	✓		✓

Los hidrofluorocarbonos (HFCs) y los perfluorocarbonos (PFCs) son compuestos químicos que se utilizan ampliamente en sistemas de refrigeración. Estos sistemas incluyen aires acondicionados en oficinas y vehículos, cámaras de enfriamiento y refrigeración de piña, túneles de refrigeración, así como contenedores refrigerados utilizados para el transporte de la fruta hacia los puertos, entre otros.

Estos gases desempeñan un papel fundamental en la regulación de la temperatura en los diferentes sistemas de enfriamiento. Sin

embargo, es importante tener en cuenta que los HFCs y los PFCs son considerados GEI y en su mayoría tienen potenciales de calentamiento global alto.

Considerando que todo sistema sellado, ya sea a través de las uniones de tuberías y válvulas, puede presentar fugas de refrigerante a causa de rupturas en las tuberías o por fallas en los componentes, es importante reconocer esta liberación no planificada como una emisión fugitiva. En otras palabras, las fugas resultan en la liberación del gas refrigerante de los equipos y



## Para considerar

- Los factores de emisión de referencia del acetileno y el propano son valores constantes que se obtienen del balance de masas en la reacción de combustión completa de ambos gases.
- Si los consumos de ambos gases están dados en libras, se debe realizar la conversión a kilogramos para el cálculo de emisiones (Vallejo *et al.*, 2017).
- Tabule la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.

sistemas, lo cual constituye una emisión de GEI (Vallejo *et al.*, 2017).

La presencia de fugas puede tener consecuencias negativas, como una disminución en la capacidad de refrigeración de los equipos. En algunos casos, puede ser necesario realizar labores de mantenimiento, incluyendo la recarga del gas refrigerante, lo cual representa también la emisión de GEI.

En el Cuadro 3 se muestran algunos tipos de refrigerantes que se pueden encontrar en los diferentes sistemas de refrigeración.

**Cuadro 3.** Diferentes tipos de refrigerantes

Refrigerantes	
R-12	R-32
R-502	R-290 (propano)
R-507a	R-600a (isobutano)
R-404a	R-1270 (propileno)
R-407a	R-744 (CO <sub>2</sub> )
R-22	R-717 (amoníaco)
R-407c	R-410
R-134a	-

**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/18333es>



## Importante

- Con relación al cálculo de emisiones por gas refrigerante, si la empresa cuenta con la cantidad de gas refrigerante recargado, entonces no se debe emplear un factor de emisión debido a que el gas refrigerante es liberado directamente como gas. Sin embargo, para determinar las emisiones en términos de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e), es necesario considerar el PCG asociado al gas liberado.
- Cuando no se cuente con datos de gas refrigerante fugado o recargado, se puede realizar una estimación teórica, para la cual si se requiere emplear un factor de emisión (porcentaje de fuga de la carga inicial por año).

### 2.6.5.A Método de cálculo

#### Ecuación

$$\text{Emisiones por fugas de refrigerante (t CO}_2\text{e): } DA \times PCG \times FC$$

#### Donde:

**t CO<sub>2</sub>e:** emisiones por fugas de refrigerantes en toneladas de dióxido de carbono equivalente.



## Recomendación:

- Cuando no se cuente con registros de recargas de refrigerantes, se podrán utilizar porcentajes de pérdidas anuales de refrigerante por equipo o sistema (Anexo 1), para hacer una estimación teórica de emisiones por fugas de gas refrigerante. Sin embargo, se debe tomar acciones para iniciar el control y registro de recargas de gas refrigerante (Vallejo *et al.*, 2017).
- En caso de contar con recuperación de gas refrigerante de equipos, la empresa debe almacenar el este gas en cilindros en buen estado, contar con la evidencia correspondiente sobre la cantidad y tipo de gas recuperado, asegurar su adecuado almacenamiento para evitar la eventual pérdida de dicho gas, y buscar opciones de disposición final y destrucción para evitar la emisión. La empresa debe conservar las evidencias correspondientes, tales como fotografías, información del gas, registros, o certificados, entre otros.
- Si las recargas de gas refrigerante están dadas en libras, la empresa debe realizar la conversión a kilogramos para el cálculo de emisiones.
- Tabule la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociado.



## Importante

Dependiendo del país o fuente de información de los datos, el dato de actividad requerido puede estar dado en libras. Sin embargo, dado que las emisiones se calculan en kilogramos para luego reportar el inventario final en toneladas, la empresa tendrá que realizar la conversión de unidades de libras a kilogramos.

**DA:** dato de actividad relacionado a la cantidad de gas fugado o recargado (kg gas).

**PCG:** potencial de calentamiento global según tipo de GEI.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg a toneladas).

### 2.6.5.B Recolección de información

**Dato de actividad:** el dato de actividad se puede obtener por alguna de las siguientes vías:

- Cantidad de gas refrigerante fugado o recargado en el periodo evaluado, el cual se puede obtener de reportes internos de mantenimiento o reportes de mantenimiento de proveedores del servicio.
- En caso de no contar con registros de recargas de gas refrigerante, considerando que la empresa compra los gases refrigerantes para realizar sus propios mantenimientos y recargas, se puede utilizar la cantidad de gas comprado en el periodo evaluado. Se puede obtener el dato a través de facturas de compra o utilizar el gas consumido si la empresa maneja un control de inventario y puede obtener la información

de las salidas de inventario.

En caso de no contar con ninguna de las anteriores se puede estimar la pérdida anual de gas refrigerante de los sistemas de refrigeración con una referencia teórica de porcentaje de fuga anual por tipo de sistema.

**Potencial de calentamiento global:** se selecciona el potencial de calentamiento global según el tipo de gas refrigerante evaluado (ver [Anexo 2](#)).

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones por fugas de gas refrigerante.

#### Ejemplo: cálculo de emisiones por fuga de refrigerantes

##### Parte I. Cálculo de emisiones por fuga de refrigerantes cuando se cuenta con registros

**Paso 1.** Por mantenimiento de los aires acondicionados de la compañía, en el periodo evaluado se recargaron 300 lb del refrigerante R-410. Para proceder con el cálculo de emisiones primero se deberá realizar la conversión de libras a kilogramos de gas.

$$\text{Recarga de refrigerante (kg gas)} = 300 \text{ lb} \times \frac{0.054 \text{ kg}}{1 \text{ lb}} = 136,2 \text{ kg R410A}$$

**Paso 2.** Multiplicar la cantidad total de refrigerante recargado en el periodo por el potencial de calentamiento global del R-410A ([Anexo 2](#)), para obtener las emisiones en dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). Aplicar la ecuación 2.6.5a.

##### Ecuación 2.6.5a

$$\text{Emisiones por fugas de refrigerantes (t CO}_2\text{e)} = 136,2 \text{ kg R410A} \times 1725 \times \frac{1 \text{ t}}{1\,000 \text{ kg}} = 234,945 \text{ t CO}_2\text{e}$$

**Nota:** para efectos del ejercicio se selecciona el PCG del II Informe del IPCC.

## Parte II. Cálculo de emisiones por fuga de refrigerantes cuando no se cuenta con registros

**Paso 1.** Una empresa decide contabilizar las emisiones por fuga anual de refrigerante R-134a de los 76 contenedores donde se transportó la fruta en el periodo evaluado. Al no contar con registros de recarga de refrigerante y al tratarse de un servicio de un tercero, se procede a identificar el tipo de equipo, la capacidad de carga de este y el porcentaje de fuga anual. Ver cuadro A.1.2 del [Anexo 1](#). Se asumen los valores siguientes:

Tipo de equipo	Capacidad o contenido de gas refrigerante en el sistema (kg)	Factor de emisión (% de la capacidad por año)
Transporte refrigerado de fruta (contenedores)	8	50

**Paso 2.** Multiplicar la cantidad total de contenedores por la capacidad de carga por el porcentaje de fuga anual o factor de emisión, y el potencial de calentamiento global del R-134A ([Anexo 2](#)), para obtener las emisiones de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). Aplicar la ecuación 2.6.5a.

### Ecuación 2.6.5a (incluyendo el porcentaje de fuga anual)

Emisiones por fugas de refrigerantes (t CO<sub>2</sub>e) =

$$76 \text{ contenedores} \times 8 \text{ kg} \frac{\text{gas}}{\text{contenedor}} \times 50 \% \times 1\,300 \times \frac{1 \text{ t}}{1\,000 \text{ kg}} = 395,2 \text{ CO}_2 \text{ e}$$

**Nota 1:** para efectos del ejercicio se selecciona el PCG del II Informe del IPCC.

**NOTA IMPORTANTE:** En vista de que el servicio de transporte refrigerado de fruta es de un tercero y dicha fuente de emisiones de GEI se reporta como una fuente indirecta, es importante hacer una asignación de emisiones en función del servicio que le brinda a la empresa piñera. Dado lo anterior y bajo el escenario de que cada uno de los 76 contenedores solo realizó un viaje a puerto en el año de reporte, se puede asignar las emisiones dividiendo las toneladas anuales entre 365 días, para asumir solo la fuga por contenedor de un día de transporte. Tal como se muestra a continuación:

$$\text{Asignación de emisiones por fugas de refrigerante (t CO}_2\text{e)} = 395,2 \text{ CO}_2\text{e} / 365 = 1,08 \text{ CO}_2\text{e}$$

## 2.6.6 Consumo de combustibles fósiles

Categoría:	Directa o indirecta por transporte e indirecta por productos utilizados por la empresa						
	Tipo de GEI a evaluar						
Fuente	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Combustibles fósiles	✓	✓	✓				

Los combustibles fósiles son recursos energéticos ampliamente utilizados en diferentes actividades relacionadas con la producción, cosecha, empaque y comercialización de piña. Se utilizan para el funcionamiento de una variedad

de equipos, vehículos y maquinaria necesarios para llevar a cabo las diferentes actividades de las empresas piñeras. La combustión de los combustibles fósiles en los motores conlleva la emisión de GEI, como el dióxido de carbono

(CO<sub>2</sub>), el metano (CH<sub>4</sub>) y el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Por lo tanto, es esencial considerar tanto las fuentes móviles, como los vehículos propios de la empresa, los vehículos de carga y transporte del producto, los tractores y la maquinaria de campo, las fuentes estacionarias o fijas, como generadores y bombas, entre otros, que forman parte de las actividades desarrolladas por la empresa.

### 2.6.6.A Método de cálculo

#### Ecuación 2.6.6a

$$\text{Emisiones por combustibles (t CO}_2\text{e):}$$

$$DA \times FE_{\text{GEI}} \times PCG \times FC$$

#### Donde:

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente.

**DA:** dato de actividad relacionado al volumen de combustible (litros de combustible).

**FE<sub>GEI</sub>:** factor de emisión por tipo de GEI y tipo de combustible evaluado (por ejemplo, kg CO<sub>2</sub> por litro de combustible).

**PCG:** potencial de calentamiento global por tipo de GEI evaluado.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

Una vez obtenidas las toneladas de CO<sub>2</sub>e provenientes de cada GEI evaluado, se procede a calcular las emisiones totales realizando la sumatoria de los resultados de t CO<sub>2</sub>e de cada GEI, tal como se observa en la ecuación 2.6.6b.

#### Ecuación 2.6.6b

$$\text{Emisiones totales por combustibles (t CO}_2\text{e):}$$

$$t \text{ CO}_2\text{e (CO}_2\text{)} + t \text{ CO}_2\text{e (CH}_4\text{)} + t \text{ CO}_2\text{e (N}_2\text{O)}$$

#### Donde:

**Total de t CO<sub>2</sub>e:** total de toneladas de dióxido de carbono equivalente de la fuente de emisión.

**t CO<sub>2</sub>e (CO<sub>2</sub>):** toneladas de dióxido de carbono equivalente provenientes del CO<sub>2</sub>.

**t CO<sub>2</sub>e (CH<sub>4</sub>):** toneladas de dióxido de carbono



## Importante

- Para los diferentes tipos de combustible se generan emisiones de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, en la combustión, por lo tanto, se debe aplicar la ecuación 2.6.6a para determinar las emisiones de cada GEI evaluado.
- Los factores de emisión dependen del tipo de combustible y tipo de sector o uso de los equipos que consumen combustible.

equivalente provenientes del CH<sub>4</sub>.

**t CO<sub>2</sub>e (N<sub>2</sub>O):** toneladas de dióxido de carbono equivalente provenientes del N<sub>2</sub>O.

### 2.6.6.B Recolección de información

**Dato de actividad:** Para obtener la cantidad de litros de combustible, es necesario tener en cuenta el volumen de combustible consumido y tipo de combustible utilizado. Por ejemplo, litros de diésel consumido en tractores, litros de gasolina consumida en vehículos, litros de diésel consumido en generador, etc. El volumen de combustible puede obtenerse a partir de facturas de compra de combustible, registro interno de dispensadores de combustible, requisiciones, entre otras fuentes.



## Importante

Dependiendo del país o fuente de información de los datos, el volumen de combustible puede estar expresado en unidades distintas, como galones. Dado que la mayoría de los factores de emisión disponibles están en kilogramos de GEI por litro, es necesario realizar la conversión de unidades a litros o bien asegurarse de que las unidades del volumen de combustible sean congruentes con las unidades de los factores de emisión a utilizar.

**Factor de emisión:** El factor de emisión por consumo de combustible depende del tipo de combustible utilizado o consumido; se debe seleccionar el factor de emisión por tipo de combustible y por tipo de GEI evaluado. Los factores de emisión de CO<sub>2</sub> usualmente se expresan como kg CO<sub>2</sub>/L, mientras que los

factores de emisión de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O pueden estar expresados en gramos de cada GEI por litro de combustible, es decir, g CH<sub>4</sub>/L y g N<sub>2</sub>O/L.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones para la fuente de consumo de combustibles.

### Ejemplo: cálculo de emisiones de combustibles fósiles

**Paso 1.** Una empresa consumió 25 500 litros de diésel por el uso de tractores para la preparación de terreno en el periodo de un año, para calcular las emisiones, se deben identificar los FE apropiados para este tipo de combustible y tipo de actividad. La combustión del diésel produce emisiones de CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>, por lo cual se necesita un FE para determinar las emisiones de cada gas.

GEI	Factor emisión o residencial-agrícola	Referencia
EF <sub>CO2</sub>	2,613 $\frac{\text{kg CO}_2}{\text{L}}$	Valor específico para Costa Rica, dado por el IMN.
EF <sub>CO4</sub>	0,382 $\frac{\text{g CH}_4}{\text{L}}$	
EF <sub>N2O</sub>	0,02442 $\frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{L}}$	

Es preferible utilizar los FE específicos de cada país y tipo de combustible, pero en caso de no estar disponible, se pueden utilizar FE de fuentes reconocidas como IPCC.



## Recomendación:

Cuando no se cuenta con registros del volumen de los combustibles consumidos, existen posibles métodos de estimación (Vallejo *et al.*, 2017).

- Tomar como referencia el kilometraje recorrido por cada uno de los vehículos. Este parámetro se divide entre el rendimiento promedio de cada tipo de vehículo. Para obtener el rendimiento de los vehículos utilizados por la empresa (directas) o subcontratistas (indirectas), se pueden consultar páginas web de los proveedores de vehículos, fichas técnicas o cálculos realizados de rendimiento por tipo de vehículo de referencias reconocidas.
- Estimar el volumen de combustible a partir del costo de este. Se deben identificar los precios históricos de los combustibles disponibles en la entidad relevante en cada país (por ejemplo, Refinadora Costarricense de Petróleo en Costa Rica). Luego se divide el costo de compra del combustible entre el precio por litro de combustible, según la fecha de compra.
- Estimar el volumen de combustible con horas de operación o de uso de equipos o maquinaria y relacionar las horas de trabajo con el rendimiento (litros por hora) del equipo o maquinaria.
- Tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.

**Paso 2.** Multiplicar la cantidad total de combustible por el factor de emisión respectivo, y el potencial de calentamiento global respectivo ([Anexo 2](#)), para obtener las emisiones en toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente. Aplicar la ecuación 2.6.6a.

#### Ecuación 2.6.6a (CO<sub>2</sub>)

$$\text{Emisiones por combustibles (t CO}_2\text{ e) (CO}_2\text{)} = 25\,500\text{ L} \times 2,613 \frac{\text{kg CO}_2}{\text{L}} \times 1 \times \frac{1\text{ ton}}{1\,000\text{ kg}} =$$

$$\text{Emisiones por combustibles (t CO}_2\text{ e) (CO}_2\text{)} = 66,63\text{ t CO}_2\text{ e}$$

#### Ecuación 2.6.6a (CH<sub>4</sub>)

$$\text{Emisiones por combustibles (t CO}_2\text{ e) (CH}_4\text{)} = 25\,500\text{ L} \times 0,382 \frac{\text{g CH}_4}{\text{L}} \times 21 \times \frac{1\text{ ton}}{1\,000\,000\text{g}} =$$

$$\text{Emisiones por combustibles (t CO}_2\text{ e) (CH}_4\text{)} = 0,205\text{ t CO}_2\text{ e}$$

#### Ecuación 2.6.6a (N<sub>2</sub>O)

$$\text{Emisiones por combustibles (t CO}_2\text{ e) (N}_2\text{O)} = 25\,500\text{ L} \times 0,02442 \frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{L}} \times 310 \times \frac{1\text{ ton}}{1\,000\,000\text{g}} =$$

$$\text{Emisiones por combustibles (t CO}_2\text{ e) (N}_2\text{O)} = 0,193\text{ t CO}_2\text{ e}$$

**Paso 3.** Para obtener las emisiones totales, se debe sumar la cantidad de emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente de cada GEI evaluado.

#### Ecuación 2.6.6b

$$\text{Emisiones totales por combustibles (t CO}_2\text{ e): } 66,63\text{ t CO}_2\text{ e} + 0,205\text{ t CO}_2\text{ e} + 0,193\text{ t CO}_2\text{ e} = 67,029\text{ t CO}_2\text{ e}$$

## 2.6.7 Uso de fertilizantes nitrogenados y enmiendas orgánicas

En el suelo ocurre un proceso biológico natural de reacciones de nitrificación y desnitrificación, las cuales desempeñan un papel fundamental en el ciclo del nitrógeno y que dependen de la disponibilidad del nitrógeno en los mismos. Como resultado de ambos procesos se da una liberación de gases nitrogenados a la atmósfera, incluido el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). Al agregar fertilizantes nitrogenados al suelo, se puede generar un exceso de nitrógeno disponible en suelo, desencadenando las reacciones de nitrificación y desnitrificación, dando como resultado emisiones de N<sub>2</sub>O (IPCC, 2006).

La adición de fertilizantes nitrogenados al suelo es una práctica común en el sector piñero, en las



### Importante

Se recomienda tener presente que el factor de emisión de CO<sub>2</sub> varía según el tipo de combustible consumido, independientemente del uso o del equipo que consume el combustible. Sin embargo, los factores de emisión de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, se seleccionan según el tipo de combustible y el uso o tipo de equipos que utilizan el combustible. Por ejemplo, si se utiliza en vehículos para transporte terrestre, en tractores para actividades agrícolas, entre otros. Ver el [Anexo 1](#) donde se indican factores de emisión por tipo de combustible y según uso o actividad en la que se utiliza el combustible.

primeras etapas de desarrollo del cultivo de piña, con el fin de fortalecer el crecimiento vegetativo y promover el desarrollo de las hojas y raíces.

En el Cuadro 4 se describen algunos fertilizantes comunes y su contenido de nitrógeno promedio.

Categoría:	Directa o indirecta por productos utilizados por la empresa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Fertilizantes nitrogenados y enmiendas orgánicas			✓				

**Cuadro 4.** Contenido promedio de nitrógeno en diferentes fertilizantes sintéticos con base en estudios de la Asociación Internacional de Fertilizantes

Fertilizante	Nitrógeno (%)
Amonio	82
Sulfato de amonio	21
Nitrato de amonio	33-34,5
Nitrato de calcio y amonio	20,4-27
Urea	45-46
Fosfato diamónico	18
Fosfato monoamónico	11
Fertilizantes NPK	5-25
Fertilizantes NP	15-25
Fertilizantes NK	13-25

**Fuente:** Adaptado de *International Fertilizer Association (IFA)*. 2017. *Composición de fertilizantes*. [Consultado el 7 de marzo de 2024] <https://www.ifastat.org/factsheets/products>

### 2.6.7A Método de cálculo

Para el caso de adiciones de nitrógeno en suelo, la empresa debe determinar las emisiones directas de N<sub>2</sub>O y las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por volatilización (pérdidas de nitrógeno por volatilización) y lixiviación (lavado o arrastre de nitrógeno por precipitación o riego). A continuación, se describen los métodos de cálculo de los tres diferentes procesos de emisión por el uso de fertilizantes.



## Importante

A continuación, se describen algunas consideraciones importantes con relación a la selección de fertilizantes para la cuantificación y reporte de emisiones. Se consideran los fertilizantes sintéticos nitrogenados aplicados directamente al suelo, en forma granulada o líquida mediante fertirriego, alrededor de la base de la planta.

- Se consideran los fertilizantes orgánicos incorporados en el suelo, como compost, lodos, lombricompost (o humus de lombriz), residuos agrícolas, entre otros.
- No se consideran los fertilizantes foliares, ya que se aplican directamente en las hojas de las plantas y no están en contacto directo con el suelo donde ocurren los procesos de nitrificación y desnitrificación. Estos fertilizantes suelen contener formas de nutrientes más solubles y fácilmente absorbibles por las hojas, lo que permite una rápida asimilación por parte de las plantas sin la intervención de los procesos de nitrificación y desnitrificación en el suelo

### a) Emisiones directas de fertilizantes

#### Ecuación 2.6.7a

$$\text{Emisiones directas de fertilizantes (t CO}_2\text{e): } DA \times FE_{N_2O} \times (44/28) \times PCG \times FC$$

**Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente.



## Importante

- Si se hace uso de fertilizantes sintéticos u orgánicos en presentación líquida para fertirriego, se debe recopilar la información de la densidad del producto para realizar la conversión de litros de nitrógeno a kilogramos.
- En caso de aplicar urea u otros fertilizantes con nitrógeno proveniente de la urea en suelo, la empresa debe estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> de la urea, descritas en el módulo 2.6.8 CO<sub>2</sub> de la urea, además de estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O descritas en esta sección.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de nitrógeno aplicado (kg de nitrógeno).

**FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>:** factor de emisión de N<sub>2</sub>O (por ejemplo, kg N<sub>2</sub>O-N/kg N).

**(44/28):** se utiliza la relación de 44/28 para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O.

**PCG:** potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

### b) Emisiones indirectas por volatilización

#### Ecuación 2.6.7a1

$$\text{Emisiones por volat. fertilizantes (t CO}_2\text{e):}$$

$$DA \times \text{Frac}_{\text{Volat}} \times FE_{\text{N}_2\text{O}} \times (44/28) \times \text{PCG} \times \text{FC}$$

**Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por volatilización del N.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de nitrógeno aplicado en suelo (kg de nitrógeno).

**Frac<sub>Volat</sub>:** fracción de N que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> (kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N/kg N aplicado).

**FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>:** factor de emisión correspondiente a las emisiones de N<sub>2</sub>O por volatilización (por ejemplo, kg N<sub>2</sub>O-N / kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N volatilizado).

**(44/28):** relación de 44/28 para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O.

**PCG:** potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

### c) Emisiones indirectas por lixiviación y escorrentía

#### Ecuación 2.6.7a2

$$\text{Emisiones por lixiv. fertilizantes (t CO}_2\text{e):}$$

$$DA \times \text{Frac}_{\text{Lix}} \times FE_{\text{N}_2\text{O}} \times (44/28) \times \text{PCG} \times \text{FC}$$

**Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por lixiviación del N.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de nitrógeno aplicado en suelo (kg de nitrógeno).

**Frac<sub>Lix</sub>:** fracción de N que se pierde por lixiviación

(kg N/kg N aplicado).

**FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>:** factor de emisión correspondiente a las emisiones de N<sub>2</sub>O por lixiviación (por ejemplo, kg N<sub>2</sub>O-N/kg N lixiviado).

**(44/28):** relación de 44/28 para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O.

**PCG:** potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, la conversión de kg o g a toneladas).

### d) Emisiones totales por fertilizantes

Una vez obtenidas las toneladas de CO<sub>2</sub>e provenientes de cada tipo de emisión, se procede a calcular las emisiones totales por uso de fertilizantes realizando la sumatoria de los resultados de t CO<sub>2</sub>e de cada fórmula, tal como se observa en la ecuación 2.6.7a3.

#### Ecuación 2.6.7a3

$$\text{Emisiones totales por fertilizantes (t CO}_2\text{e): } t \text{ CO}_2\text{e}$$

$$(\text{directas}) + t \text{ CO}_2\text{e (volat.)} + t \text{ CO}_2\text{e (lixiv.)}$$

**Donde:**

**total de t CO<sub>2</sub>e:** total de toneladas de dióxido de carbono equivalente de la fuente de emisión de fertilizantes.

**t CO<sub>2</sub>e (directas):** toneladas de dióxido de carbono equivalente directas de N<sub>2</sub>O.

**t CO<sub>2</sub>e (volat):** toneladas de dióxido de carbono equivalente de la volatilización.

**t CO<sub>2</sub>e (lixiv):** toneladas de dióxido de carbono equivalente de lixiviación o escorrentía.

### 2.6.7.B Recolección de información

**Dato de actividad:** Para obtener la cantidad de kilogramos de nitrógeno aplicado en suelo, la empresa debe tener en cuenta la cantidad total de fertilizantes aplicados en suelo, tipo de fertilizante (sintético u orgánico), su presentación

(sólido o líquido) y el porcentaje de nitrógeno por tipo de fertilizante. La cantidad de fertilizante puede obtenerse a partir de facturas de compra, registros internos de inventario o requisiciones, entre otros.

A continuación, se describe un ejemplo de la recopilación de datos que debe realizarse para obtener el dato de actividad.

Tipo de fertilizante	Fertilizante	Nitrógeno (%)	Estado	Presentación	Cantidad aplicada
Sintético	NPK (8-20-5)	8 %	Sólido	50 kg por saco	25 sacos

Con la información recopilada como en el ejemplo anterior se procede a obtener el dato de actividad requerido en las fórmulas de cálculo de la siguiente manera.

$$DA \text{ (kg N)} = \text{Cantidad sacos aplicados} \times \text{presentación/saco} \times \% N$$

**Ejemplo:**

$$DA \text{ (kg N)} = 25 \text{ sacos} \times 50 \text{ kg /saco} \times 8\% N = 100 \text{ kg N}$$

pueden variar según el tipo de fertilizante (sintético u orgánico); por eso es importante diferenciar en la recolección de datos de actividad el tipo de fertilizante aplicado. Los factores de emisión también pueden seleccionarse entre factores dados por defecto o promedio como agregados o factores de emisión más específicos por tipo de clima o tipo de fuente de nitrógeno, es decir, los factores pueden ser desagregados. Para consultar las referencias de factores de emisión ver [Anexo 1](#).

**Factor de emisión y fracciones:** La selección de los factores de emisión por tipo de emisión (directa, volatilización o lixiviación) y la selección de las fracciones de volatilización y lixiviación

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones para la fuente de uso de fertilizantes nitrogenados.



## Recomendación:

- Diferenciar el tipo de fertilizante entre sintético y orgánico es importante para la selección los factores de emisión apropiados.
- Tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.
- La información sobre el porcentaje de nitrógeno en los fertilizantes sintéticos se puede obtener de fichas técnicas, hojas de seguridad o etiquetas de los productos.
- La información sobre el porcentaje de nitrógeno en fertilizantes orgánicos o enmiendas se puede obtener de análisis de laboratorio, referencias teóricas o fichas técnicas.

## Ejemplo: cálculo de emisiones por uso de fertilizantes nitrogenados

### Parte I. Cálculo de emisiones de fertilizantes sintéticos

**Paso 1.** Como parte del paquete tecnológico utilizado para las primeras etapas de desarrollo de las plantas; en el año 2022 se aplicó un total de 10 800 kg de fertilizante sintético granulado, el cual se describe a continuación:

Tipo	Fertilizante	Nitrógeno (%)	Estado	Cantidad aplicada
Sintético	NPK (8-20-5)	8 %	Granulado	10 800 kg

**Paso 2.** Estimar el nitrógeno total aplicado, utilizando la cantidad total de fertilizante aplicado y el contenido de nitrógeno:

$$\text{kg N} = 10\,800 \text{ kg}_{\text{total de fert.}} \times 8\% \text{ N} = 864 \text{ kg N}$$

**Paso 3.** Identificar el FE para emisiones directas de N<sub>2</sub>O para fertilizantes sintéticos. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no estar disponible, se puede utilizar el FE recomendado por el IPCC ([Anexo 1](#)).

FE	Tipo	Referencia
0,010 $\frac{\text{kg N}_2\text{O-N}}{\text{kg N}}$	FE para adiciones N de fertilizantes sintéticos, enmiendas orgánicas y residuos de cultivos	Factor de emisión agregado dado por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC en el Volumen 4, Capítulo 11, ver cuadro A.1.18.

**Paso 4.** Obtener las emisiones directas de N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente. Para esto se debe multiplicar el nitrógeno total, el factor de emisión, el potencial de calentamiento global del óxido nitroso ([Anexo 2](#)), y la relación de 44/28, para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a N<sub>2</sub>O. Aplicar la ecuación 2.6.7a.

#### Ecuación 2.6.7a

$$\text{Emisiones directas fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = 864 \text{ kg N} \times 0,010 \frac{\text{kg N}_2\text{O-N}}{\text{kg N}} \times \frac{44}{28} \times 310 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} =$$

$$\text{Emisiones directas fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = 4,209 \text{ t CO}_2\text{ e}$$

**Paso 5.** Identificar los factores de emisión y fracciones para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O por volatilización y lixiviación/escorrentía de la aplicación de fertilizantes sintéticos. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no estar disponible, la empresa puede utilizar los FE recomendados por el IPCC ([Anexo 1](#)).

Fracción de N/FE	Tipo	Referencia
0.11 kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N / kg N applied	Frac <sub>Volat.</sub> : fracción de volatilización de fertilizantes sintéticos	Fracción de volatilización dada por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC en el Volumen 4, Capítulo 11, ver cuadro A1.4. del Anexo 1.
0.010 kg N <sub>2</sub> O-N / kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> -N volatilized	FE <sub>Volat.</sub> : factor de emisión por volatilización de N.	Factor de emisión por volatilización dado por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC en el Volumen 4, Capítulo 11, ver cuadro A1.4. del Anexo 1.

0.24 kg N /kg N applied	Frac <sub>Lix</sub> : fracción de pérdidas de N por lixiviación/escorrentía	Fracción de lixiviación/escorrentía dada por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC en el Volumen 4, Capítulo 11, ver cuadro A1.4. del Anexo 1.
0.011 kg N <sub>2</sub> O-N /kg N	FE <sub>Lix</sub> : factor de emisión por lixiviación/escorrentía	Factor de emisión por lixiviación dado por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC en el Volumen 4, Capítulo 11, ver cuadro A1.4. del Anexo 1.

**Paso 6.** Obtener las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por volatilización en CO<sub>2</sub> equivalente; para esto se debe multiplicar el nitrógeno total, la fracción de volatilización, el factor de emisión, el potencial de calentamiento global del óxido nitroso ([Anexo 2](#)), y la relación de 44/28, para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a N<sub>2</sub>O. Aplicar la ecuación 2.6.7a1.

Ecuación 2.6.7a1

$$\begin{aligned}
 & \text{Emisiones por volat.fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = \\
 & 864 \text{ kg N} \times 0.11 \text{ kg NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N/kg N aplicado} \times 0.010 \text{ kg N}_2\text{O-N/kg NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N} \\
 & \text{N volatilizado} \times \frac{44}{28} \times 310 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} = \\
 & \text{Emisiones por volat.fertilizantes} = (\text{t CO}_2\text{ e)} = \mathbf{0,463 \text{ t CO}_2\text{ e}}
 \end{aligned}$$

**Paso 7.** Obtener las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por lixiviación en CO<sub>2</sub> equivalente; para esto se debe multiplicar el nitrógeno total, la fracción de lixiviación, el factor de emisión, el potencial de calentamiento global del óxido nitroso ([Anexo 2](#)), y la relación de 44/28, para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a N<sub>2</sub>O. Aplicar la ecuación 2.6.7a2

**Ecuación 2.6.7a2**

$$\begin{aligned}
 & \text{Emisiones por lixiv.fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = \\
 & 864 \text{ kg N} \times 0.24 \text{ kg N / kg N aplicado} \times 0.011 \text{ kg N}_2\text{O-N / kg N} \times \frac{44}{28} \times 310 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} = \\
 & \text{Emisiones por lixiv.fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = \mathbf{1,112 \text{ t CO}_2\text{ e}}
 \end{aligned}$$

**Paso 8.** Para obtener las toneladas totales de CO<sub>2</sub>e de la fuente de emisión por uso de fertilizantes sintéticos, se procede a sumar las emisiones directas de N<sub>2</sub>O, por volatilización y por lixiviación. Aplicar la ecuación 2.6.7a3.

**Ecuación 2.6.7a3**

$$\text{Emisiones totales por fert. (t CO}_2\text{ e)} = 4,209 \text{ t CO}_2\text{ e} + 0.463 \text{ t CO}_2\text{ e} + 1,112 \text{ t CO}_2\text{ e} = \mathbf{5,783 \text{ t CO}_2\text{ e}}$$

**Parte II.** Cálculo de emisiones de fertilizantes orgánicos

**Paso 1.** Como parte de un plan de mejora en finca, en el año 2022 se aplicó un total de 1 500 kg de compost como enmienda orgánica, el cual se describe a continuación:

Tipo	Fertilizante	Nitrógeno (%)	Estado	Cantidad aplicada
Orgánico	Compost	2 %	Sólido	1500 kg

**Paso 2.** Estimar el nitrógeno total aplicado, utilizando la cantidad total de fertilizante aplicado y el contenido de nitrógeno:

$$kg N = 1\,500\,kg_{total\ de\ fert.} \times 2\% N = 30\,kg\ N$$

**Paso 3.** Identificar el FE para emisiones directas de N<sub>2</sub>O para fertilizantes o enmiendas orgánicas. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no estar disponible, se puede utilizar el FE recomendado por el IPCC ([Anexo 1](#)).

FE	Tipo	Referencia
0,010 $\frac{kg\ N_2O - N}{kg\ N}$	FE para adiciones N de fertilizantes sintéticos, enmiendas orgánicas y residuos de cultivos	Factor de emisión agregado dado por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC en el Volumen 4, Capítulo 11, ver cuadro A1.3., en Anexo 1.

**Paso 4.** Obtener las emisiones directas de N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente; para esto se debe multiplicar el nitrógeno total, el factor de emisión, el potencial de calentamiento global del óxido nitroso ([Anexo 2](#)), y la relación de 44/28, para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a N<sub>2</sub>O. Aplicar la ecuación 2.6.7a.

#### Ecuación 2.6.7a

$$Emisiones\ directas\ fertilizantes\ (t\ CO_2\ e) = 30\,kg\ N \times 0.010 \frac{kg\ N_2O - N}{kg\ N} \times \frac{44}{28} \times 310 \times \frac{1t}{1\,000\,kg} =$$

$$Emisiones\ directas\ fertilizantes\ (t\ CO_2\ e) = 0,146\ t\ CO_2\ e$$

**Paso 5.** Identificar los factores de emisión y fracciones para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O por volatilización y lixiviación o escorrentía de la aplicación de fertilizantes orgánicos o enmiendas. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no estar disponible, la empresa puede utilizar los FE recomendados por el IPCC ([Anexo 1](#)).

Fracción de nitrógeno / FE	Tipo	Referencia
0.21 kg NH <sub>3</sub> - N + NO <sub>x</sub> -N /kg N aplicado	Frac <sub>Volat</sub> : fracción de volatilización de nitrógeno de fertilizantes orgánicos	Fracción de volatilización dada por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver Cuadro A1.4. del Anexo 1.
0.010 kg N <sub>2</sub> O-N/kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> - N volatilizado	FE <sub>Volat</sub> : factor de emisión por volatilización de N.	Factor de emisión por volatilización dado por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver Cuadro A1.4. del Anexo 1.
0.24 kg N /kg N aplicado	Frac <sub>Lix</sub> : fracción de pérdidas de N por lixiviación/escorrentía	Fracción de lixiviación o escorrentía dada por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver Cuadro A1.4. del Anexo 1.
0.011 kg N <sub>2</sub> O-N /kg N	FE <sub>Lix</sub> : factor de emisión por lixiviación/escorrentía	Factor de emisión por lixiviación dado por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver Cuadro A1.4. del Anexo 1.

**Paso 6.** Obtener las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por volatilización en CO<sub>2</sub> equivalente. Para esto, se debe multiplicar el nitrógeno total, la fracción de volatilización, el factor de emisión, el potencial de

calentamiento global del óxido nitroso ([Anexo 2](#)), y la relación de 44/28, para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a N<sub>2</sub>O. Utilice la ecuación 2.6.7a1.

#### Ecuación 2.6.7a1

$$\begin{aligned} & \text{Emisiones por volat.fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = \\ & 30 \text{ kg N} \times 0.21 \text{ kg NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N/kg N aplicad} \times 0.010 \text{ kg N}_2\text{O} - \text{N/kg NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N} \\ & \text{N volatilizado} \times \frac{44}{28} \times 310 \times \frac{1 \text{ t}}{1\,000 \text{ kg}} = \\ & \text{Emisiones por volat.fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = \mathbf{0,031 \text{ tCO}_2\text{ e}} \end{aligned}$$

**Paso 7.** Obtener las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por lixiviación en CO<sub>2</sub> equivalente. Para esto, se debe multiplicar el nitrógeno total, la fracción de lixiviación, el factor de emisión, el potencial de calentamiento global del óxido nitroso ([Anexo 2](#)), y la relación de 44/28, para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a N<sub>2</sub>O. Utilice la ecuación 2.6.7a2.

#### Ecuación 2.6.7a2

$$\begin{aligned} & \text{Emisiones lixiv.fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = \\ & 30 \text{ kg N} \times 0.24 \text{ kg N /kg N aplicado} \times 0.011 \text{ kg N}_2\text{O} - \text{N /kg N} \times \frac{44}{28} \times 310 \times \frac{1 \text{ t}}{1\,000 \text{ kg}} = \\ & \text{Emisiones por lixiv.fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = \mathbf{0.039 \text{ t CO}_2\text{ e}} \end{aligned}$$

**Paso 7.** Para obtener las toneladas totales de CO<sub>2</sub>e de la fuente de emisión por uso de fertilizantes sintéticos, se procede a sumar las emisiones directas de N<sub>2</sub>O, por volatilización y por lixiviación. Utilice la ecuación 2.6.7a3.

#### Ecuación 2.6.7a3

$$\begin{aligned} & \text{Emisiones totales por fertilizantes (t CO}_2\text{ e)} = 0.146 \text{ t CO}_2\text{ e} + 0.031 \text{ t CO}_2\text{ e} + 0.039 \text{ t CO}_2\text{ e} = \\ & \mathbf{0.216 \text{ t CO}_2\text{ e}} \end{aligned}$$

## 2.6.8 CO<sub>2</sub> por urea

Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Aplicación de urea (CO <sub>2</sub> )	✓		*				

**Nota:** \*Si bien producto de la aplicación de urea también se estiman emisiones de N<sub>2</sub>O por el aporte de nitrógeno en suelo, en esta sección solo se estiman las emisiones de CO<sub>2</sub> y las emisiones de N<sub>2</sub>O de la urea se calculan mediante la orientación de la sección 2.6.7. Uso de fertilizantes nitrogenados.

La aplicación de urea en los suelos durante la fertilización conduce a una pérdida de CO<sub>2</sub> que se fijó en el proceso de producción industrial de dicha urea. La urea [CO(NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>] se convierte en

amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), ion hidroxilo (OH<sup>-</sup>) y bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>) en presencia de agua y de enzimas de ureasa. De manera similar a la reacción del suelo cuando se le agrega cal, el bicarbonato que se

forma se convierte en CO<sub>2</sub> y agua (IPCC, 2006). Dado lo anterior, en esta sección se brinda orientación para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> que se producen por la aplicación de urea, además de la medición de las emisiones de N<sub>2</sub>O, las cuales se calculan en la sección anterior (2.6.7).

### 2.6.8.A Método de cálculo

A continuación, se describe el método de cálculo para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> por urea:

#### Ecuación 2.6.8a

$$\text{Emisiones CO}_2 \text{ de la urea (t CO}_2\text{e): } DA \times FE_{\text{urea}} \times (44/12) \times PCG \times FC$$

#### Donde:

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de urea aplicada (kg de urea).

**FE<sub>urea</sub>:** factor de emisión de CO<sub>2</sub> (kg CO<sub>2</sub>-C/kg urea).

**(44/12):** se utiliza la relación de 44/12 para convertir las emisiones de CO<sub>2</sub>-C a emisiones de CO<sub>2</sub>.

**PCG:** potencial de calentamiento global del CO<sub>2</sub>.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

### 2.6.8.B Recolección de información

**Dato de actividad:** se requiere obtener la cantidad total de kilogramos de urea aplicada en el suelo. La empresa puede obtener esta información a partir de facturas de compra, registros internos de inventario, requisiciones, entre otros.

A continuación, se describe un ejemplo de la recopilación de datos que debe realizarse para obtener el dato de actividad.

Tipo	Presentación	Cantidad aplicada
Urea	45 kg por saco	60 sacos

Con la información recopilada como en el ejemplo anterior se procede a obtener el dato de actividad requerido en la fórmula de cálculo de la siguiente manera:

$$DA \text{ (kg urea)} = \text{Cantidad sacos aplicados} \times \text{presentación}$$

#### Ejemplo:

$$DA \text{ (kg urea)} = 60 \text{ sacos} \times 45 \text{ kg /saco} = 2\,700 \text{ kg urea}$$

**Factor de emisión:** Se cuenta con un factor de emisión por defecto dado por las directrices del IPCC, el cual es equivalente al contenido de carbono de la urea sobre la base de su peso atómico. Para ver referencias de factores de emisión ver [Anexo 1](#).

A continuación, se muestra un ejemplo para calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> por fertilización con urea.



## Recomendación:

- Tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.

### Ejemplo: cálculo de emisiones de CO<sub>2</sub> por fertilización con urea

**Paso 1.** Durante el periodo evaluado, se aplicaron en finca 60 sacos de urea de 45 kg cada uno. Para estimar las emisiones asociadas se debe calcular el total de kilogramos de urea aplicada en el periodo:

Tipo	Presentación	Cantidad aplicada
Urea	45 kg/saco	60 sacos

$$\text{Aplicación total de urea (kg urea)} = 60 \text{ sacos} \times 45 \frac{\text{kg}}{\text{saco}} = 2\,700 \text{ kg urea}$$

**Paso 2.** Identificar el factor de emisión más apropiado. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no tener disponible, la empresa puede utilizar el FE dado por el IPCC ([Anexo 1](#)).

FE	Valor	Referencia
FE de CO <sub>2</sub> de la urea	0,20 $\frac{\text{kg CO}_2\text{-C}}{\text{kg urea}}$	Factor de emisión recomendado por el IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver Cuadro A1.1.

**Paso 3.** Calcular las emisiones de CO<sub>2</sub> multiplicando la cantidad total de urea aplicada, el factor de emisión de urea, la relación de 44/12 para convertir las emisiones de CO<sub>2</sub>-C a emisiones de CO<sub>2</sub> y el potencial de calentamiento global del dióxido de carbono ([Anexo 1](#)). Aplicar la ecuación 2.6.8a:

#### Ecuación 2.6.8a

$$\text{Emisiones por urea (t CO}_2\text{e)} = 2\,700 \text{ kg urea} \times 0,20 \frac{\text{kg CO}_2\text{-C}}{\text{kg urea}} \times \frac{44}{12} \times 1 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}}$$

$$\text{Emisiones por urea (t CO}_2\text{e)} = 1,98 \text{ t CO}_2\text{e}$$

## 2.6.9 Correctores de suelo (encalado)

Categoría:	Directa o indirecta por productos utilizados por la empresa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Encalado del suelo	✓						

La acidez de los suelos (pH bajo), causada por el tipo de suelo o por las características de los componentes aplicados en los fertilizantes (sales ácidas), debe controlarse para favorecer la productividad y fertilidad del suelo. Esto se hace mediante el encalado. El encalado se utiliza para reducir la acidez del suelo y mejorar el crecimiento de las plantas. Agregar carbonatos al suelo en forma de cal (por ejemplo, piedra caliza [CaCO<sub>3</sub>]

o dolomita [CaMg(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>] provoca emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Esto ocurre a medida que los carbonatos se disuelven y liberan bicarbonato (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>), que posteriormente se transforma en CO<sub>2</sub> y agua (H<sub>2</sub>O) (Vallejo *et al.*, 2017).

Sin embargo, los compuestos de cal que contienen óxidos e hidróxidos no generan

emisiones de CO<sub>2</sub>, debido a la ausencia de carbono inorgánico en su estructura. Dado lo anterior, estos compuestos no deben incluirse dentro del inventario de emisiones (Vallejo *et al.*, 2017).

### 2.6.9.A Método de cálculo

A continuación, se describe el método de cálculo para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> por encalado:

#### Ecuación 2.6.9a

$$\text{Emisiones por encalado (t CO}_2\text{e): } DA \times FE_{\text{CO}_2} \times (44/12) \times PCG \times FC$$

#### Donde:

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de cal aplicada (kg de cal).

**FE<sub>CO<sub>2</sub></sub>:** factor de emisión de CO<sub>2</sub> (por ejemplo, kg CO<sub>2</sub>-C/kg Cal).

**(44/12):** se utiliza la relación de 44/12 para convertir las emisiones de CO<sub>2</sub>-C a emisiones de CO<sub>2</sub>.

**PCG:** potencial de calentamiento global del CO<sub>2</sub>.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

### 2.6.9.B Recolección de información

**Dato de actividad:** Se requiere obtener la cantidad total de kilogramos de cal aplicada en suelo y tipo de cal (dolomita o caliza). La cantidad de cal puede obtenerse a partir de facturas de compra, registros internos de inventario, requisiciones, entre otros.

A continuación, se describe un ejemplo de la recopilación de datos que debe realizarse para obtener el dato de actividad.

Tipo cal	Presentación	Cantidad aplicada
Dolomita	45 kg/saco	50 sacos

Con la información recopilada como en el ejemplo anterior se procede a obtener el dato de actividad requerido en la fórmula de cálculo de la siguiente manera:

$$DA \text{ (kg cal)} = \text{Cantidad sacos aplicados} \times \text{presentación}$$

#### Ejemplo:

$$DA \text{ (kg cal)} = 50 \text{ sacos} \times 45 \text{ kg/saco} = 2\ 250 \text{ kg cal dolomita}$$

**Factor de emisión:** La selección de los factores de emisión puede variar según el tipo de cal (dolomita o caliza); por lo tanto, es importante diferenciar el tipo de cal aplicada en la recolección de datos de actividad. Para ver referencias de factores de emisión ver [Anexo 1](#).

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones para la fuente de uso de correctores de suelo (encalado).



## Recomendación:

- Diferenciar el tipo de cal entre dolomita y caliza es importante porque esto permite seleccionar el factor de emisión apropiado para el cálculo de emisiones.
- Tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.

## Ejemplo: cálculo de emisiones del encalado de suelos

**Paso 1.** Durante el año 2022, se aplicaron en finca 20 sacos de cal dolomita de 45 kg cada uno, y 30 sacos de piedra caliza de 45 kg cada uno. Para estimar las emisiones asociadas en este caso, se debe calcular el total de kilogramos de cada tipo de cal aplicado.

Tipo cal	Presentación	Cantidad aplicada
Dolomita	45 kg/saco	20 sacos
Caliza	45 kg/saco	30 sacos

$$\text{Aplicación total de cal dolomita (kg Cal}_d) = 20 \text{ bags} \times 45 \frac{\text{kg}}{\text{saco}} = 900 \text{ kg Cal}_d$$

$$\text{Aplicación total de caliza (kg Cal}_c) = 30 \text{ bags} \times 45 \frac{\text{kg}}{\text{saco}} = 1\,350 \text{ kg Cal}_c$$

**Paso 2.** Identificar los factores de emisión más apropiados para aplicación de cal dolomita y piedra caliza. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país y tipo de cal, pero en caso de no estar disponible, la empresa puede utilizar el FE recomendado por el IPCC ([Anexo 1](#)).

Tipo de cal	FE	Referencia
Dolomita	$0,13 \frac{\text{kg CO}_2\text{-C}}{\text{kg Cal}_d}$	Factores de emisión recomendados por el IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver Cuadro A1.1.
Caliza	$0,12 \frac{\text{kg CO}_2\text{-C}}{\text{kg Cal}_c}$	

**Paso 3.** Multiplicar la cantidad total de cada tipo de cal aplicado por el factor de emisión de cal respectivo, por la relación de 44/12 para convertir las emisiones de CO<sub>2</sub>-C a emisiones de CO<sub>2</sub> y por el potencial de calentamiento global del CO<sub>2</sub> ([Anexo 2](#)). Utilizar la ecuación 2.6.9a.

### Ecuación 2.6.9a

$$\text{Emisiones por uso de cal dolomita (t CO}_2\text{e)} = 900 \text{ kg Cal}_d \times 0,13 \frac{\text{kg CO}_2\text{-C}}{\text{kg Cal}_d} \times \frac{44}{12} \times 1 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}}$$

$$\text{Emisiones uso cal dolomita (t CO}_2\text{e)} = 0,429 \text{ t CO}_2\text{e}$$

$$\text{Emisiones por uso de caliza (t CO}_2\text{e)} = 1\,350 \text{ kg Cal}_c \times 0,12 \frac{\text{kg CO}_2\text{-C}}{\text{kg Cal}_c} \times \frac{44}{12} \times 1 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}}$$

$$\text{Emisiones por uso de caliza (t CO}_2\text{e)} = 0,594 \text{ t CO}_2\text{e}$$

**Paso 4.** Sumar las emisiones por piedra caliza y dolomita para obtener el total de emisiones por encalado.

$$\text{Emisiones por encalado (t CO}_2\text{e)} = 0,429 \text{ t CO}_2\text{e} + 0,594 \text{ t CO}_2\text{e} = 1,023 \text{ t CO}_2\text{e}$$

## 2.6.10 Manejo de rastrojo

Categoría:	Directa o indirecta por productos utilizados por la empresa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Manejo de rastrojo	✓	✓	✓				

El rastrojo en el cultivo de piña se refiere a los residuos vegetales que quedan en el campo después de la cosecha de las plantas de piña. Estos residuos lo conforman las hojas, tallos y otras partes de las plantas no utilizadas. Si bien la generación de rastrojo depende de la forma del manejo del cultivo de cada finca, en promedio las plantaciones de piña son renovadas cada dos años para iniciar un nuevo ciclo de producción, lo que produce una gran cantidad de rastrojo que debe ser manejado y que genera emisiones de gases de efecto invernadero.

A continuación, se describen las formas más comunes de manejo del rastrojo en campo:

**Manejo en verde:** consiste en cortar o triturar las plantas después de la cosecha y reincorporar los residuos al suelo.

**Manejo con quema química:** implica la aplicación de un químico para acelerar la descomposición del rastrojo y posteriormente reincorporarlo al suelo.

**Manejo con quema química y fuego:** en este caso, primero se aplica un químico y luego se quema el rastrojo con fuego.

**Fosas de disposición de rastrojo en campo:** consiste en abrir una fosa en la tierra para verter el rastrojo en verde y posteriormente cubrir con tierra. Este método de disposición no es frecuente y se aplica principalmente cuando se presentan brotes de la mosca de la fruta de piña. Es importante tener en cuenta que los cuatro métodos mencionados anteriormente generan emisiones de GEI. El Cuadro 5 describe algunas consideraciones en el cálculo de emisiones según el método de manejo de rastrojo.

**Cuadro 5.** Consideraciones de cálculo según el método de manejo de rastrojo de piña

Tipo de manejo	Comentarios
Manejo en verde	<ul style="list-style-type: none"> <li>El CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> se estiman utilizando factores de emisión de referencia específicos por tipo de método.</li> <li>El N<sub>2</sub>O se estima por aporte de N en suelo, según metodología del IPCC.</li> </ul>
Manejo con quema química	<ul style="list-style-type: none"> <li>El CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> se estiman utilizando factores de emisión de referencia específicos por tipo de método.</li> <li>El N<sub>2</sub>O se estima por aporte de N en suelo, según metodología del IPCC.</li> </ul>
Manejo con quema química y fuego	<ul style="list-style-type: none"> <li>El CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> se estiman utilizando factores de emisión de referencia específicos por tipo de método.</li> <li>El N<sub>2</sub>O se estima por combustión de residuos agrícolas en campo, según metodología del IPCC.</li> </ul>
Fosas de disposición de rastrojo en campo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Se estiman las emisiones de CH<sub>4</sub> bajo condiciones anaeróbicas, siguiendo el modelo de primer orden del IPCC para sitios de eliminación de desechos y utilizando parámetros por defecto.</li> </ul>

## 2.6.10.A Método de cálculo

### **Emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> por manejo en verde, quema química, y quema química más fuego**

A continuación, se describe el método de cálculo para estimar las emisiones de CO<sub>2</sub> y CH<sub>4</sub> por manejo de rastrojo, incluyendo el manejo en verde, la quema química, y la quema química más fuego:

#### **Ecuación 2.6.10a**

$$\text{Emisiones manejo rastrojo (t CO}_2\text{e): } DA \times FE \times PCG \times FC$$

#### **Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por manejo de rastrojo.

**DA:** dato de actividad relacionado a la cantidad de hectáreas por tipo de manejo (ha).

**FE:** factor de emisión por tipo de manejo (por ejemplo, kg GEI/ha/año).

**PCG:** potencial de calentamiento global por tipo de GEI evaluado.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

### **Emisiones de N<sub>2</sub>O por manejo en verde y la quema química**

Para determinar emisiones de N<sub>2</sub>O de adiciones de nitrógeno en suelo provenientes del manejo de rastrojo en verde y quema química, la empresa debe calcular:

- las emisiones directas de N<sub>2</sub>O;
- las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por volatilización (pérdidas de nitrógeno por volatilización) y lixiviación (lavado o arrastre del aporte de nitrógeno por precipitación o riego), y
- las emisiones por el uso de fertilizantes nitrogenados.

A continuación, se describen los métodos de cálculo correspondientes para cada uno de estos tipos de emisiones.

Cálculo del dato de actividad para el cálculo de las emisiones directas e indirectas

#### **Ecuación 2.6.10b**

$$DA \text{ (kg N/año): } \text{kg rastrojo/año} - (\text{kg rastrojo/año} \times \% \text{ humedad}) \times \% N$$

#### **Donde:**

**DA:** dato de actividad relacionado a la cantidad de nitrógeno aportado al suelo por incorporación de rastrojo en suelo, en kilogramos de nitrógeno al año

**kg rastrojo/año:** cantidad de rastrojo manejado en el periodo de inventario. Ver ejemplo, en el paso 1 de la parte II del ejemplo de cálculo al final de este módulo.

**% humedad:** porcentaje de humedad en el rastrojo. El porcentaje de humedad se resta cuando el porcentaje de nitrógeno está dado en base seca; sin embargo, si el porcentaje de nitrógeno está en base húmeda, entonces no es necesario restar la humedad.

**% N:** porcentaje de nitrógeno en el rastrojo.

### **Emisiones directas de rastrojo**

#### **Ecuación 2.6.10b1**

$$\text{Emisiones directas de rastrojo (t CO}_2\text{e): } DA \times FE_{N_2O} \times (44/28) \times PCG \times FC$$

#### **Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de nitrógeno incorporado (kg N/año). Ver ecuación 2.6.10b.

**FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>:** factor de emisión de N<sub>2</sub>O (por ejemplo, kg N<sub>2</sub>O-N/kg N).

**(44/28):** se utiliza la relación de 44/28 para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O.

**PCG:** potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

### **Emissiones indirectas de N<sub>2</sub>O por volatilización**

#### **Ecuación 2.6.10b2**

*Emissiones indirectas por volat. en el rastrojo (t CO<sub>2</sub>e):*  $DA \times \text{Frac}_{\text{Volat}} \times FE_{\text{N}_2\text{O}} \times (44/28) \times PCG \times FC$

#### **Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por volatilización del N.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de nitrógeno aplicado en suelo (kg N/año). Ver ecuación 2.6.10b.

**FracVolat:** fracción de N que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub> (kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N/kg N aplicado).

**FEN<sub>2</sub>O:** factor de emisión correspondiente a las emisiones de N<sub>2</sub>O por volatilización (por ejemplo, kg N<sub>2</sub>O-N / kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N volatilizado).

**(44/28):** relación de 44/28 para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O.

**PCG:** potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

### **Emissiones indirectas de N<sub>2</sub>O por lixiviación**

#### **Ecuación 2.6.10b3**

*Emissiones indirectas por lixiv. de rastrojo (t CO<sub>2</sub>e):*  $DA \times \text{Frac}_{\text{Lix}} \times FE_{\text{N}_2\text{O}} \times (44/28) \times PCG \times FC$

#### **Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por lixiviación del N.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de nitrógeno incorporado en suelo (kg N/año). Ver ecuación 2.6.10b.

**Frac<sub>Lix</sub>:** fracción de N que se pierde por lixiviación (kg N/kg N aplicado).

**FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>:** factor de emisión correspondiente a las emisiones de N<sub>2</sub>O por lixiviación (por ejemplo, kg N<sub>2</sub>O-N/kg N lixiviado).

**(44/28):** relación de 44/28 para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O.

**PCG:** potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

Una vez que la empresa haya obtenido las toneladas de CO<sub>2</sub>e provenientes del aporte de nitrógeno del rastrojo en suelo, se procede a calcular las emisiones totales realizando la sumatoria de los resultados de t CO<sub>2</sub>e de cada ecuación, tal como se observa en la ecuación 2.6.10b4

#### **Ecuación 2.6.10b4**

*Emissiones totales de N<sub>2</sub>O-Rastrojo (t CO<sub>2</sub>e):*  $t \text{CO}_2\text{e} (\text{directas}) + t \text{CO}_2\text{e} (\text{volat.}) + t \text{CO}_2\text{e} (\text{lixiv.})$

#### **Donde:**

**Emissiones totales de N<sub>2</sub>O-Rastrojo:** total de emisiones de N<sub>2</sub>O del aporte de nitrógeno por rastrojo reincorporado en suelo, en t CO<sub>2</sub>e.

**t CO<sub>2</sub>e (directas):** toneladas de dióxido de carbono equivalente directas de N<sub>2</sub>O.

**t CO<sub>2</sub>e (volat):** toneladas de dióxido de carbono equivalente de la volatilización.

**t CO<sub>2</sub>e (lixiv):** toneladas de dióxido de carbono equivalente de lixiviación/escorrentía.

### **Emissiones de N<sub>2</sub>O por quema con fuego**

Para determinar emisiones de N<sub>2</sub>O de la quema con fuego de rastrojo de piña, se utiliza la siguiente metodología, basado en referencias del IPCC para residuos agrícolas (IPCC, 2006).

#### **Ecuación 2.6.10c**

*Emissiones por fuego-rastrojo (t CO<sub>2</sub>e):*  $A \times M \times C \times FE_{\text{N}_2\text{O}} \times 10^{-3} \times PCG$

#### **Donde:**

**Emissiones por fuego-rastrojo:** emisiones por quema de rastrojo de piña en t CO<sub>2</sub>e.

**A:** superficie de área quemada, en ha.

**M:** masa de combustible (biomasa) disponible para la combustión, en t/ha. Dado que el FE está dado por kilogramo de materia seca, se

debe determinar la masa disponible de materia seca para la combustión mediante la ecuación 2.6.10c1.

**C:** factor de combustión, sin dimensión. El factor de combustión es una medida de la proporción del combustible que realmente se quema. Se propone como valor por defecto 0,80, que corresponde al promedio del valor de referencia para residuos agrícolas de cultivos tales como caña de azúcar, maíz y arroz, los cuales son los únicos cultivos disponibles en la referencia del IPCC utilizada.

**FE<sub>N2O</sub>:** factor de emisión, g N<sub>2</sub>O/kg de materia seca quemada proveniente de residuos agrícolas, ver Cuadro A1.6. en [Anexo 1](#).

**PCG:** potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O.

#### Ecuación 2.6.10c1

$$M \text{ (t m.s./ha):}$$

$$t \text{ rastrojo/ha} - (t \text{ rastrojo/ha} \times \% \text{ humedad})$$

Donde:

**M:** masa de combustible (biomasa) disponible para la combustión, expresadas como toneladas de materia seca por hectárea, t m.s./ha.

**t rastrojo/ha:** cantidad de toneladas de rastrojo en verde generado por hectárea.

**% humedad:** porcentaje de humedad en el rastrojo.

#### Emisiones de CH<sub>4</sub> por fosas en campo

A continuación, se describe el método de cálculo para estimar emisiones de CH<sub>4</sub> por manejo de rastrojo en fosas (IPCC, 2006):

#### Ecuación 2.6.10d

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ por rastrojo-Fosas (t CO}_2\text{e):}$$

$$CH_{4 \text{ generado } t} \times (1 - OX) \times PCG \times FC$$

Donde:

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por manejo de rastrojo en fosas.

**CH<sub>4</sub> generado:** metano emitido durante el año de inventario, en kg.

**OX:** factor de oxidación durante el año de inventario (fracción), 0,1 por defecto para fosas gestionadas cubiertas con suelo.

**PCG:** potencial de calentamiento global del CH<sub>4</sub>.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

#### Cálculo de CH<sub>4</sub> generado por el material en descomposición

#### Ecuación 2.6.10d1

$$CH_{4 \text{ generado}} \text{ (kg CH}_4\text{):}$$

$$DDOC_{m \text{ descomp } t} \times F \times (16/12)$$

Donde:

**CH<sub>4</sub> generado:** cantidad de CH<sub>4</sub> generado a partir del material en descomposición en el año de inventario, en kg.

**DDOC<sub>m descomp</sub>:** cantidad de CH<sub>4</sub> descompuesto durante el año del inventario, en kg.

**F:** fracción volumétrica de CH<sub>4</sub> en el gas de vertedero generado (fracción). **Nota:** Al ser un sitio de disposición no controlado y no contar con eliminación de gas, no se considera en la ecuación.

**(16/12):** cociente de pesos moleculares CH<sub>4</sub>/C (cociente).

#### Cantidad de CH4 descompuesto

#### Ecuación 2.6.10d2

$$DDOC_{m \text{ descomp}} \text{ (kg): } DDOC_m \times (1 - e^{-k})$$

Donde:

**DDOC<sub>m descomp</sub>:** cantidad de CH<sub>4</sub> descompuesto durante el año del inventario, en kg.

**DDOC<sub>m</sub>:** masa del carbono orgánico degradable disuelto (DDOC) depositado, en kg.

**k:** constante de reacción, k=0,17. Para efectos de esta guía se tomará el valor de k para climas tropicales húmedos y para residuos de degradación moderada, que incluye residuos orgánicos.



## Para considerar:

- Para efectos del cálculo de emisiones de N<sub>2</sub>O por aporte de nitrógeno al suelo del rastrojo, se considera solo la reincorporación de rastrojo en verde y rastrojo quemado químicamente.
- Para efectos del cálculo de emisiones de N<sub>2</sub>O del rastrojo que se quema con fuego, se considera solo el manejo de rastrojo con quema química y fuego.
- Tabula la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.
- La información sobre el porcentaje de nitrógeno en el rastrojo y el porcentaje de humedad, preferiblemente se debe obtener de un análisis de laboratorio. Asimismo, se recomienda diferenciar si los resultados están dados en base seca o base húmeda.
- En caso de no contar con análisis de nitrógeno en rastrojo y humedad, se pueden utilizar referencias teóricas.

### Cantidad de masa de DDOC depositado

#### Ecuación 2.6.10d3

$$DDOC_m \text{ (kg)}: W \times DOC \times DOC_f \times MCF$$

#### Donde:

**DDOC<sub>m</sub>**: masa de carbono orgánico degradable disuelto (DDOC) depositado, kg.

**W**: masa de residuos depositados, en kg.

**DOC**: carbono orgánico degradable (DOC) durante el año de deposición, una fracción expresada en kg de C/kg de desechos. **Nota:** Para efectos de esta guía se utilizará un valor por defecto de contenido de DOC de desechos húmedos de 20 %. Este es el valor para desechos de jardines y parques, y es el componente que se asemeja más a los residuos de rastrojo.

**DOC<sub>f</sub>**: fracción del DDOC que puede descomponerse con un valor por defecto recomendado de 0,5.

**MCF**: factor de corrección de CH<sub>4</sub> para la descomposición aeróbica durante el año de deposición (fracción). Para efectos de esta guía se utilizará un valor por defecto de "1", considerando que las fosas de disposición son gestionadas y controladas.

### 2.6.10.B Recolección de información

**Datos de actividad:** Se requiere obtener la cantidad total de ha por tipo de manejo de rastrojo por año para el periodo evaluado. La empresa puede obtener el dato de actividad por medio de georreferenciaciones, plan de cultivo o registros internos de manejo de finca. El Cuadro 6 describe un ejemplo de la recopilación de datos de actividad:

Para obtener la cantidad de kilogramos de nitrógeno incorporado en el suelo proveniente del rastrojo, es necesario tener en cuenta la cantidad total de rastrojo reincorporado en el campo. La



## Recomendación:

La metodología propuesta para determinar emisiones de metano por la disposición de residuos de rastrojo en fosas está basada en las directrices del IPCC (Volumen 5, capítulo 3) y se asume que el total de residuos depositados se descomponen en el año de inventario.

cantidad de rastrojo puede obtenerse a través de registros y controles internos de la empresa sobre el manejo de rastrojo por lote o bloque, así como por medio de la estimación según densidad del cultivo. Adicionalmente se requiere la información del contenido de nitrógeno en el rastrojo para obtener el total de nitrógeno incorporado en el campo y el porcentaje de humedad.

**Cuadro 6.** Ejemplo recopilación de datos manejo de rastrojo

Periodo	Tipo de manejo de rastrojo	ha o kg
2022	Manejo en verde	250 ha
2022	Quema química	300 ha
2022	Quema química más fuego	100 ha
2022	Fosas de disposición	15 000 kg

**Factores de emisión:** La selección de los factores de emisión varía según el tipo de manejo de rastrojo, por eso es importante diferenciar la

cantidad de ha y cantidad de residuos por tipo de manejo de rastrojo en finca.

Para el caso de emisiones de  $N_2O$  por aporte de nitrógeno en suelo por medio del rastrojo; la selección de los factores de emisión por tipo de emisión (directa e indirecta por volatilización o lixiviación) y la selección de las fracciones de volatilización y lixiviación varían según la fuente de aporte de nitrógeno en suelo. Por este motivo, es importante diferenciar los datos de actividad asociados a reincorporación de rastrojo en campo, de otros aportes de nitrógeno.

Los factores de emisión también pueden seleccionarse entre factores dados por defecto o promedio como los factores agregados o factores de emisión más específicos por tipo de clima o tipo de fuente de nitrógeno, es decir, factores de emisión desagregados. Consultar el [Anexo 1](#) para consultar las referencias de factores de emisión.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones para la fuente de manejo de rastrojo.

## Parte I.

### Ejemplo: cálculo de emisiones de $CO_2$ y $CH_4$ por manejo de rastrojo

**Paso 1.** Durante el año 2022 como parte de la renovación de cultivo en diferentes secciones de la finca, se realizó tres tipos de manejo de rastrojo en la siguiente cantidad de hectáreas:

Periodo	Tipo manejo de rastrojo	ha
2022	Manejo en verde	250 ha
2022	Quema química	300 ha
2022	Quema química más fuego	100 ha

**Paso 2.** Identificar los factores de emisión por tipo de manejo de rastrojo. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no contar con factores disponibles, la empresa puede utilizar los FE recomendados en el Anexo 1.

Tipo de manejo rastrojo	FE $CH_4$ Kg $CH_4$ /ha/año	FE $CO_2$ kg $CO_2$ /ha/año
Manejo en verde	926,42	1 541,76
Quema química	1 592,30	2 455,72
Quema química más fuego	1 294,81	2 175,96

**Fuente:** Fallas Rojas, T. M. 2019. *Factores de emisión de gases de efecto invernadero según el manejo del rastrojo en el cultivo de piña.* Instituto Tecnológico de Costa Rica.

**Paso 3.** Multiplicar la cantidad total de hectáreas por el factor de emisión por tipo de manejo y por el potencial de calentamiento global del CO<sub>2</sub> ([Anexo 2](#)). Aplicar la ecuación 2.6.10a. Por ejemplo, para el caso del manejo en verde:

#### Ecuación 2.6.10a

$$\text{Emisiones por rastrojo en verde (t CO}_2\text{e) (CH}_4\text{)} = 250 \text{ ha} \times 926.42 \text{ kg CH}_4\text{/ha/año} \times 21 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}}$$

$$\text{Emisiones por rastrojo en verde (t CO}_2\text{e) (CH}_4\text{)} = 4\,863,70 \text{ t CO}_2\text{e}$$

$$\text{Emisiones por rastrojo en verde (t CO}_2\text{e) (CO}_2\text{)} = 250 \text{ ha} \times 1541.76 \text{ kg CO}_2\text{/ha/Año} \times 1 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}}$$

$$\text{Emisiones por rastrojo en verde (t CO}_2\text{e) (CO}_2\text{)} = 385,44 \text{ t CO}_2\text{e}$$

**Paso 4.** Repetir las ecuaciones anteriores para cada tipo de manejo de rastrojo y según los factores de emisión por tipo de manejo.

## Parte II. Cálculo de emisiones de N<sub>2</sub>O por aporte de nitrógeno de rastrojo de pña

**Paso 1.** Como parte del manejo de rastrojo posterior al periodo de cosecha en el año 2022, la empresa reincorporó rastrojo en un área total de 200 ha y cuenta con un promedio de 250 toneladas de rastrojo por hectárea. Asimismo, la empresa realizó una caracterización de varias muestras de rastrojo reincorporado en el 2022 y se obtuvo un promedio de porcentaje de humedad y de porcentaje de nitrógeno total de los análisis correspondientes. Con base en esta información, la empresa determinó el total de nitrógeno incorporado a campo como sigue:

Tipo residuo	Área (ha)	t rastrojo/ha	Total de rastrojo (t)	Total de rastrojo (kg)	Humedad (%)	N (%)	Aporte de N (kg)
Residuo orgánico (rastrojo)	200	250	50 000	50 000 000	83,75 %	1,36 %	110 500 kg (ver fórmula a continuación)

**Paso 2.** Estimar el nitrógeno total aportado, utilizando la cantidad total de rastrojo incorporado a campo, el porcentaje de humedad y el contenido de nitrógeno:

#### Ecuación 2.6.10b

$$\text{kg N} = 50\,000\,000 \text{ kg}_{\text{rastrojo}} - (50\,000\,000 \text{ kg}_{\text{rastrojo}} \times 83,75 \% \text{ humedad}) \times 1,36 \% \text{ N} = 110\,500 \text{ kg N}$$

**Paso 3.** Identificar el factor de emisión para emisiones directas de N<sub>2</sub>O para residuos de cosecha. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no estar disponibles, la empresa puede utilizar el FE recomendado por el IPCC ([Anexo 1](#)).

FE	Tipo	Referencia
0,010 $\frac{\text{kg N}_2\text{O-N}}{\text{kg N}}$	FE para adiciones de N por medio de fertilizantes sintéticos, enmiendas orgánicas y residuos de cultivos.	Factor de emisión agregado dado por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver Cuadro A1.3., del Anexo 1.

**Paso 4.** Obtener las emisiones directas de N<sub>2</sub>O en CO<sub>2</sub> equivalente. Para esto se debe multiplicar el nitrógeno total, el factor de emisión, el potencial de calentamiento global del óxido nitroso ([Anexo 2](#)), y

la relación de 44/28, para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a N<sub>2</sub>O. Aplicar la ecuación 2.6.10b1.

### Ecuación 2.6.10b1

$$\text{Emisiones directas rastrojo (t CO}_2\text{e)} = 110\,500 \text{ kg N} \times 0,010 \frac{\text{kg N}_2\text{O-N}}{\text{kg N}} \times \frac{44}{28} \times 310$$

$$\times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} =$$

$$\text{Emisiones directas rastrojo (t CO}_2\text{e)} = 538,29 \text{ t CO}_2\text{e}$$

**Paso 5.** Identificar los factores de emisión y fracciones para estimar las emisiones de N<sub>2</sub>O por volatilización y lixiviación o escorrentía del aporte de nitrógeno por la reincorporación de rastrojo en campo. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no estar disponible, la empresa puede utilizar los FE recomendados por el IPCC ([Anexo 1](#)).

Frac/FE	Tipo	Referencia
0,21 kg NH <sub>3</sub> -N + NO <sub>x</sub> - N/kg N aplicado	Frac <sub>Volat</sub> : fracción de volatilización de nitrógeno de fertilizantes orgánicos	Fracción de volatilización dada por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver cuadro A1.4. del Anexo 1.
0,010 kg N <sub>2</sub> O-N/kg NH <sub>3</sub> - N volatilizado	FE <sub>Volat</sub> : factor de emisión por volatilización de N.	Factor de emisión por volatilización dado por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver cuadro A1.4. del Anexo 1.
0,24 kg N/kg N aplicado	Frac <sub>Lix</sub> : fracción de pérdidas de N por lixiviación/escorrentía	Fracción de lixiviación/escorrentía dada por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver cuadro A1.4. del Anexo 1.
0,011 kg N <sub>2</sub> O-N/kg N	FE <sub>Lix</sub> : factor de emisión por lixiviación/escorrentía	Factor de emisión por lixiviación dado por defecto por el Refinamiento 2019 del IPCC (Volumen 4, Capítulo 11). Ver cuadro A1.4. del Anexo 1.

**Paso 6.** Obtener las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por volatilización en CO<sub>2</sub> equivalente. Para esto, se debe multiplicar el nitrógeno total, la fracción de volatilización, el factor de emisión, el potencial de calentamiento global del óxido nitroso ([Anexo 2](#)), y la relación de 44/28, para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a N<sub>2</sub>O. Utilice la ecuación 2.6.10b2.

### Ecuación 2.6.10b2

$$\text{Emisiones indirectas por volat. rastrojo (t CO}_2\text{e)} =$$

$$110\,500 \text{ kg N} \times 0,21 \text{ kg NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x\text{-N/kg N aplicado} \times 0,010 \text{ kg N}_2\text{O-N/kg NH}_3\text{-N} + \text{NO}_x$$

$$\text{-N volatilizado} \times \frac{44}{28} \times 310 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} =$$

$$\text{Emisiones indirectas por volat. rastrojo (t CO}_2\text{e)} = 113,04 \text{ t CO}_2\text{e}$$

**Paso 7.** Obtener las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O por lixiviación en CO<sub>2</sub> equivalente. Para ello, se debe multiplicar el nitrógeno total, la fracción de lixiviación, el factor de emisión, el potencial de calentamiento global del óxido nitroso ([Anexo 2](#)), y la relación de 44/28, para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a N<sub>2</sub>O. Utilice la ecuación 2.6.10b3.

### Ecuación 2.6.10b3

*Emisiones lixiv.rastrojo (t CO<sub>2</sub>e) =*

$$110\,500 \text{ kg N} \times 0,24 \text{ kg N /kg N aplicado} \times 0,011 \text{ kg N}_2\text{O} - \text{N /kg N} \times \frac{44}{28} \times 310 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} =$$

$$\text{Emisiones lixiv.rastrojo (t CO}_2\text{e)} = 142,10 \text{ t CO}_2\text{e}$$

**Paso 8.** Para obtener las toneladas totales de CO<sub>2</sub>e provenientes de las emisiones relacionadas al rastrojo, se procede a sumar las emisiones directas de N<sub>2</sub>O, y las emisiones indirectas por volatilización y por lixiviación. Utilice la ecuación 2.6.10b4.

### Ecuación 2.6.10b4

*Emisiones totales por residuos de rastrojo (t CO<sub>2</sub>e) =*

$$538,29 \text{ t CO}_2\text{e} + 113,04 \text{ t CO}_2\text{e} + 142,10 \text{ t CO}_2\text{e} = 793,44 \text{ t CO}_2\text{e}$$

## 2.6.11 Disposición de residuos sólidos

Categoría:	Directa o indirecta por productos o servicios utilizados por la empresa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Residuos sólidos ordinarios municipales (relleno sanitario)		✓					
Compostaje de residuos orgánicos		✓	✓				

### 2.6.11.1. Residuos sólidos ordinarios municipales (empaque, oficinas y comedor)

Los residuos sólidos municipales (RSM) contemplan los residuos ordinarios de tipo doméstico generados en oficinas, comedores y plantas empacadoras, entre otros. Las emisiones generadas a partir de estos se dan en las etapas de descomposición en ambientes anaeróbicos (ausencia de oxígeno). En esta sección se consideran los residuos sólidos ordinarios no valorizables que se desechan en rellenos sanitarios (Vallejo *et al.*, 2017).

#### 2.6.11.1.A Método de cálculo

Para el caso de residuos de tipo ordinario no valorizables enviados a rellenos sanitarios, se estiman emisiones de metano por la descomposición de materia orgánica en ambientes anaeróbicos. A continuación, se describe el método de cálculo para determinar las emisiones de metano.

#### Ecuación 2.6.11.1a

$$\text{Emisiones RSM (t CO}_2\text{e)}: DA \times FE_{\text{CH}_4} \times PCG \times FC$$

**Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por disposición de RSM.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de RSM enviados a relleno sanitario (kg de residuos).

**FE<sub>CH<sub>4</sub></sub>:** factor de emisión de CH<sub>4</sub> (por ejemplo, kg CH<sub>4</sub>/kg residuo).

**PCG:** potencial de calentamiento global del CH<sub>4</sub>.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, la conversión de kg o g a toneladas).

### 2.6.11.1.B Recolección de información

**Dato de actividad:** El dato de actividad corresponde a los kilogramos de residuos ordinarios no valorizables enviados al relleno

sanitario. Preferiblemente, la cantidad de residuos se debe obtener por medio de registros y controles internos de pesaje de residuos.

**Factor de emisión:** Para determinar las emisiones se hace uso del factor de emisión para tratamiento y disposición de residuos ordinarios en relleno sanitario, el cual está dado en emisiones de CH<sub>4</sub> por kilogramo de residuo generado. Para ver referencias de factores de emisión ver [Anexo 1](#).

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones por disposición de residuos ordinarios municipales.

#### Ejemplo: cálculo de emisiones de residuos sólidos municipales

**Paso 1.** En una finca piñera ubicada en la zona norte de Costa Rica se generaron y enviaron al relleno sanitario un total de 25 400 kg de RSM durante 2022, el año de estudio. Los desechos fueron generados en oficinas administrativas, los servicios sanitarios y el comedor. Estos residuos fueron entregados al servicio de recolección municipal para disponerse en un relleno sanitario. Para comenzar, la empresa debe identificar el factor de emisión apropiado para este tipo de tratamiento de residuos.

Referencia	
0,0519 $\frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg residuo}}$	Valor específico para Costa Rica (IMN, 2022).

Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no estar disponibles, la empresa puede utilizar un FE de referencias reconocidas.



## Recomendación:

Mantener controles y registros sobre la generación de residuos enviados a relleno sanitario, y conservar dicha información mediante bitácoras o algún otro registro interno.

Conservar las evidencias correspondientes a la cantidad de residuos utilizados en el cálculo de emisiones.

Tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados

**Paso 2.** Multiplicar la cantidad total de RSM generados, el factor de emisión y el potencial de calentamiento global respectivos ([Anexo 2](#)) para obtener las emisiones en equivalente de CO<sub>2</sub>. Aplicar la ecuación 2.6.11.1a.

#### Ecuación 2.6.11.1a

$$\text{Emisiones RSM (t CO}_2\text{e)} = 25\,400 \text{ kg residuos} \times 0,0519 \frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg residuo}} \times 21 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}}$$

$$\text{Emisiones RSM (t CO}_2\text{e)} = 27,68 \text{ kg CO}_2\text{e}$$

### 2.6.11.2 Compostaje de residuos orgánicos

Si bien no es una práctica común en el sector, puede que, como parte de la gestión de residuos se incorpore el proceso de compostaje de residuos orgánicos generados en comedores de la empresa o bien compostaje de residuos de cosecha. El proceso de compostaje de residuos genera emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O). A continuación, se describe el método de cálculo.

#### 2.6.11.2.A Método de cálculo

Para el caso de residuos orgánicos tratados mediante compostaje, se estiman emisiones de CH<sub>4</sub> y de N<sub>2</sub>O. A continuación, se describe el método de cálculo para determinar las emisiones por tipo de GEI.

#### Ecuación 2.6.11.2a

$$\text{Emisiones compostaje (t CO}_2\text{e):}$$

$$DA \times FE_{\text{GEI}} \times PCG \times FC$$

#### Donde:

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por elaboración de compost.

**DA:** dato de actividad relacionado a la masa de residuos incorporados a un proceso de compostaje (kg de residuos).

**FE<sub>GEI</sub>:** factor de emisión por tipo de GEI evaluado (por ejemplo, kg CH<sub>4</sub>/kg residuo o kg N<sub>2</sub>O/kg residuo).

**PCG:** potencial de calentamiento global según el tipo de GEI evaluado.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).



### Recomendación:

- Mantener controles y registros sobre la generación de residuos incorporados al proceso de compostaje, así como conservar dicha información mediante bitácoras o algún otro registro interno.
- Conservar las evidencias correspondientes a la cantidad de residuos utilizados en el cálculo de emisiones.
- En caso de incorporar algún material adicional al proceso de compostaje para el control de humedad, (por ejemplo, pellets, ficha de coco, aserrín, entre otros), éstos deben considerarse como parte de la totalidad de residuos incorporados al proceso de compostaje.
- Tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados

## 2.6.11.2.B Recolección de información



### Importante

Existe referencia de factores de emisión en base húmeda y en base seca, por lo que la selección depende de los datos de actividad, y si la cantidad de residuos se reportan en base seca o base húmeda.

**Dato de actividad:** El dato de actividad corresponde a la cantidad de kilogramos de residuos orgánicos incorporados al proceso de compostaje. Preferiblemente, a cantidad de residuos debe obtenerse de registros y controles internos de pesaje de residuos.

**Factor de emisión:** Para determinar las emisiones de metano y óxido nitroso, se hace uso de los factores de emisión para tratamiento biológico de residuos mediante compost, los cuales están dados en gramos de GEI por kilogramo de residuo generado. Para ver

referencias de los factores de emisión ver [Anexo 1](#).

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones por tratamiento de residuos mediante compost.

### Ejemplo: cálculo de emisiones del compostaje de residuos

**Paso 1.** En una finca piñera se incorporó el compostaje de residuos orgánicos de los comedores como parte del programa de gestión de residuos internos. Durante el año de estudio 2022, se gestionaron 30 000 kg de residuos mediante compostaje. Para estimar las emisiones relacionadas, se deben identificar los factores de emisión (FE) correspondientes al tipo de tratamiento.

FE compost	Referencia
$0,004 \frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg waste}}$	FE publicado por el IMN Costa Rica, ver cuadro A1.1. del Anexo 1. Disponible también en las directrices 2006 del IPCC, (Capítulo 4, Volumen 5). Ver cuadro A1.5. del Anexo 1.
$0,24 \frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{kg waste}}$	FE publicado por el IMN Costa Rica, ver cuadro A1.1. del Anexo 1. Disponible también en las directrices 2006 del IPCC, (Capítulo 4, Volumen 5). Ver cuadro A1.5. del Anexo 1.

Es preferible utilizar los FE específicos publicados para cada país, pero en caso de no estar disponibles, la empresa puede utilizar el FE recomendado por el IPCC ([Anexo 1](#)).

Es importante notar que, si el FE está dado en gramos, este debe convertirse a kilogramos multiplicándolo por 1/1 000 para poder obtener los datos de emisiones en esta unidad.

$$FE_{N_2O \text{ compost}} = 0,24 \frac{\text{g N}_2\text{O}}{\text{kg residuo}} \times \frac{1 \text{ kg}}{1\ 000} = 0,00024 \frac{\text{kg N}_2}{\text{kg waste}}$$

**Paso 2.** Multiplicar la cantidad de residuos por el factor de emisión de compostaje por tipo de GEI y el potencial de calentamiento global por tipo de GEI evaluado ([Anexo 2](#)) para obtener las emisiones en dióxido de carbono equivalente. Utilice la Ecuación 2.6.11.2a por tipo de GEI.

### Ecuación 2.6.11.2a

$$\text{Emisiones por composts (t CO}_2\text{e) (CH}_4\text{)} = 30\,000 \text{ kg residuo} \times 0,004 \frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg residuo}} \times 21 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}}$$

$$\text{Emisiones por compost (t CO}_2\text{e) (CH}_4\text{)} = 2,52 \text{ t CO}_2\text{e}$$

### Ecuación 2.6.11.2a

$$\text{Emisiones por compost (t CO}_2\text{e) (N}_2\text{O)} = 30\,000 \text{ kg residuo} \times 0,00024 \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}} \times 310 \times \frac{1\text{t}}{1\,000 \text{ kg}}$$

$$\text{Emisiones por compost (t CO}_2\text{e) (N}_2\text{O)} = 2,23 \text{ t CO}_2\text{e}$$

**Paso 3.** Para obtener las toneladas totales de CO<sub>2</sub>e de la fuente de emisión por elaboración de compost, se procede a sumar las emisiones provenientes del metano y Óxido nitroso.

$$\text{Emisiones totales por compost (t CO}_2\text{e)} = 2,52 \text{ t CO}_2\text{e} + 2,23 \text{ t CO}_2\text{e} = 4,75 \text{ t CO}_2\text{e}$$

## 2.6.12 Tratamiento de aguas residuales

Categoría:	Directa o indirecta por productos o servicios utilizados por la empresa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Aguas residuales industriales de proceso: durante tratamiento	✓	✓					
Aguas residuales industriales de proceso: vertido en cuerpo receptor	✓	✓					
Aguas residuales industriales de proceso: vertido en el suelo		✓					
Aguas residuales ordinarias: tanque séptico	✓						
Aguas residuales ordinarias: letrinas	✓						

### 2.6.12.1 Aguas residuales del proceso (planta empacadora)

Las aguas residuales industriales (ARI) generadas en la planta empacadora, como resultado del lavado de frutas y la limpieza de la instalación, pueden producir emisiones de metano y óxido nitroso, durante y después del tratamiento, dependiendo del sistema de tratamiento utilizado. Para cumplir con requisitos legales para el vertido de aguas residuales en un cuerpo receptor o su reutilización, es necesario



### Importante

Es importante tomar en cuenta que la generación de emisiones de metano y óxido nitroso durante el tratamiento de las aguas residuales depende del tipo de sistema de tratamiento (aeróbico o anaeróbico). Esto debe ser considerado en la selección del factor de emisión.



## Para considerar:

Si se utiliza el mismo caudal a la entrada y salida del sistema de tratamiento, se puede calcular DQO removido mediante la diferencia de carga orgánica de entrada y salida en unidades de concentración (kg/L).

garantizar parámetros de demanda bioquímica de oxígeno (DBO) y demanda química de oxígeno (DQO) después del tratamiento. Estos parámetros son necesarios para calcular las emisiones de metano. Además, para calcular las emisiones de  $N_2O$ , se requiere información sobre el contenido de nitrógeno total presente en el agua residual.

### 2.6.12.1.A-1 Método de cálculo

**Emisión de metano durante el tratamiento:** para determinar las emisiones de metano durante el tratamiento, se utiliza la siguiente ecuación.

#### Ecuación 2.6.12.1a

$$\text{Emisiones } CH_4 \text{ ARI durante tratamiento (t } CO_2e): DA \times FE_{CH_4} \times PCG \times FC$$

**Donde:**

**t  $CO_2e$ :** toneladas de dióxido de carbono equivalente por tratamiento de aguas residuales.

**DA:** dato de actividad relacionado a la carga orgánica removida durante el tratamiento (kg DQO/año).

**$FE_{CH_4}$ :** factor de emisión de  $CH_4$  durante el tratamiento por tipo de sistema de tratamiento (por ejemplo, kg  $CH_4$ /kg DQO).

**PCG:** potencial de calentamiento global del  $CH_4$ .

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

La siguiente ecuación se utiliza para determinar la carga orgánica removida durante el tratamiento, cuando se tienen mediciones de DQO del agua residual a la entrada del sistema de tratamiento y DQO a la salida del sistema de tratamiento.

#### Ecuación 2.6.12.1a1

$$DA \text{ (kg DQO removido)} = DQO \text{ entrada} - DQO \text{ salida}$$

**Donde:**

**DA:** kg de DQO removido durante el tratamiento por año.

**DQO entrada:** carga orgánica que entra al sistema de tratamiento (kg DQO/año).

**DQO salida:** carga orgánica a la salida del sistema, después del tratamiento (kg DQO/año).

Para determinar la remoción de carga orgánica en masa total de DQO (kg) y no en concentración de DQO (kg/L), por las variaciones que se pueden dar en el caudal de entrada y salida del sistema de tratamiento. La ecuación 2.6.12.1a1, se desagrega de la siguiente manera.

#### Ecuación 2.6.12.1a1 (desagregada)

$$DA \text{ (kg DQO removido)} = (DQO_{\text{entrada}} \times Q_{\text{entrada}}) - (DQO_{\text{salida}} \times Q_{\text{salida}})$$

**Donde:**

**DA:** kg de DQO removido durante el tratamiento por año.

**$DQO_{\text{entrada}}$ :** carga orgánica que entra al sistema de tratamiento, DQO (kg/L).

**$Q_{\text{entrada}}$ :** caudal de agua residual que entra al sistema de tratamiento por año (L/año).

**$DQO_{\text{salida}}$ :** carga orgánica a la salida del sistema, después del tratamiento, DQO (kg/L).

**$Q_{\text{salida}}$ :** caudal de agua residual que sale del sistema de tratamiento (L/año).

Si una empresa no cuenta con datos de DQO a



## Para considerar:

- Normalmente los parámetros de DQO en análisis de laboratorio están dados en mg/L; sin embargo, para efectos del cálculo de emisiones las unidades del parámetro deben utilizarse en kg/L. La empresa deberá utilizar la conversión de unidades de mg a kg.
- En caso de tener más de un análisis por año, se recomienda utilizar el promedio de los parámetros obtenidos en los análisis realizados en el periodo del informe.
- Se estiman emisiones de metano para vertido de aguas residuales tratadas en cuerpos receptores (río, canal, quebrada, lago). Sin embargo, en caso de que las aguas residuales tratadas sean utilizadas para riego, no se consideran emisiones de metano ya que, al momento de elaborar esta guía, las referencias no sugieren una metodología para estimar emisiones de metano por vertido en suelo.
- Se recomienda tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.

la entrada del sistema de tratamiento, pero solo cuenta con datos de salida, se puede estimar el DQO de entrada mediante la siguiente ecuación:

### Ecuación 2.6.12.1a2

$$DQO_{\text{entrada}} = (DQO_{\text{salida}} \times 1/(1-TOW_{\text{Rem}}))$$

#### Donde:

**DQO<sub>entrada</sub>**: carga orgánica en el agua residual de entrada al sistema de tratamiento, DQO (kg/L).

**DQO<sub>salida</sub>**: carga orgánica en el agua residual a la salida del sistema, después del tratamiento, DQO (kg/L).

**TOW<sub>REM</sub>**: fracción de remoción de carga orgánica según tipo de tratamiento (ver Cuadro A1.7. en el [Anexo 1](#)).

**Nota:** los valores de 1 en la ecuación representan el 100 %.

#### Emisión de metano después del tratamiento:

Para determinar las emisiones de metano después del tratamiento, por vertido a un cuerpo receptor, se utiliza la siguiente ecuación:

### Ecuación 2.6.12.1b

$$\text{Emisiones } CH_4 \text{ ARI después Trat. (t } CO_2e): DA \times Q_{\text{vertido}} \times \text{Días}_{\text{vertido}} \times FE_{CH_4} \times PCG \times FC$$

#### Donde:

**t CO<sub>2</sub>e**: toneladas de dióxido de carbono equivalente por vertido de aguas residuales tratadas.

**DA**: dato de actividad relacionado a la carga orgánica en el vertido después del tratamiento (kg DQO/L).

**Q<sub>Annual</sub>**: caudal de agua residual vertida (L/día).

**Días<sub>vertido</sub>**: cantidad de días en el año que hubo vertido de aguas residuales tratadas.

**FE<sub>CH<sub>4</sub></sub>**: factor de emisión de CH<sub>4</sub> después del tratamiento por tipo de vertido (por ejemplo, kg CH<sub>4</sub>/kg DQO).

**PCG**: potencial de calentamiento global del CH<sub>4</sub>.

**FC**: factor de conversión de unidades (por ejemplo, la conversión de kg o g a toneladas).

#### 2.6.12.1.B-1 Recolección de información

**Dato de actividad:** Los datos de actividad relacionados a la **carga orgánica** en las aguas residuales, se deben obtener de análisis de laboratorio realizados para la presentación de reportes operacionales o controles internos de la operación de los sistemas de tratamiento. Los datos de actividad relacionados al **caudal del agua residual cruda o sin tratar** se pueden obtener de datos de consumo de agua de la planta empacadora si se tienen registros de consumo diferenciados, o bien, la empresa

puede realizar una estimación de este valor con datos sobre la capacidad y frecuencia de cambio del agua de pilas de lavado.

Los datos de actividad de **caudal de vertido** se pueden obtener a través de los análisis de muestreos realizados para reportes operacionales o registros internos de medición de caudal de vertido.

**Factores de emisión:** Para el cálculo de emisiones de metano por tratamiento de aguas residuales industriales se deben seleccionar factores de emisión según el tipo o sistema de tratamiento utilizado. El Cuadro 7 presenta los tipos de sistemas de tratamiento considerados en la referencia metodológica.

**Cuadro 7.** Consideraciones de factores de emisión de CH<sub>4</sub> por sistema de tratamiento

Tipo de sistema de tratamiento	Referencia del factor de emisión
Planta de tratamiento aeróbica centralizada	El factor de emisión por defecto es cero. Ver Anexo 1. Cuadro A1.8.
Laguna anaeróbica superficial o laguna facultativa (profundidad menor a 2 metros)	Se cuenta con un factor de emisión por defecto. Ver Anexo 1. Cuadro A1.8.
Laguna anaeróbica profunda (profundidad mayor a 2 metros)	Se cuenta con un factor de emisión por defecto. Ver Anexo 1. Cuadro A1.8.

**Fuente:** Adaptado de IPCC. 2019. *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 5. Desechos. Capítulo 6. Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales. [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html).

Para el cálculo de emisiones después del tratamiento por vertido en un cuerpo receptor, se tienen factores de emisión según el tipo de

vertido. El Cuadro 8 presenta los tipos de vertido considerados en la referencia metodológica.

**Cuadro 8.** Consideraciones de factores de emisión de CH<sub>4</sub> por tipo de vertido

Tipo de sistema de tratamiento	Referencia del factor de emisión
Vertido a entornos acuáticos	Factor de emisión para vertidos en cualquier entorno acuático, corresponde a un factor de emisión promedio. Ver Anexo 1. Cuadro A1.8.
Vertido a entornos acuáticos distintos de embalses, lagos y estuarios.	Aplica a la mayoría de los ambientes acuáticos, incluyendo ríos. Ver Anexo 1. Cuadro A1.8. para observar el factor de emisión por defecto.
Vertido a embalses, lagos y estuarios.	Ver Anexo 1. Cuadro A1.8. para observar el factor de emisión por defecto.

**Fuente:** Adaptado del IPCC. 2019. *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 5. Desechos. Capítulo 6. Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales. [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html).

### 2.6.12.1.A-2 Método de cálculo

**Emisión de óxido nitroso durante el tratamiento:** para determinar las emisiones de óxido nitroso durante el tratamiento, se utiliza la siguiente ecuación:

**Ecuación 2.6.12.1c**  
 Emisiones de N<sub>2</sub>O por ARI  
 durante tratamiento (t CO<sub>2</sub>e):

$$DA \times Q_{Anual} \times FE_{N2O} \times (44/28) \times PCG \times FC$$



## Para considerar:

- Normalmente el parámetro de nitrógeno total en análisis de laboratorio está dado en mg/L. Dado que para efectos del cálculo de emisiones deben ser en kg/L, la empresa debe utilizar la conversión de unidades de mg a kg.
- En caso de tener más de un análisis por año, se recomienda utilizar un promedio de los parámetros obtenidos en los análisis realizados en el periodo del informe.
- En caso de no contar con análisis de laboratorio se puede utilizar una referencia teórica de contenido de nitrógeno en las aguas residuales para el tipo de actividad en análisis. Sin embargo, no es común encontrar referencias teóricas para dicha actividad.
- Cuando únicamente se cuente con análisis de nitrógeno total del agua residual a la entrada del sistema de tratamiento, se puede utilizar una fracción de remoción de nitrógeno, de acuerdo al tipo de tratamiento, para estimar el nitrógeno total en el efluente, ver cuadro 25A.1, del Anexo 1. Así mismo, cuando únicamente se cuente con el análisis de nitrógeno total del efluente o después del tratamiento, se puede utilizar la fracción de remoción de acuerdo con el tipo de tratamiento para estimar el nitrógeno total en el agua residual a la entrada del sistema de tratamiento.
- Tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.

### Donde:

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por tratamiento de aguas residuales

**DA:** dato de actividad relacionado al nitrógeno total en el agua residual a tratar (kg N/L).

**Q<sub>Anual</sub>:** caudal de agua residual tratada (L/año)

**FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>:** factor de emisión de N<sub>2</sub>O durante el tratamiento por tipo de sistema de tratamiento (kg N<sub>2</sub>O-N/kg N).

**(44/28):** se utiliza la relación de 44/28 para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O.

**PCG:** potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

**Emisión de óxido nitroso después del tratamiento:** Para determinar las emisiones de óxido nitroso después del tratamiento, por vertido a un cuerpo receptor o por reutilización (riego), se utiliza la siguiente ecuación.

### Ecuación 2.6.12.1d

$$\text{Emisiones de N}_2\text{O por ARI-vertido (t CO}_2\text{e): } DA \times Q_{\text{vertido}} \times \text{Días}_{\text{vertido}} \times FE_{\text{N}_2\text{O}} \times (44/28) \times PCG \times FC$$

### Donde:

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por vertido de aguas residuales.

**DA:** dato de actividad relacionado al nitrógeno total en el agua residual vertida o reutilizada (kg N/L).

**Q<sub>vertido</sub>:** caudal de agua residual vertida o reutilizada (L/día).

**Días<sub>vertido</sub>:** cantidad de días en el año que hubo vertido o reutilización de aguas residuales tratadas.

**FE<sub>N<sub>2</sub>O</sub>:** factor de emisión de N<sub>2</sub>O después del tratamiento por tipo de vertido o reutilización (kg N<sub>2</sub>O-N/kg N).

**(44/28):** se utiliza la relación de 44/28 para convertir las emisiones de N<sub>2</sub>O-N a emisiones de N<sub>2</sub>O.

**PCG:** potencial de calentamiento global del N<sub>2</sub>O.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg o g a toneladas).

### 2.6.12.1.B-2 Recolección de información

**Dato de actividad:** Los datos de actividad relacionados al contenido de nitrógeno en las aguas residuales se deben obtener de análisis de laboratorio de las aguas residuales sin



## Para considerar:

Para el caso de vertido de aguas residuales tratadas en suelo, además de las emisiones directas de  $N_2O$ , la empresa debe estimar emisiones indirectas por volatilización y lixiviación, descritas en la sección 2.6.7 de fertilizantes nitrogenados (específicamente las ecuaciones 2.6.7a1 y 2.6.7a2).

tratamiento y después del tratamiento para vertido a un cuerpo receptor o reutilización para riego.

Los datos de actividad relacionados al **caudal del agua residual cruda o sin tratar** se pueden obtener de datos de consumo de agua de la planta empacadora si se tienen registros de consumo diferenciados, o bien, la empresa puede realizar una estimación de este valor con datos sobre la capacidad y frecuencia de cambio del agua de pilas de lavado.

Los datos de actividad de **caudal de vertido** se pueden obtener a través de los análisis de muestreos realizados para reportes operacionales o registros internos de medición de caudal de vertido.

**Factores de emisión:** Para el cálculo de emisiones de óxido nitroso por tratamiento de aguas residuales industriales, se deben seleccionar factores de emisión según el tipo o sistema de tratamiento utilizado. El Cuadro 9 presenta los tipos de sistemas de tratamiento considerados en la referencia metodológica.

**Cuadro 9.** Consideraciones de factores de emisión de  $N_2O$  por sistema de tratamiento

Tipo de sistema de tratamiento	Referencia Factor de emisión
Planta de tratamiento aeróbica centralizada	Ver Anexo 1. Cuadro A1.9. para observar un factor de emisión por defecto.
Reactor anaeróbico	Se considera que las emisiones de $N_2O$ no son significativas, por lo que no se tiene un factor de emisión por defecto. Ver Anexo 1. Cuadro A1.9.
Lagunas anaeróbicas	Se considera que las emisiones de $N_2O$ no son significativas, por lo que no se tiene un factor de emisión por defecto. Ver Anexo 1. Cuadro A1.9.

**Fuente:** Adaptado de IPCC. 2019. *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 5. Desechos. Capítulo 6. Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales. [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html).

Para el cálculo de emisiones después del tratamiento por vertido en un cuerpo receptor o riego, se tienen factores de emisión según

el tipo de vertido. El Cuadro 10 presenta los tipos de vertido considerados en la referencia metodológica:

**Cuadro 10.** Consideraciones de factores de emisión de  $N_2O$  por tipo de vertido

Tipo de sistema de tratamiento	Referencia Factor de emisión
Vertido en aguas dulces, estuarios y marinas	Se cuenta con factor de emisión por defecto en Anexo 1. Cuadro A1.9.
Vertido a suelo	Para este caso, se utiliza el mismo factor de emisión por aportes de nitrógeno en suelo utilizado en el módulo 2.2 de uso de fertilizantes nitrogenados. Ver Anexo 1. Cuadro A1.3.

**Fuente:** Adaptado de IPCC. 2019. *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*. Volumen 5. Desechos. Capítulo 6. Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales. [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html).

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones por tratamiento de aguas residuales.

### Ejemplo: cálculo de emisiones por aguas residuales de una planta empacadora

**Paso 1.** En una finca ubicada en Costa Rica se generan aguas residuales de la planta empacadora. La planta reutilizada la agua durante una semana y, posteriormente, las trata en una laguna anaeróbica antes de ser vertidas en un río después del tratamiento. Primero se debe recopilar la información correspondiente al tipo de tratamiento para identificar las emisiones, los datos de actividad y los factores de emisión aplicables.

Emisiones durante el tratamiento: tipo de sistema de tratamiento	Aplican emisiones de CH <sub>4</sub> durante el tratamiento	Aplican emisiones de N <sub>2</sub> O durante el tratamiento
Laguna anaeróbica poco profunda (menor a 2 metros)	Sí	No
Emisiones después del tratamiento: tipo de vertido	Aplican emisiones de CH <sub>4</sub> por vertido	Aplican emisiones de N <sub>2</sub> O por vertido
Vertido en río	Sí	Sí

Una vez que la empresa haya realizado el análisis sobre el sistema de tratamiento y vertido, se procede a recopilar los datos de actividad, los cuales son obtenidos de análisis de laboratorio realizados de forma anual.

Datos de actividad para las emisiones durante el tratamiento	DQO entrada agua residual a tratar	DQO salida del agua residual vertida
Laguna anaeróbica poco profunda (menor a 2 metros)	500 mg/L (0,0005 kg/L)	75 mg/L (0,000075 kg/L)
Datos de actividad para emisiones después del tratamiento	N total de entrada del agua residual a tratar	N total de salida del agua residual vertida
Vertido en río	No aplica	14 mg/L (0,000014 kg/L)

Adicionalmente a las concentraciones de DQO y N total en las aguas residuales, se procede a recopilar información del caudal de entrada y vertido de la planta de tratamiento, los cuales deberían ser similares. Sin embargo, el caudal de entrada y salida podrían variar debido a pérdidas por evaporación y aportes por lluvias. A continuación, los datos obtenidos.

Tipo de sistema de tratamiento y vertido	Q (Caudal)	Cantidad de días al año con vertido
Laguna anaeróbica poco profunda, caudal de entrada	624 000 L/año	No aplica
Vertido en río (caudal salida)	3 500 L/día (546 000 L/año)	156

**Paso 2.** Identificar los factores de emisión apropiados. Es preferible utilizar los FE específicos de cada país, pero en caso de no estar disponibles, la empresa puede utilizar los FE recomendados por el IPCC ([Anexo 1](#)).

Emisión	FE	Referencia
CH <sub>4</sub> durante tratamiento	0,05 $\frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg DQO}}$	Refinamiento 2019 del IPCC, (Volumen 5, Capítulo 6). Ver Cuadro A1.8. en Anexo 1.
CH <sub>4</sub> vertido	0,028 $\frac{\text{kg CH}_4}{\text{kg DQO}}$	Refinamiento 2019 del IPCC, (Volumen 5, Capítulo 6). Ver Cuadro A1.8. en Anexo 1.
N <sub>2</sub> O durante tratamiento	No aplica	No hay factor de emisión por defecto para lagunas anaeróbicas
N <sub>2</sub> O vertido	0,005 $\frac{\text{kg N}_2\text{O} - \text{N}}{\text{kg N}}$	Refinamiento 2019 del IPCC, (Volumen 5, Capítulo 6). Ver Cuadro A1.9. en Anexo 1.

**Paso 3.** Una vez obtenidos los datos de actividad y los factores de emisión, se procede a calcular las emisiones durante y después del tratamiento aplicables por tipo de GEI.

### Emisiones de metano durante el tratamiento:

#### Ecuación 2.6.12.1a1 (desagregada)

$$DA \text{ (kg DQO removido)} = (0,0005 \text{ kg DQO/L} \times 624 \text{ 000 L/año}) - (0,000075 \text{ kg DQO/L} \times 546 \text{ 000 L/año}) = 312 \text{ kg DQO/año} - 40,95 \text{ kg DQO/año} = 271,05 \text{ kg DQO/año}$$

#### Ecuación 2.6.12.1a

Emisiones CH<sub>4</sub> ARI durante Trat. (t CO<sub>2</sub>e):

$$271,05 \text{ kg DQO/año} \times 0,05 \text{ kg CH}_4/\text{kg DQO} \times 21 \times \frac{1 \text{ t}}{1 \text{ 000 kg}} = 0,285 \text{ t CO}_2\text{e}$$

### Emisiones de metano después del tratamiento (vertido):

#### Ecuación 3.2.1.1b

Emisiones CH<sub>4</sub> ARI después Trat. (t CO<sub>2</sub>e):

$$0,000075 \text{ kg DQO/L} \times 3.500 \text{ L/día} \times 156 \text{ días} \times 0,028 \text{ kg CH}_4/\text{kg DQO} \times 21 \times \frac{1 \text{ t}}{1 \text{ 000 kg}} = 0,024 \text{ t CO}_2\text{e}$$

### Emisiones de óxido nitroso después del tratamiento (vertido):

#### Ecuación 3.2.1.1d

Emisiones N<sub>2</sub>O ARI después Trat. (t CO<sub>2</sub>e):

$$0,000014 \text{ kg N/L} \times 3.500 \text{ L/día} \times 156 \text{ días} \times 0,005 \text{ kg N}_2\text{O-N/kg N} \times (44/28) \times 310 \times \frac{1 \text{ t}}{1 \text{ 000 kg}} = 0,019 \text{ t CO}_2\text{e}$$

### Emisiones totales por tratamiento de aguas residuales de la planta empacadora:

$$\text{Emisiones totales por tratamiento de aguas residuales de la planta empacadora} = 0,285 \text{ t CO}_2\text{e} + 0,024 \text{ t CO}_2\text{e} + 0,019 \text{ t CO}_2\text{e} = 0,328 \text{ t CO}_2\text{e}$$

## 2.6.12.2 Aguas residuales ordinarias

Las aguas residuales de tipo ordinarias (ARO), son generadas como resultado de actividades de

tipo domésticas, tales como el uso de servicios sanitarios, duchas, lavamanos, fregaderos, entre otros. Las aguas residuales ordinarias son una fuente de emisiones de metano (CH<sub>4</sub>) y las



## Para considerar:

- Para el cálculo de emisiones se puede utilizar un promedio anual de personas aplicable por tipo de sistema de tratamiento de las aguas residuales.
- En el cálculo de emisiones, además de considerar la fracción de días laborados durante el año, es posible ajustar las emisiones asociadas de visitantes y personal interno en función de la fracción de tiempo que permanecen en el sitio diariamente. Esto implica aplicar la proporción de horas de permanencia con relación a las horas totales del día (24), es decir, horas de permanencia/24. Esta metodología permite una estimación más precisa de las emisiones generadas por los visitantes y el personal interno.
- Tabular la información requerida en una base de datos de Excel para simplificar el procesamiento de la información y los cálculos asociados.

mismas dependen del sistema de tratamiento utilizado (Vallejo *et al.*, 2017).

Para el cálculo de emisiones por tratamiento de aguas residuales ordinarias se proponen dos métodos de disposición, los cuales se describen a continuación.

### a) Tanque séptico

Este consiste en una unidad de tratamiento de aguas residuales de tipo ordinario, utilizado generalmente para tratar aguas residuales generadas en áreas administrativas o planta empacadora. El cálculo de las emisiones está directamente relacionado con la cantidad de personas que generan aguas residuales ordinarias que son tratadas en el sistema de tratamiento.

### b) Letrinas (ubicadas en campo)

Las letrinas son estructuras básicas utilizadas como infraestructura sanitaria que se instalan en áreas donde no hay acceso a sistemas de alcantarillado o servicios de saneamiento adecuados. Consisten en una losa sanitaria sobre un pozo que puede tener dos metros o más de profundidad, las cuales utilizan poca o nada de agua para la descarga. Normalmente son utilizadas en campo para el personal que trabaja en el área.

Para ambos tipos de disposición y tratamiento de las aguas residuales, se utiliza el siguiente método de cálculo.

### 2.6.12.2.A Método de cálculo

#### Ecuación 2.6.12.2a

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ por ARO (t CO}_2\text{e):} \\ DA \times FE_{\text{CH}_4} \times PCG \times FC$$

**Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono equivalente por tratamiento ARO.

**DA:** dato de actividad relacionado a la cantidad de personas que generan ARO al tanque séptico/letrina (personas/año).

**FE<sub>CH<sub>4</sub></sub>:** factor de emisión de CH<sub>4</sub> para tanque séptico/Letrina (kg CH<sub>4</sub>/persona/año).

**PCG:** potencial de calentamiento global del CH<sub>4</sub>.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg a toneladas).

La ecuación anterior se usa para estimar las emisiones de CH<sub>4</sub> por persona por año (365 días). Si la empresa desea ajustar las emisiones de metano a la cantidad de días trabajados, se puede aplicar la siguiente ecuación.

#### Ecuación 2.6.12.2a1

$$\text{Emisiones CH}_4 \text{ ARO (t CO}_2\text{e):} \\ DA \times \text{Frac}_D \times FE_{\text{CH}_4} \times PCG \times FC$$

**Donde:**

**t CO<sub>2</sub>e:** toneladas de dióxido de carbono



## Para considerar:

Para el caso del factor de emisión de letrinas, este depende del clima y características de la generación de aguas residuales, ver [Anexo 1](#).

equivalente por tratamiento ARO.

**DA:** dato de actividad relacionado a la cantidad de personas que generan ARO al tanque séptico o letrina (personas/año).

**Frac<sub>p</sub>:** fracción de tiempo de días laborados (días laborados del personal/365).

**FE<sub>CH<sub>4</sub></sub>:** factor de emisión de CH<sub>4</sub> para tanque séptico o letrina (kg CH<sub>4</sub>/persona/año).

**PCG:** potencial de calentamiento global del CH<sub>4</sub>.

**FC:** factor de conversión de unidades (por ejemplo, conversión de kg a toneladas).

personas que permanecen en las instalaciones y generan aguas residuales enviadas al tanque séptico o letrina. Los datos de actividad se pueden obtener de planilla del personal, registro de visitas y de proveedores.

**Factores de emisión:** para el cálculo de emisiones de metano por tratamiento de aguas residuales ordinarias, se debe seleccionar el factor de emisión según el tipo o sistema de tratamiento utilizado, es decir, tanque séptico o letrina.

### 2.6.12.2.B Recolección de información

**Dato de actividad:** Los datos de actividad están relacionados al promedio de la cantidad de

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de emisiones por tratamiento de aguas residuales ordinarias.

#### Ejemplo: cálculo de emisiones de aguas residuales ordinarias en tanque séptico y letrina

**Paso 1.** En las instalaciones de planta empacadora y oficinas administrativas, se cuenta con dos tanques sépticos que reciben y tratan las aguas residuales ordinarias de servicios sanitarios y lavamanos. Asimismo, en finca se cuenta con dos letrinas que utilizan agua para la descarga. Primero se debe recopilar la información correspondiente al tipo de tratamiento para identificar las emisiones aplicables, datos de actividad y factores de emisión aplicables.

Ubicación	Tipo de sistema de tratamiento y vertido	Promedio de personas por año	Fracción de días laborados en un año	FE
Oficinas administrativas	Tanque séptico	50	261/365	4,38 kg CH <sub>4</sub> por persona/año
Finca	Letrinas (clima húmedo/uso de agua de descarga)	15	313/365	6,13 kg CH <sub>4</sub> por persona/año

**Paso 2.** Una vez obtenidos los datos de actividad y los factores de emisión, se procede a calcular las emisiones por tipo de sistema de tratamiento de aguas residuales ordinarias.



## Para considerar:

Si la empresa tiene la intención de participar en un programa de GEI en el país donde tiene lugar sus actividades productivas o de empaque, es importante revisar si el programa tiene requisitos o restricciones asociadas para el reporte de emisiones por cambios de uso de suelo o variaciones de reserva de carbono en suelo.

### Emisiones por tanque séptico:

#### Ecuación 2.6.12.2a1

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ por ARO (t CO}_2\text{e)} = 50 \text{ personas/año} \times (261/365) \times 4,38 \text{ kg CH}_4 \text{/ persona/año} \times 21 \times \frac{1 \text{ t}}{1\,000 \text{ kg}} = 3,289 \text{ t CO}_2\text{e}$$

### Emisiones por letrina:

#### Ecuación 2.6.12.2a1

$$\text{Emisiones de CH}_4 \text{ por ARO (t CO}_2\text{e)} = 15 \text{ personas/año} \times (313/365) \times 6,13 \text{ kg CH}_4 \text{/ persona/año} \times 21 \times \frac{1 \text{ t}}{1\,000 \text{ kg}} = 1,656 \text{ t CO}_2\text{e}$$

## 2.6.13 Variación de las reservas de carbono en el suelo por labranza

Categoría:	Directa o indirecta por productos utilizados por la empresa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Labranza	✓						

La cantidad de carbono almacenado en tierras agrícolas permanentes, así como la cantidad de carbono emitida o absorbida por éstas depende del tipo de cultivo sembrado, de las prácticas de gestión del suelo y del cultivo, y de las variables del suelo y del clima. Las reservas de carbono en el suelo pueden ser significativas y están sujetas a variaciones en la mayoría de las prácticas de gestión, particularmente con relación a la labranza, drenaje, gestión de residuos y correcciones orgánicas (IPCC, 2005).

En este módulo se proponen dos metodologías: una metodología teórica basada en cocientes por defecto dados por el IPCC, y un método específico basado en el análisis de los suelos propios de las fincas. A continuación, se

describen ambos métodos.

### 2.6.13.1 Variación de reservas de carbono en suelo (método teórico por defecto)

#### 2.6.13.1.A Método de cálculo

Para superficies de tierras agrícolas que siguen siendo tierras agrícolas, la variación de las reservas de carbono puede calcularse de dos modos:

- vigilando los cambios de gestión y calculando la variación de las reservas en parcelas de tierra individuales, o bien,
- calculando las reservas totales de carbono en el suelo al comienzo y al final del período

evaluado a partir de otros datos más generales sobre la distribución superficial de los sistemas de tierra agrícola.

Los resultados globales serán los mismos en cualquiera de los dos escenarios. La diferencia principal consiste en que para atribuir los efectos de determinados cambios de gestión serán necesarios datos de actividad que consideren los cambios en determinadas superficies de tierra (IPCC, 2005).

A continuación, se describe la fórmula de cálculo para determinar la variación de carbono en el suelo.

**Ecuación 2.6.13.1a**

$$\text{Variación de C en suelos minerales} = \frac{\sum[(\text{COS}_0 - \text{COS}_{(0-t)}) \times S]}{T}$$

$$\text{Variación de C en suelos minerales} = \frac{[\sum(\text{COS}_0 \times S) - \sum(\text{COS}_{(0-t)} \times S)]}{T}$$

**Donde:**

**Variación de C en suelos minerales:** variación anual de las reservas de carbono en suelos minerales, en toneladas C/año.

**COS<sub>0</sub>:** variación de carbono orgánico del suelo en el año de inventario, en toneladas C/ha.

**COS<sub>(0-t)</sub>:** reservas de carbono orgánico del suelo *t* años antes del inventario, en toneladas C/ha.

**T:** período de inventario, en años (valor por defecto: 20 años)

**S:** superficie de cada parcela, en ha

Para determinar el carbono orgánico del suelo (COS) en el año de inventario y antes del inventario, se utiliza la siguiente ecuación.

**Ecuación 2.6.13.1b**

$$\text{COS} = \text{COS}_{\text{REF}} \times \text{FUT} \times \text{FG} \times \text{FE}$$

**Donde:**

**COS<sub>REF</sub>:** valor de referencia de las reservas de

carbono, en toneladas de C/ha; véase el Cuadro A1.11., en [Anexo 1](#).

**F<sub>UT</sub>:** factor de variación de las reservas para un uso de la tierra o para un cambio de uso de la tierra, sin dimensiones; véase el Cuadro A1.12., en [Anexo 1](#).

**F<sub>G</sub>:** factor de variación de las reservas para un régimen de gestión (labranza), sin dimensiones; véase el Cuadro A1.12., en [Anexo 1](#).

**F<sub>E</sub>:** factor de variación de las reservas para una entrada de materia orgánica, sin dimensiones; véase el Cuadro A1.12., en [Anexo 1](#).

Los cálculos para determinar COS<sub>0</sub> y COS<sub>(0-T)</sub> y la variación neta de las reservas de C en el suelo por ha se realizan mediante los siguientes pasos:

**Paso 1:** seleccionar el valor de las reservas de carbono de referencia (COS<sub>REF</sub>), basándose en el tipo de clima y de suelo, para cada área de tierra que se inventariará.

**Paso 2:** seleccionar el tipo de uso de la tierra agrícola (cultivo de larga duración) existente al comienzo del período de inventario, es decir en el periodo (0-t), junto con los niveles de labranza (F<sub>G</sub>) y de entrada de C (F<sub>E</sub>). Estos factores, multiplicados por el valor de referencia de las reservas de C en el suelo, proporcionan la estimación de las reservas «iniciales» de C en el suelo (COS<sub>(0-t)</sub>), ecuación 2.6.13.1b.

**Paso 3:** calcular el valor de COS<sub>0</sub> repitiendo el paso 2 y utilizando el mismo valor de referencia de las reservas de carbono (COS<sub>REF</sub>), pero con unos factores de uso de la tierra, de labranza y de entrada que representen las condiciones existentes en el año de inventario actual (0).

**Paso 4:** calcular el promedio de la variación anual de las reservas de C en el suelo para la superficie durante el período de inventario (variación C en suelos minerales, ecuación 2.6.13.1a).

**Paso 5:** representar la variación anual de C en toneladas de CO<sub>2</sub>. La variación final de t C/año, pueden convertirse en unidades de emisiones de CO<sub>2</sub> multiplicando el cambio en la reserva de

carbono por  $-44/12$ . El cambio de signo (-) se debe a la convención de que los incrementos en las reservas de carbono, es decir, los cambios de reserva positivos (+), representan una remoción (o emisión «negativa») de la atmósfera, mientras que las disminuciones en las reservas de carbono, es decir, los cambios de reserva negativos (-), representan una emisión positiva hacia la atmósfera. Esta conversión se representa de la siguiente manera.

$$\text{Ecuación 2.6.13.1c}$$

$$\text{Emisión/remoción de C en t CO}_2 = \text{variación de C (t C/año)} \times (-44/12)$$

### 2.6.13.1.B Recolección de información

**Datos de actividad:** Para el dato de actividad se requiere la información de la cantidad de hectáreas por bloques de gestión en el año de inventario. Se necesita conocer las áreas que en el año de inventario tuvieron intervención con labranza mínima, convencional o sin labranza.

**Factores de gestión y uso del suelo:** se necesitarán los siguientes factores de gestión y uso para los suelos minerales:

1. el valor de referencia del carbono almacenado (COSREF);

2. el factor de variación de las reservas cuando cambia el uso de la tierra (FUT);
3. el factor de variación de las reservas para un régimen de gestión del suelo (FG), y
4. el factor de variación de las reservas en caso de entrada de materia orgánica ( $F_E$ ).

Estos se pueden seleccionar según las condiciones del área bajo análisis y del tipo de gestión de suelos empleado. Ver [Anexo 1](#). Se brinda la siguiente orientación para seleccionar el valor de las reservas de carbono de referencia ( $COS_{REF}$ ), según tipo de clima y tipo de suelo, como se indica en el paso 1.

- a. **Tipo de clima:** las zonas climáticas se clasifican por zonas de temperatura definidas según la temperatura media anual (TMA) y los regímenes de humedad. Considerando que la planta de piña es típica de zonas con clima tropical y que requiere temperaturas entre 23 °C y 30 °C, esta guía toma en cuenta la orientación de regímenes de humedad solo para zonas tropicales. Estos regímenes se clasifican según la precipitación media anual (PMA) (IPCC, 2005).
- b. **Tipo de suelo:** el Cuadro 12 describe los diferentes tipos de suelo por clasificación.

**Cuadro 11.** Orientación sobre el tipo de clima

Temperatura media anual (TMA)		Regímenes de humedad	
		Zonas tropicales	
Tropical	TMA >20 °C	Seco ( <i>dry</i> )	PMA <1 000 mm
		Húmedo ( <i>moist</i> )	PMA 1 000 - 2 000 mm
		Muy húmedo ( <i>wet</i> )	PMA >2 000 mm

**Cuadro 12.** Orientación sobre el tipo de suelo

Clasificación	Descripción
AAA (HAC) <sup>6</sup>	Los suelos con minerales de arcilla de alta actividad (AAA) son suelos con un nivel de desgaste entre leve y moderado, en los que predominan minerales de arcillas silicatadas 2:1 (en la clasificación de la Base Mundial de Referencia para los Recursos Edáficos; BMR), este grupo abarca los leptosoles, vertisoles, kastanozems, chernozems, phaeozems, luvisoles, alisoles, albeluvisoles, solonetz, calcisoles, gypsisoles, umbrisoles, cambisoles, regosoles. En la clasificación del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), se incluyen también los mollisoles, vertisoles, alfisoles muy alcalinos, ardisoles e inceptisoles.
Suelos ABA (LAC)	Los suelos con minerales de arcilla de baja actividad (ABA) son suelos muy desgastados en los que predominan los minerales de arcilla 1:1 y el hierro amorfo, así como los óxidos de aluminio (en la clasificación BMR se incluyen los acrisoles, lixisoles, nitisoles, ferralsoles, durisoles. En la clasificación USDA se incluyen también los ultisoles, los oxisoles y los alfisoles ácidos.
Suelos arenosos (SAN)	Incluye todo tipo de suelos (con independencia de su clasificación taxonómica) que contengan más de un 70 % de arena y menos de un 8 % de arcilla en base a análisis de textura tipificados. La clasificación BMR incluye los <i>arenosoles</i> , mientras que la clasificación del USDA incluye los psammentos.
Suelos espódicos (POD)	Suelos fuertemente podzolizados. La clasificación BMR incluye los podzoles; la clasificación USDA incluye los esodosoles.
Suelos volcánicos (VOL)	Suelos derivados de cenizas volcánicas con mineralogía alofánica. La clasificación de la BMR incluye los andosoles; la clasificación del USDA incluye los andisoles.
Suelos de humedal (WET)	Suelos con drenaje restringido que ocasiona inundaciones periódicas y condiciones anaeróbicas. La clasificación de la BMR incluye los gleysoles; la clasificación del USDA incluye los subórdenes <i>ácuicos</i> .

**Fuente:** IPCC. 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 2. Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra.*

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de la variación de reservas de carbono en suelo.

<sup>6</sup> Hace referencia a las iniciales de la clasificación del suelo, en idioma inglés. Lo anterior permite al lector identificar el COSREF por tipo de suelo en el cuadro 26A.1 del Anexo 1. de factores de emisión, la cual está dada en idioma inglés.



## Para considerar:

- En la orientación metodológica utilizada (Directrices IPCC), las reservas de carbono se miden hasta una profundidad por defecto de 30 cm y no incluye el carbono de los residuos superficiales (es decir, de la materia orgánica muerta) ni las variaciones del carbono inorgánico (es decir, de los minerales carbonatados). En la mayoría de los suelos donde se cultiva la piña no hay residuos superficiales ya que estos se incorporan por medio de la labranza.
- Esta orientación supone que las variaciones del carbono en materia orgánica muerta y del carbono inorgánico son nulas.
- En las Directrices del IPCC se da por supuesto un cambio lineal en las reservas de carbono en el suelo en un período de 20 años después de un cambio de gestión de suelos, pasando el carbono almacenado en el suelo de una posición de equilibrio en el tiempo  $t_0$  (año del cambio de gestión de suelos) a otra posición de equilibrio en el tiempo  $t_{20}$  (20 años después del cambio de gestión de suelos). Por consiguiente, se da por supuesto que la tasa de variación del carbono almacenado se mantiene constante durante los 20 primeros años que siguen a un cambio de gestión y luego la tasa pasa a cero cuando se ha alcanzado un nuevo equilibrio.

## Ejemplo: cálculo de emisiones por variación de reservas de carbono en suelo por labranza

**Paso 1.** La empresa ha mantenido 1 200 ha de cultivo de piña por más de 10 años, si bien se han mantenido como tierras agrícolas, todos los años se realiza labranza como parte de la gestión de la tierra para la renovación del cultivo. La empresa está en proceso de elaboración del inventario de emisiones del periodo 2022 y se requiere calcular la variación de las reservas de carbono en suelo por actividades de labranza. Por lo tanto, el primer paso es caracterizar las áreas antes y después de la labranza, considerando los cambios ocurridos en el periodo evaluado, para seleccionar la reserva de carbono de referencia y tipos de gestión en el periodo evaluado. A continuación, se muestra la caracterización de las áreas:

Antes de labranza (Año 0-t)							
Bloque/ finca	ha	Tipo de clima	Tipo de suelo	COS <sub>REF</sub>	F <sub>UT</sub>	F <sub>G</sub>	F <sub>E</sub>
A-B	300	Tropical muy húmedo (temperatura media anual mayor a 20 °C y precipitación media anual mayor de 2 000 mm)	Ultisoles (Suelo ABA)	Tropical muy húmedo, suelos ABA	Cultivo de larga duración tropical, muy húmedo	Sin labranza tropical muy húmedo	medio. tropical muy húmedo
C	900	Tropical muy húmedo (temperatura media anual mayor a 20 °C y precipitación media anual mayor de 2 000 mm)	Ultisoles (Suelo ABA)	Tropical muy húmedo, suelos ABA	Cultivo de larga duración tropical, muy húmedo	Labranza completa, tropical muy húmedo	Entrada alta-sin estiércol, tropical muy húmedo
Después de la labranza (Año 0)							
Bloque/ finca	ha	Tipo de clima	Tipo de suelo	COS <sub>REF</sub>	F <sub>UT</sub>	F <sub>G</sub>	F <sub>E</sub>
A-B	300	Tropical muy húmedo (temperatura media anual mayor a 20 °C y precipitación media anual mayor de 2000 mm)	Ultisoles (Suelo ABA)	Tropical muy húmedo, suelos ABA	Cultivo de larga duración tropical, muy húmedo	Labranza completa, tropical muy húmedo	Entrada alta-sin estiércol, tropical muy húmedo
C	900	Tropical muy húmedo (temperatura media anual mayor a 20 °C y precipitación media anual mayor de 2000 mm)	Ultisoles (Suelo ABA)	Tropical muy húmedo, suelos ABA	Cultivo de larga duración tropical, muy húmedo	Sin labranza tropical muy húmedo	Medio. tropical muy húmedo

**Paso 2.** Una vez caracterizadas las áreas antes del año de inventario y durante el año de inventario, se procede a asignar los valores correspondientes, según cuadros A1.11. y A1.12., del [Anexo 1](#). A continuación, se muestran los valores correspondientes a cada área gestionada.

Antes de la labranza (Año 0-t)							
Bloque/ finca	ha	Tipo de clima	Tipo de suelo	$COS_{REF}$ t C/ha	$F_{UT}$	$F_G$	$F_E$
A-B	300	Tropical muy húmedo	ABA (LAC)	52	0,83	1,10	1
C	900	Tropical muy húmedo	ABA (LAC)	52	0,83	1	1,11
Después de la labranza (Año 0)							
Bloque/ finca	ha	Tipo de clima	Tipo de suelo	$COS_{REF}$ t C/ha	$F_{UT}$	$F_G$	$F_E$
A-B	300	Tropical muy húmedo	ABA (LAC)	52	0,83	1	1,11
C	900	Tropical muy húmedo	ABA (LAC)	52	0,83	1,10	1

**Paso 3.** Una vez obtenidos los datos de actividad y los factores de emisión, se procede a calcular las reservas de carbono orgánico en suelo por bloque antes del año de inventario y durante el año de inventario.

#### Antes del cambio en la gestión (Año 0-t)

##### Ecuación 2.6.13.1b

$$COS \text{ Bloque A-B} = 52 \times 0,83 \times 1,10 \times 1 = 47,48 \text{ t C/ha}$$

$$COS \text{ Bloque C} = 52 \times 0,83 \times 1 \times 1,11 = 47,91 \text{ t C/ha}$$

#### Después del cambio en la gestión (Año 0)

##### Ecuación 2.6.13.1b

$$COS \text{ Bloque A-B} = 52 \times 0,83 \times 1 \times 1,11 = 47,91 \text{ t C/ha}$$

$$COS \text{ Bloque C} = 52 \times 0,83 \times 1,10 \times 1 = 47,48 \text{ t C/ha}$$

**Paso 4.** Una vez obtenidas las reservas de carbono orgánico (COS), se procede a calcular la variación de las reservas de carbono orgánico en el suelo por el área gestionada.

##### Ecuación 2.6.13.1a

#### Variación de C del suelo =

$$\frac{(COS \text{ Bloque A-B}(0) - COS \text{ Bloque A-B}(0-t)) \times ha \text{ Bloque A-B}}{T} + \frac{(COS \text{ Bloque C}(0) - COS \text{ Bloque C}(0-t)) \times ha \text{ Bloque C}}{T}$$

#### Variación de C del suelo/año =

$$\frac{(47,91 \text{ t C/ha} - 47,48 \text{ t C/ha}) \times 300 \text{ ha}}{20 \text{ años}} + \frac{(47,48 \text{ t C/ha} - 47,91 \text{ t C/ha}) \times 900 \text{ ha}}{20 \text{ años}}$$

$$\text{Variación de C del suelo/año} = 6,45 \text{ t C/año} + (-19,35 \text{ t C/año}) = -12,95 \text{ t C/año}$$

En la ecuación anterior el cambio de carbono es negativo, ya que representa una emisión. Sería un cambio positivo si representara una remoción. Sin embargo, para calcular las emisiones totales de carbono de la empresa, es necesario cambiar el signo y utilizar un positivo (+) para las emisiones y un negativo (-) para las remociones. Esto permitirá la agregación correcta de todos los valores de

emisiones en el inventario. Por lo tanto, en el cambio de C del suelo, el valor resultante de la ecuación anterior se multiplica por la relación  $-44/12$  para preparar el valor que se utilizará en el inventario.

**Paso 5.** Representar las variaciones de C del suelo (emisión o remoción) en  $t\text{ CO}_2$ .

#### Ecuación 2.6.13.1c

$$\begin{aligned} \text{Emisión o remoción de C en } t\text{ CO}_2 &= -12,95\text{ t C/año} \times (-44/12) \\ \text{Emisión de C en } t\text{ CO}_2 &= 47,48\text{ t CO}_2/\text{año} \end{aligned}$$

## 2.6.13.2 Variación de reservas de carbono en suelo: método de análisis del suelo

### 2.6.13.2A Método de cálculo

Esta metodología para la estimación de la existencia y variación de carbono orgánico en el suelo (COS) se basa en mediciones directas de muestreos de campo. Las mediciones se realizan para el área bajo análisis antes y después de la gestión de suelos, por ejemplo, la labranza. La empresa debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones al llevar a cabo los análisis propios (FAO, 2020):

1. Una gran cantidad del carbono orgánico en el suelo se almacena en las capas que se encuentran de 0 a 5 cm y de 0 a 10 cm de profundidad, y es en estas capas donde a menudo se encuentran las diferencias generadas por el manejo de suelos. Un criterio aceptable para la muestra de análisis de suelo es llegar hasta una profundidad de 30 cm, separando en capas de diferentes densidades aparentes. Como mínimo, se deben obtener muestras para determinar la concentración de COS de las capas de 0 a 10 cm y 10 a 30 cm. Posteriormente, las existencias de carbono orgánico del suelo de cada capa se suman para informar la existencia de carbono orgánico total para la capa de 0-30 cm, es decir, la suma del COS de 0 a 10 cm y de 10 a 30 cm para cumplir con las recomendaciones del IPCC.
2. Los cambios en las existencias de COS se

ven afectados por cambios en la densidad aparente del suelo debido a cambios en la compactación del suelo. Esto se traduce en diferentes masas para el mismo volumen de suelo. Las existencias de carbono del suelo se cuantifican comúnmente en profundidades fijas como el producto de la densidad aparente del suelo, la profundidad y la concentración de COS. Sin embargo, este método sobreestima sistemáticamente las existencias de COS en tratamientos con mayores densidades aparentes, como la labranza mínima, lo cual tiende a exagerar sus beneficios. Por lo tanto, es fundamental informar las existencias de COS en función de una masa de suelo equivalente, lo cual también debe ser reportado para normalizar los efectos del manejo en la densidad aparente.

3. Para determinar la variación de COS se debe realizar análisis de suelo antes de la intervención y después de la intervención del suelo.

A continuación, se describe la fórmula de cálculo para determinar la variación de carbono en suelo, mediante análisis propios de la empresa (FAO, 2020).

#### T1 (antes de la labranza)

$$\begin{aligned} \text{Ecuación 2.6.13.2a (T1)} \\ \text{Total masa de suelo T1 (t)} &= \\ &= \sum D_1 (A_1 \times B_1 \times C_1) + D_2 (A_2 \times B_2 \times C_2) \end{aligned}$$

**Donde:**

**T1:** fecha de primer muestreo antes de la gestión o intervención.

**D:** capa de masa de suelo por capa de suelo analizada ( $D_1$ : 0-10 cm;  $D_2$ : 10-30 cm).

**A:** hectáreas bajo análisis ( $m^2$ ).

**B:** densidad aparente ( $t/m^3$ ).

**C:** espesor de la capa de suelo analizada (m).

$$\text{Ecuación 2.6.13.2b (T1)} \\ \text{Stock de COS T1 (t)} = \\ \sum G_1 (D_1 \times F_1) + G_2 (D_2 \times F_2)$$

**Donde:**

**T1:** fecha de primer muestreo antes de la gestión/intervención.

**G:** stock de COS por capa de suelo analizada (t/ha) ( $G_1$ : 0-10 cm;  $G_2$ : 10-30 cm).

**F:** porcentaje de COS por capa de suelo analizada (%) ( $G_1$ : 0-10 cm;  $G_2$ : 10-30 cm).

**T2 (después de la gestión o intervención)**

$$\text{Ecuación 2.6.13.2a (T2)} \\ \text{Total masa de suelo T2 (t)} = \\ \sum D_1 (A_1 \times B_1 \times C_1) + D_2 (A_2 \times B_2 \times C_2)$$

**Donde:**

**T2:** fecha de segundo muestreo después de la gestión/intervención.

**D:** capa de masa de suelo por capa de suelo analizada ( $D_1$ : 0-10 cm;  $D_2$ : 10-30 cm).

**A:** hectáreas bajo análisis ( $m^2$ ).

**B:** densidad aparente ( $t/m^3$ ).

**C:** espesor de la capa de suelo analizada (m).

$$\text{Ecuación 2.6.13.2b (T2)} \\ \text{Stock de COS T2 (t)} = \\ \sum G_1 (D_1 \times F_1) + G_2 (D_2 \times F_2)$$

**Donde:**

**T2:** fecha de segundo muestreo después de la gestión o intervención.

**G:** stock de COS por capa de suelo analizada (t/ha) ( $G_1$ : 0-10 cm;  $G_2$ : 10-30 cm).

**F:** porcentaje de COS por capa de suelo analizada (%) ( $G_1$ : 0-10 cm;  $G_2$ : 10-30 cm).

**Variación de reservas de carbono en suelo (emisión o remoción) por año**

$$\text{Ecuación 2.6.13.2c} \\ \text{Variación de reservas de COS (t C/año)} = \\ \frac{(\text{Stock COS en masa de suelo equivalente}_{T1} - \text{Stock COS en masa de suelo equivalente}_{T2})}{(T2 - T1) \times 365} \\ \text{Variación de las reservas de COS (t C/año)} = \\ \frac{(\frac{\text{Stock de COS T2} \times \text{Total masa de suelo}_{T2}}{\text{Total masa de suelo T2}}) - (\frac{\text{Stock de COS T1} \times \text{Total masa de suelo}_{T1}}{\text{Total masa de suelo T1}})}{(T2 - T1) \times 365 \text{ días}}$$

La variación final de t C/año debe convertirse en unidades de emisiones de  $CO_2$  multiplicando el cambio en la reserva de carbono por  $-44/12$ . El cambio de signo (-) se debe a la convención de que los incrementos en las reservas de carbono, es decir, los cambios de reserva positivos (+) representan una remoción (o emisión «negativa») de la atmósfera, mientras que las disminuciones en las reservas de carbono, es decir, los cambios de reserva negativos (-) representan una emisión positiva hacia la atmósfera. Esta conversión se representa de la siguiente manera:

$$\text{Ecuación 2.6.13.2d} \\ \text{Emisión o remoción de C en t } CO_2 \text{ /año} = \\ \text{variación de C (tC/año)} \times (-44/12)$$

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de la variación de reservas de carbono en suelo mediante análisis de suelo en la finca.

## Ejemplo: cálculo de emisiones por variación de reservas de carbono en suelo por labranza

**Paso 1.** La empresa ha mantenido 500 ha de cultivo de piña por más de 10 años, si bien se han mantenido como áreas agrícolas, todos los años se realiza labranza como parte de la gestión de la tierra para la renovación del cultivo. Se está en proceso de elaboración del inventario de emisiones del periodo 2022 y se requiere calcular la variación de las reservas de carbono en suelo por actividades de labranza. Para esto se ha establecido un plan de muestreo con el fin de analizar el área antes y después de la intervención. A continuación, se muestra la caracterización de las áreas.

	Fecha	Perfiles analizados	Área (m <sup>2</sup> )	Densidad aparente (t/m <sup>3</sup> )	Profundidad (m)	Porcentaje de COS (%)
T1	4/1/2022	D1 (0-10 cm)	5 000 000	1,3	0,1	1,8
	4/1/2022	D2 (10-30 cm)	5 000 000	1,4	0,2	1,7
T2	4/1/2023	D1 (0-10 cm)	5 000 000	1,2	0,1	1,6
	4/1/2023	D2 (10-30 cm)	5 000 000	1,4	0,2	1,6

**Paso 2.** Calcular el total de masa de suelo y el Stock de COS antes de la gestión/intervención (T1) y después de la gestión/intervención (T2).

### Ecuación 2.6.13.2a (T1)

**Total masa de suelo T1 (t) =**

$$(5\,000\,000\,m^2 \times 1,3\,t/m^3 \times 0,1\,m) + (5\,000\,000\,m^2 \times 1,4\,t/m^3 \times 0,2\,m)$$

**Total masa de suelo T1 (t) =**

$$650\,000\,t + 1\,400\,000\,t = 2\,050\,000\,t$$



## Para considerar:

- Cada empresa debe establecer su diseño y plan de muestreo de suelo, que le permita definir la cantidad de muestras representativas del área bajo análisis.
- Cada empresa debe caracterizar y documentar las áreas antes y después de la intervención, gestión o labranza; caracterizando las condiciones en las que se encuentra el área bajo análisis antes y después.
- Cuando se cuenta con análisis donde solo se notifica el porcentaje de materia orgánica, y no el porcentaje de carbono orgánico, puede utilizarse un factor de conversión de 0,58 para obtener el contenido de carbono de la materia orgánica del suelo (IPCC, 2005).
- Existen referencias que brindan una orientación sobre protocolos de muestreo de suelo, tales como el "[Protocolo GSOC MRV: Un protocolo para la medición, monitoreo, reporte y verificación del carbono orgánico del suelo en paisajes agrícolas](#)" (A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes – GSOC-MRV Protocol, por sus siglas en inglés); desarrollado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).

### Ecuación 2.6.13.2b (T1)

$$\text{Stock de COS T1 (t)} = (650\,000\,t \times 1,8\%) + (1\,400\,000\,t \times 1,7\%) =$$

$$\text{Stock de COS T1 (t)} = 11\,700\,t + 23\,800\,t = 35\,500\,t$$

### Ecuación 2.6.13.2a (T2)

$$\text{Total masa de suelo T2 (t)} = (5\,000\,000\,m^2 \times 1,2\,t/m^3 \times 0,1\,m) + (5\,000\,000\,m^2 \times 1,4\,t/m^3 \times 0,2\,m)$$

$$\text{Total masa de suelo T2 (t)} = 600\,000\,t + 1\,400\,000\,t = 2\,000\,000\,t$$

### Ecuación 2.6.13.2b (T2)

$$\text{Stock de COS T2 (t)} = (600\,000\,t \times 1,6\%) + (1\,400\,000\,t \times 1,6\%) =$$

$$\text{Stock de COS T2 (t)} = 9\,600\,t + 22\,400\,t = 32\,000\,t$$

**Paso 3.** Calcular la variación de las reservas de carbono en suelo por año.

### Ecuación 2.6.13.2c

$$\text{Variación de reservas de COS (t C/año)} =$$

$$\left( \frac{(32\,000\,t \times 2\,000\,000\,t)}{2\,000\,000\,t} - \frac{(35\,000\,t \times 2\,000\,000\,t)}{2\,050\,000\,t} \right) / (04/01/2023 - 04/01/2022) \times 365\,días =$$

$$((32\,000\,t - 34\,634,15\,t) / (365)) \times 365\,días = -2\,634,15\,t\,C/año$$

**Paso 4.** Representar las variaciones de C en suelo (emisión o remoción) en t CO<sub>2</sub>/año.

### Ecuación 2.6.13.2d

$$\text{Emisión o remoción de C en t CO}_2\text{/año} = -2\,634,15\,t\,C/año \times (-44/12)$$

$$\text{Emisión de C en t CO}_2\text{/año} = 9\,658,54\,t\,CO_2\text{/año}$$

## 2.6.14 Variación de carbono por cambios de uso de la tierra

Categoría:	Directa o indirecta por productos utilizados por la empresa						
Fuente	Tipo de GEI a evaluar						
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	HFC	HCFC	CO <sub>2</sub> e	Otros: PFC
Cambios de uso de la tierra	✓						

El uso y la gestión de la tierra tiene su influencia sobre una diversidad de procesos del ecosistema que afectan a los flujos de los gases de efecto invernadero, tales como la fotosíntesis, la respiración, la descomposición, entre otros. Estos procesos incluyen transformaciones del carbono provocadas por los procesos biológicos. Los flujos de CO<sub>2</sub> entre la atmósfera y los ecosistemas se controlan fundamentalmente

por captación, mediante la fotosíntesis de las plantas, y por liberación, a través de la respiración, la descomposición y la combustión de materia orgánica. Esta guía propone evaluar los cambios netos en las existencias de carbono en la biomasa viva sobre el suelo, estimando las reservas de carbono en la biomasa viva antes y después de la conversión de uso de la tierra (IPCC, 2006).



## For consideration:

- La empresa debe seleccionar las variables y condiciones apropiadas según el tipo de conversión.
- Si la empresa tiene la intención de participar en un programa de GEI del país en donde opera, es importante revisar si el programa tiene requisitos o restricciones asociadas para el reporte de emisiones por cambios de uso de suelo o variaciones de reserva de carbono en suelo.
- Si bien la metodología teórica permite estimar variaciones de carbono en tierras forestales que permanecen como tierras forestales, es recomendable determinar dicha variación mediante un inventario de remociones en campo, utilizando parcelas permanentes de monitoreo. Sin embargo, este aspecto queda fuera del alcance de la presente guía. Se recomienda el uso de la normativa nacional de Costa Rica, la INTE/DN 03:2016 – *Metodología para la cuantificación y reporte de remociones de gases de efecto invernadero producto de actividades forestales* o los requisitos definidos por el programa de GEI, cuando aplique.
- La variación de la biomasa se estima solamente para los cultivos leñosos perennes. La biomasa relacionada con las plantas herbáceas anuales y perennes (es decir, no leñosa) es relativamente efímera; es decir, decae y se regenera anualmente o cada pocos años. Por lo tanto, las emisiones por descomposición se compensan con las absorciones debidas a la regeneración, lo que hace que, en general, las existencias netas de carbono sean bastante estables en el largo plazo. Es por ello que el método se centra en los cambios de existencias de la biomasa relacionados con la cobertura leñosa, en la que se pueden acumular grandes cantidades de carbono durante su vida (IPCC, 2006)
- Dado lo anterior y considerando que el cultivo de piña es renovado cada dos años en promedio, se asume que las ganancias de biomasa en dicho periodo serán igual a las pérdidas en el momento de la cosecha y manejo de rastrojo.

En este módulo se proponen orientaciones metodológicas; para determinar las variaciones de carbono en tres escenarios de conversión y usos de la tierra, los cuales se describen a continuación:

Uso de la tierra inicial	Uso de la tierra final
Tierra de cultivo	Tierra forestal
Tierra forestal	Tierra de cultivo
Tierra forestal	Tierra forestal

### a. Conversión de tierra de cultivo a tierra forestal

Este escenario corresponde a tierras agrícolas que son convertidas en tierras forestales mediante forestación y reforestación, y a través de métodos de regeneración natural o artificial (incluidas las plantaciones). Esta orientación de

la estimación de las emisiones y remociones de carbono procedentes de la conversión de tierras para usos forestales solo considera la variación de las reservas de carbono en la biomasa viva (IPCC, 2005).

La variación anual de las reservas de carbono en la biomasa viva en tierras convertidas en tierras forestales supondrá una diferencia entre el crecimiento y la pérdida de biomasa viva en el año evaluado. Donde se asumen las siguientes consideraciones:

- El crecimiento de biomasa viva estará relacionado con el crecimiento de la cobertura leñosa en las tierras convertidas.
- La variación de carbono por efecto de la conversión (eliminación del cultivo de piña) se considera nula dado que la piña es un cultivo perenne herbáceo, es decir, no leñoso.

## b. Conversión de tierra forestal a tierra de cultivo

Las pérdidas de las reservas de carbono serán significativas y serán representadas en la variación de carbono al eliminar el área forestal.

## c. Mantenimiento de tierras forestales como tierras forestales (no hay conversión)

La variación de carbono dependerá de la gestión y pérdidas dadas en el periodo analizado. Las pérdidas de biomasa viva estarán relacionadas a la tala de árboles, recogida de leña y otras pérdidas por perturbaciones tales como vendavales, incendios o plagas.

### 2.6.14.1.A Método de cálculo

A continuación, se describe la fórmula de cálculo para determinar la variación de carbono en biomasa viva (BV) en los diferentes usos de la tierra.

$$\text{Ecuación 2.6.14.1a}$$
$$\Delta C_{BV} = \Delta C_{\text{Crecimiento}} - \Delta C_{\text{Pérdida}}$$

#### Donde:

$\Delta C_{BV}$ : variación anual de las reservas de carbono en la biomasa viva, en toneladas de C/año.

$\Delta C_{\text{Crecimiento}}$ : aumento anual de las reservas de carbono en la biomasa viva por efecto del crecimiento, en toneladas de C/año.

$\Delta C_{\text{Pérdida}}$ : disminución anual de las reservas de carbono en biomasa viva por efecto de las pérdidas derivadas de la tala y cosecha, recogida de leña y de perturbaciones, tales como incendio, vendavales o plagas, en toneladas de C/año.

Para determinar la variación anual, primero se debe estimar el aumento anual de carbono por crecimiento (ganancias de carbono) y la disminución anual de carbono (pérdidas de carbono), tal como se muestra a continuación. Aumento anual de carbono (ganancias)

Dado que la tasa de crecimiento de un

bosque depende en gran medida del régimen de gestión, se hace una distinción entre los bosques gestionados intensivamente (por ejemplo, en la silvicultura de plantaciones con preparación y fertilización intensiva del lugar) y los gestionados extensivamente (por ejemplo, bosques regenerados naturalmente con intervención humana mínima) (IPCC, 2005). Por lo tanto, para tierras convertidas en tierras forestales Los cálculos se realizan mediante la siguiente ecuación.

#### Ecuación 2.6.14.1b

$$\Delta C_{\text{Crecimiento}} = (\sum S_{\text{GEST\_INT}} \times C_{\text{Total GEST\_INT}} + \sum S_{\text{GEST\_EXT}} \times C_{\text{Total GEST\_EXT}}) \times FC$$

#### Donde:

$\Delta C_{\text{Crecimiento}}$ : incremento anual de las reservas de carbono en la biomasa viva por efecto del crecimiento, en toneladas de C/año.

$S_{\text{GEST\_INT}}$ : superficie de tierra convertida en bosques gestionados intensivamente (incluidas las plantaciones), en ha.

$C_{\text{Total GEST\_INT}}$ : tasa de crecimiento anual de la biomasa en bosques gestionados intensivamente (incluidas las plantaciones), en toneladas m.s./ha/año (donde m.s. es materia seca).

$S_{\text{GEST\_EXT}}$ : superficie de tierra convertida en bosques gestionados extensivamente, en ha.

$C_{\text{Total GEST\_EXT}}$ : tasa de crecimiento anual de la biomasa en bosques gestionados extensivamente, en toneladas m.s./ha/año (incluye la regeneración natural).

**FC**: fracción de carbono de la materia seca (valor por defecto: 0,5), en toneladas de C/toneladas m.s.

Cuando se estima el incremento anual de reservas de carbono en la biomasa viva en tierras que permanecen como tierras forestales, la ecuación se resume como sigue.

#### Ecuación 2.6.14.1b2

$$\Delta C_{\text{Crecimiento}} = \sum (S \times C_{\text{TOTAL}}) \times FC$$

**Donde:**

$\Delta C_{\text{Crecimiento}}$ : incremento anual de las reservas de carbono debido al incremento de la biomasa en tierras forestales que siguen siendo tierras forestales por tipos de bosque y zonas climáticas, en toneladas de C/año.

**S:** superficie de tierras forestales que siguen siendo tierras forestales, por tipos de bosque en ha.

$C_{\text{TOTAL}}$ : tasa media de incremento anual de la biomasa total, en unidades de materia seca, por tipos de bosque y zonas climáticas, en toneladas m.s./ha/año.

**FC:** fracción de carbono de la materia seca (valor por defecto = 0,5), en toneladas de C/toneladas m.s.

La tasa de crecimiento anual de biomasa tanto en bosques gestionados intensivamente ( $C_{\text{total GEST\_INT}}$ ) como extensivamente ( $C_{\text{total GEST\_EXT}}$ ) y en tierras forestales que permanecen como tierras forestales se calcula mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación 2.6.14.1c**

$$C_{\text{TOTAL}} = CW \times (1 + R)$$

**Donde:**

$C_{\text{TOTAL}}$ : incremento anual medio de la biomasa sobre el suelo y bajo el suelo, en toneladas m.s./ha/año

**CW:** incremento anual medio de la biomasa sobre el suelo, en toneladas m.s./ha/año. Ver Cuadros A1.13. (regeneración natural  $\leq 20$  años y  $>20$  años) y A1.14. (plantaciones), en el Anexo 1.

**R:** relación raíz-vástago apropiada para los incrementos, sin dimensiones. Ver Cuadro A1.15. en el [Anexo 1](#).

**Disminución anual de carbono (pérdidas)**

Los cálculos se realizan mediante la siguiente ecuación.

**Ecuación 2.6.14.1d**

$$\Delta C_{\text{Pérdida}} = P_{\text{talas}} + P_{\text{leña}} + P_{\text{otras pérdidas}}$$

**Donde:**

$\Delta C_{\text{Pérdida}}$ : disminución anual de las reservas de carbono en la biomasa viva por efecto de las pérdidas en tierras forestales y en tierras convertidas en tierras forestales, en toneladas de C/año.

$P_{\text{talas}}$ : pérdida de biomasa por efecto de la recolección de madera industrial y trozas de madera para aserrar en tierras forestales y tierras convertidas en tierras forestales, en toneladas de C/año.

$P_{\text{leña}}$ : pérdida de biomasa por efecto de la recogida de leña en tierras forestales y en tierras convertidas en tierras forestales, en toneladas de C/año.

$P_{\text{otras pérdidas}}$ : pérdida de biomasa por efecto de incendios y otras perturbaciones en tierras forestales y en tierras convertidas en tierras forestales, en toneladas de C/año.

**Ecuación 2.6.14.1e**

$$P_{\text{talas}} = R \times D \times FEB_2 \times (1 - f_{\text{BD}}) \times FC$$

**Donde:**

$P_{\text{talas}}$ : pérdida anual de carbono debida a las talas comerciales, en toneladas de C/año.

**R:** volumen extraído anualmente, rollizos, en  $\text{m}^3/\text{año}$ .

**D:** densidad de madera básica, en toneladas m.s./ $\text{m}^3$ . Ver Cuadro A1.16., en el [Anexo 1](#).

**FEB<sub>2</sub>:** factor de expansión de biomasa para convertir volúmenes de rollizos extraídos en biomasa total sobre el suelo (incluida la corteza), sin dimensiones; ver Cuadro A1.17., en el [Anexo 1](#).

$f_{\text{BD}}$ : fracción de biomasa que queda en el bosque y se descompone (transferida a materia orgánica muerta). Por defecto, se asume que la biomasa total asociada al volumen de rollizos extraído es una emisión inmediata, por lo que la  $f_{\text{BD}}$  debe ser fijada en 0.

**FC:** fracción de carbono de la materia seca (valor por defecto es igual a 0,5), en toneladas de C/toneladas m.s.



## Para considerar:

La densidad básica de la madera depende de la especie de árbol presente en el área reforestada o área de regeneración. Cuando se cuente con varias especies, la empresa podrá utilizar una densidad promedio.

Para estimar la pérdida de carbono debida a la recogida de leña se utilizará la siguiente ecuación:

### Ecuación 2.6.14.1f

$$P_{leña} = LR \times D \times FEB_2 \times FC$$

#### Donde:

**P<sub>leña</sub>**: pérdida anual de carbono debida a la recogida de leña, en toneladas de C/año.

**LR**: volumen anual de leña recogida, m<sup>3</sup>/año.

**D**: densidad de madera básica, en toneladas m.s./m<sup>3</sup>; ver Cuadro A1.16., en el [Anexo 1](#).

**FEB<sub>2</sub>**: factor de expansión de biomasa para convertir volúmenes de rollizos extraídos en biomasa aérea. total sobre el suelo (incluida la corteza), sin dimensiones. Ver Cuadro A1.17., en el [Anexo 1](#).

**FC**: fracción de carbono de la materia seca (valor por defecto = 0,5), en toneladas de C/toneladas m.s.

Otras pérdidas de carbono en tierras forestales gestionadas son las causadas por perturbaciones tales como incendios, vendavales, plagas, entre otras perturbaciones, sean o no consecuencia de actividades humanas. Las pérdidas de biomasa contabilizadas como recolección comercial o leña no se conceptuarán como pérdidas debidas a otras perturbaciones. Este método supone una destrucción completa de la biomasa forestal en caso de alteración, razón por la cual la metodología por defecto se ocupa únicamente de las perturbaciones que implican «sustitución de masa forestal» (IPCC, 2005).

Para estimar la pérdida de carbono debida a



## Importante

Las variables de las ecuaciones se deben seleccionar según tipo de clima, tipo de bosque, región o país. .

otras pérdidas se utilizará la siguiente ecuación.

### Ecuación 2.6.14.1g

$$P_{otras\ pérdidas} = S_{alteración} \times B_W \times (1 - f_{BD}) \times FC$$

#### Donde:

**P<sub>otras pérdidas</sub>**: otras pérdidas anuales de carbono, en toneladas de C/año.

**S<sub>alteración</sub>**: superficies forestales afectadas por perturbaciones, en ha/año.

**B<sub>W</sub>**: valor medio de las reservas de biomasa en áreas forestales, en toneladas m.s./ha. Ver cuadros A1.18. (regeneración natural), A1.19. (plantaciones), y A1.20. (bosques) en el [Anexo 1](#). Factores de emisión.

**f<sub>BD</sub>**: fracción de biomasa que queda en el bosque y se descompone (transferida a materia orgánica muerta). Se supone que todo el carbono de la biomasa sobre el suelo se pierde con la perturbación, por lo que la f<sub>BD</sub> es igual a 0.

**FC**: fracción de carbono de la materia seca (valor por defecto=0,5), en toneladas de C/toneladas m.s.

#### Emisión o remoción de C en t CO<sub>2</sub>

La variación final de t C/año, puede convertirse en unidades de emisiones de CO<sub>2</sub> multiplicando el cambio en la reserva de carbono por -44/12.

El cambio de signo (-) se debe a la convención de que los incrementos en las reservas de carbono, es decir, los cambios de reserva positivos (+), representan una remoción (o emisión «negativa») de la atmósfera, mientras que las disminuciones en las reservas de carbono, es decir, los cambios de reserva negativos (-), representan una emisión positiva hacia la atmósfera (IPCC, 2005). Esta conversión se representa de la siguiente manera.

$$\text{Ecuación 2.6.14.1h}$$

$$\text{Emisión/remoción de C en t CO}_2\text{/año} = \Delta C_{BV} \text{ (t C/año)} \times (-44/12)$$

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de la variación de reservas de carbono por cambio de uso de suelo.

### Ejemplo: cálculo de emisiones por variación de carbono en tierras convertidas a tierras forestales

**Paso 1.** La empresa ha decidido convertir 15 ha de cultivo con suelos de muy mala calidad y de bajo rendimiento a un área forestal mediante la reforestación de 10 ha con diferentes especies (gestión intensiva) y regeneración natural en 5 ha (gestión extensiva). Para determinar la variación de carbono en dicha conversión de tierra, necesitamos estimar las ganancias y las pérdidas de carbono en el área convertida.

Área	ha	Tipo de clima	Clase de edad
Gestión intensiva (reforestación con diferentes especies de hoja ancha)	10	Tropical muy húmedo	≤20 años
Gestión extensiva (regeneración natural)	5	Tropical muy húmedo	≤20 años

**Paso 2.** Estimar las ganancias de carbono en el área convertida, mediante las ecuaciones 2.6.14.1b y 2.6.14.1c y las referencias de las variables correspondientes tomadas de los cuadros aplicables en el [Anexo 1](#).

#### Incremento medio anual de área gestionada intensivamente (plantación)

##### Ecuación 2.6.14.1c

$$C_{TOTAL} = 17 \text{ t m.s./ha/año} \times (1 + 0,48 \text{ t m.s./t m.s.}) = 25,16 \text{ t m.s./ha/año}$$

#### Incremento medio anual de área gestionada extensivamente (regeneración natural)

##### Ecuación 2.6.14.1c

$$C_{TOTAL} = 10 \text{ t m.s./ha/año} \times (1 + 0,42 \text{ t m.s./t m.s.}) = 14,2 \text{ t m.s./ha/año}$$

#### Ganancias de carbono en el área convertida

##### Ecuación 2.6.14.1b

$$\Delta C_{Crecimiento} = ((10 \text{ ha} \times 25,16 \text{ t m.s./ha/año}) + (5 \text{ ha} \times 14,2 \text{ t m.s./ha/año})) \times 0,5 \text{ t C/t m.s.}$$

$$\Delta C_{Crecimiento} = (251,6 \text{ t m.s./año} + 71 \text{ t m.s./año}) \times 0,5 = 161,3 \text{ t C/año}$$

**Paso 3.** Se procede a estimar las pérdidas de carbono en el área convertida, mediante las ecuaciones 2.6.14.1d, 2.6.14.1e, 2.6.14.1f y 2.6.14.1g y las referencias de las variables correspondientes tomadas de los cuadros aplicables en el Anexo 1. Factores de emisión.

**Nota:** Al ser el primer año de conversión en el uso de la tierra, se considera que no hay pérdidas asociadas a la biomasa viva. Asimismo, por el tipo de cultivo, se asume que las variaciones por la conversión son nulas.

**Paso 4.** Se procede a determinar la variación de carbono en biomasa viva producto de la conversión de tierras de cultivo a tierras forestales.

#### Ecuación 2.6.14.1a

$$\Delta C_{BV} = 161,3 \text{ t C/año} - 0 = 161,3 \text{ t C/año}$$

**Nota:** una variación de carbono negativa representa una emisión, mientras que una variación positiva representa una remoción. A efectos de declarar la variación de reservas de carbono en el suelo como toneladas de CO<sub>2</sub>, el resultado se multiplica por la relación de -44/12, la cual se utiliza con el signo negativo para declarar emisiones (valor positivo) o remociones en el inventario (valor negativo).

**Paso 5.** Representar las variaciones de carbono en el suelo (emisión/remoción) en t CO<sub>2</sub>.

#### Ecuación 2.6.14.1h

$$\text{Emisión/remoción de C en t CO}_2 = 161,3 \text{ t C/año} \times (-44/12)$$

$$\text{Remoción en t CO}_2 = 591,43 \text{ t CO}_2/\text{año}$$

## 2.7 Consolidación del inventario e informe de resultados

Una vez que la empresa ha evaluado todas las fuentes de emisión identificadas, se procede con la consolidación de los resultados por categoría de fuente y por tipo de GEI en toneladas de dióxido de carbono equivalente (CO<sub>2</sub>e). Esto ayudará a la empresa a analizar las emisiones del periodo evaluado y permitir comparaciones futuras, así como evaluar mejoras de desempeño. La Figura 9 muestra un ejemplo de cómo consolidar los resultados del inventario de emisiones de GEI.

Dentro de los inventarios de emisiones, se pueden encontrar emisiones y remociones biogénicas antropogénicas. Estas se deben a emisiones o remociones a partir de material biogénico, es decir, carbono de la biomasa,

como resultado de actividades humanas. Dichas emisiones y remociones se deben tratar de la siguiente manera (INTECO, 2021):

- a. **Las emisiones y remociones de GEI biogénicas antropogénicas son resultado de la actividad humana.** Las emisiones de GEI biogénicas antropogénicas (por ejemplo, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) pueden ser resultado de la combustión de biomasa, así como de otros procesos (por ejemplo, descomposición aeróbica y anaeróbica de la biomasa y de la materia orgánica del suelo).
- b. **Las emisiones y remociones biogénicas antropogénicas de CO<sub>2</sub> se deben cuantificar e informar por separado de las**



## Para considerar:

- Cuando no se cuente con datos históricos confiables que permitan declarar un año base histórico, la empresa podrá declarar el mismo año de reporte como año base. Sin embargo, la empresa deberá justificar su selección en el informe de resultados.
- La empresa puede excluir fuentes de baja relevancia de la cuantificación de emisiones; sin embargo, se debe justificar e informar la exclusión de estas. Para proceder a la exclusión de alguna fuente de emisión, se requiere que la empresa realice un cálculo teórico de las emisiones, con el fin de justificar su exclusión con criterios establecidos en las normas de referencia.

**emisiones antropogénicas.** Las emisiones y remociones biogénicas antropogénicas de otros GEI (por ejemplo, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O) se deben cuantificar e informar junto con las otras emisiones.

resultados de emisiones de CO<sub>2</sub> biogénicas antropogénicas por cambios de uso de la tierra (variación de carbono en suelo, tierras de cultivo convertidas a tierras forestales, tierras forestales convertidas a tierras de cultivo y tierras que permanecen como tierras forestales) como se muestra en la Figura 10.

La empresa puede consolidar y presentar los

**Figura 9.** Ejemplo de consolidación de resultados del inventario de emisiones

Categoría	Fuente de emisión	CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	CH <sub>4</sub> (t CO <sub>2</sub> e)	N <sub>2</sub> O (t CO <sub>2</sub> e)	HFCs (t CO <sub>2</sub> e)	HCFCs (t CO <sub>2</sub> e)	Otros gases (t CO <sub>2</sub> e)	Total (t CO <sub>2</sub> e)
Directas	Fuente 1							
	Fuente 2							
Indirectas por energía importada	Fuente 3							
Indirectas por transporte	Fuente 4							
	Fuente 5							
Indirectas por productos utilizados por la empresa	Fuente 6							
	Fuente 7							
Indirectas por uso de productos de la empresa	Fuente 8							
	Fuente 9							
Indirectas por otras fuentes	Fuente 10							
	Fuente 11							
Total de emisiones t CO <sub>2</sub> e								

**Fuente:** Elaboración de los autores.

**Figura 10.** Ejemplo de consolidación de emisiones/remociones por usos de la tierra

Cambio de uso/gestión de la tierra y suelo	CO <sub>2</sub> (t CO <sub>2</sub> e)
Variación carbono en el suelo por labranza	
Tierra de cultivo convertida en tierra forestal	
Tierra forestal convertida en tierra de cultivo	
Tierra forestal que permanece como tierra forestal	
Manejo de rastrojo	
<b>Total de emisiones t CO<sub>2</sub>e</b>	

**Fuente:** Elaboración de los autores.

La empresa puede decidir si desea o no informar los resultados de su inventario de emisiones a entidades usuarias o usuarios previstos identificados, tales como, entidades del estado y ministerios, organismos de verificación, clientes, entre otros. Sin embargo, siempre que la empresa desee informar a sus usuarios previstos, esta debe asegurar el cumplimiento de los principios para contabilidad y reporte de emisiones (Figura 3).

**Figura 11.** Contenido mínimo del informe de resultados

Contenido mínimo del informe de resultados
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Descripción de la empresa</li> <li>• Persona o entidad responsable del informe</li> <li>• Periodo que cubre el informe</li> <li>• Documentación de los límites de la empresa</li> <li>• Documentación de los límites del informe, incluyendo los criterios establecidos para definir las emisiones significativas</li> <li>• Emisiones directas cuantificadas por separado por tipo de GEI en t CO<sub>2</sub>e</li> <li>• Descripción de cómo se consideran en el inventario las emisiones y remociones biogénicas, cuantificadas por separado en t CO<sub>2</sub>e</li> <li>• Si se cuantifican las remociones directas en t CO<sub>2</sub>e</li> <li>• Explicación de la exclusión de cualquier fuente o sumidero significativo de la cuantificación</li> <li>• Emisiones indirectas cuantificadas separadas por categoría en t CO<sub>2</sub>e</li> <li>• El año base histórico seleccionado y el inventario de GEI del año base</li> <li>• Explicación de cualquier cambio en el año base o de otros datos históricos sobre los GEI, o categorización y cualquier otro nuevo cálculo del año base u otro inventario histórico de GEI, y documentación de cualquier limitación de la comparabilidad resultante de dicho nuevo cálculo</li> <li>• Referencia o descripción de los enfoques de cuantificación, que incluya las razones para su selección</li> </ul>

Los resultados del inventario de emisiones generalmente se presentan en un informe de resultados, el cual es un documento diseñado para las partes interesadas que tiene requisitos mínimos de contenido, según la norma de referencia INTE-ISO 14064-1. La empresa debe considerar lo siguiente al planificar el informe de resultados (INTE-ISO 14064-1:2019):

- propósito y objetivos del informe en el contexto de las políticas, estrategias o programas de GEI de la empresa y los programas de GEI aplicables;
- uso previsto y usuarios previstos del inventario de GEI;
- responsabilidades generales y específicas en la preparación y realización del informe;
- frecuencia del informe;
- estructura y formato del informe;
- datos e información que se han de incluir en el informe, y
- política sobre disponibilidad del informe y métodos de divulgación del informe.

La Figura 11 muestra el contenido mínimo que debe tener el Informe de resultados, según la norma INTE-ISO 14064-1:2019.

## Contenido mínimo del informe de resultados

- Explicación de cualquier cambio en los enfoques de cuantificación utilizados previamente
- Referencia o documentación de los factores de emisión o remoción de GEI utilizados
- Descripción del efecto de las incertidumbres en la exactitud de los datos de emisiones y remociones de GEI por categoría
- Descripción y resultados de la evaluación de la incertidumbre
- Una declaración de que el informe de GEI se ha preparado de acuerdo con la norma.
- Divulgación que describa si el inventario, el informe o la declaración sobre GEI se ha verificado, incluyendo el tipo de verificación y el nivel de aseguramiento logrado

**Fuente:** Adaptado de INTECO. 2019. *INTE/ISO 14064-1:2019 Gases de Efecto Invernadero* —Parte 1: Especificación con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Costa Rica.

**Nota:** Para información adicional y opcional, se puede consultar directamente la norma de referencia INTE-ISO 14064-1.

### 2.7.1 Relacionando las emisiones con la producción de piña

Los resultados de emisiones deberán presentarse como la sumatoria total de las toneladas de CO<sub>2</sub>e; sin embargo, la empresa también puede establecer un indicador de desempeño para evaluar su progreso en el tiempo a nivel interno (Vallejo *et al.*, 2017).

Considerando los resultados de emisiones y la

información de las ventas y producción de la empresa, puede establecerse este indicador que permite comparar las emisiones de diferentes años. Para esto, se recomienda reunir la información de cantidad de cajas vendidas, kilogramos o unidades producidas o vendidas, y proceder a dividir los resultados de emisiones entre la unidad productiva, como se ejemplifica a continuación (Vallejo *et al.*, 2017).

#### Ejemplo. cálculo de emisiones por unidad productiva

En una finca piñera, el total de las emisiones de carbono resultó en 5000 kg CO<sub>2</sub>e para el año de estudio. Para este mismo año, se vendieron 600 000 cajas de piña equivalente a 9600000 kg de piña. Para obtener los indicadores de desempeño se deben relacionar los datos como se muestra

$$\text{Indicador por caja} = 5\,000 \text{ kg CO}_2\text{e} \div 600\,000 \text{ cajas} = 0,0083 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{caja}}$$
$$\text{Indicador por kilogramo} = 5\,000 \text{ kg CO}_2\text{e} \div 9\,600\,000 \text{ kg} = 0,00052 \frac{\text{kg CO}_2\text{e}}{\text{caja}}$$

### 2.7.2 ¿Qué sigue después de desarrollar el inventario de mi organización?

Una vez que la empresa haya desarrollado su inventario, podrá establecer sus medidas de mitigación. Estas pueden comprender acciones para reducir las fuentes de emisiones de GEI,

o bien, acciones para aumentar la absorción o remoción de los GEI (Vallejo *et al.*, 2017).

Para llevar a cabo acciones de reducción, la organización debe identificar sus principales fuentes de emisión y plantear sus objetivos de reducción con relación a estas fuentes. Generalmente, estas acciones pueden involucrar



## Para considerar:

Para el inventario es recomendable también incluir las reservas o sumideros de carbono, especialmente mediante recursos forestales (plantaciones y sistemas agroforestales). Sin embargo, este aspecto queda fuera del alcance de la presente guía. Se recomienda el uso de la normativa nacional de Costa Rica, la INTE/DN 03:2016 (*Metodología para la cuantificación y reporte de remociones de gases de efecto invernadero producto de actividades forestales*); así como la consulta de las Directrices del IPCC y las Guías del GHG Protocolo

ajustes en los procesos productivos, tales como cambios por tecnologías más eficientes, uso de energías renovables o reemplazo de insumos. Algunas veces, estas acciones se enfocarán en corregir ineficiencias de los procesos. Esta información se amplía en el capítulo de reducciones, donde también se proponen medidas de reducción de las emisiones para el sector piñero (Vallejo *et al.*, 2017).

En cuanto a las acciones para aumentar la absorción (remoción), éstas se relacionan principalmente a promover la conservación de áreas forestales o ampliar zonas de protección (Vallejo *et al.*, 2017).

Las remociones también implican un principio de responsabilidad ambiental por parte de la empresa piñera. Para estos proyectos de remoción pueden utilizarse bosques y plantaciones forestales propias de la organización. Además, a nivel de suelos puede aumentarse la capacidad de remoción de carbono mediante prácticas de gestión menos invasivas y que promuevan la conservación del suelo y las reservas de carbono en suelo (Vallejo *et al.*, 2017).

Con el propósito de implementar las áreas y parcelas de medición y monitoreo del crecimiento y rendimiento de los árboles (en términos de fijación de carbono) en cualquiera de estas opciones, la empresa requiere del apoyo de profesionales forestales para los estudios correspondientes (Vallejo *et al.*, 2017).

### 2.7.3 Verificación del inventario de emisiones y declaración de carbono neutralidad

Cuando la empresa requiera hacer públicos sus resultados, se recomienda someter el estudio realizado a un proceso de verificación. Este proceso comprende la revisión detallada por parte de un organismo verificador acreditado. Este proceso permite mostrar transparencia y credibilidad a las partes interesadas de la organización. La selección del organismo de verificación dependerá del objetivo para el cual se desarrolló el estudio y de los usuarios previstos identificados (Vallejo *et al.*, 2017).

Para declararse carbono neutral, la organización deberá compensar las emisiones que no logró reducir ni remover internamente de manera que se cumpla con la ecuación mostrada en la Figura 12.

Los mecanismos para compensación disponibles son (INTECO, 2021):

- **CER:** reducciones certificadas de emisiones (*Certified Emission Reduction*), entre los que se destacan los mecanismos de desarrollo limpio a nivel internacional.
- **VER:** reducciones voluntarias de emisiones (*Voluntary Emission Reduction*), entre las que se destaca el *Gold Standard* a nivel internacional.
- **UNC:** unidades nacionales de compensación de cada país. Para el caso de Costa Rica,



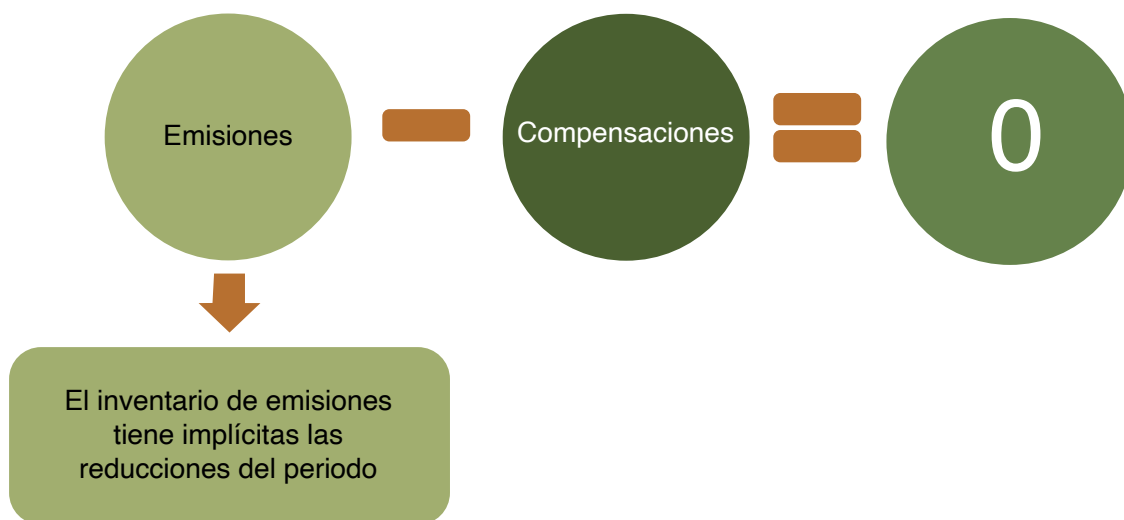
## Para considerar:

El organismo de verificación de cada país evaluará el cumplimiento de la norma voluntaria INTE/ISO 14064-1 para la declaración del inventario, y cuando aplique, la norma voluntaria INTE B5 para demostrar el carbono neutralidad y los requisitos del programa de GEI, (por ejemplo, el Programa País de Carbono Neutralidad de Costa Rica).

estas son gestionadas mediante el Fondo Nacional de Financiamiento Forestal y son

conocidas como Unidades Costarricenses de Compensación (UCCs).

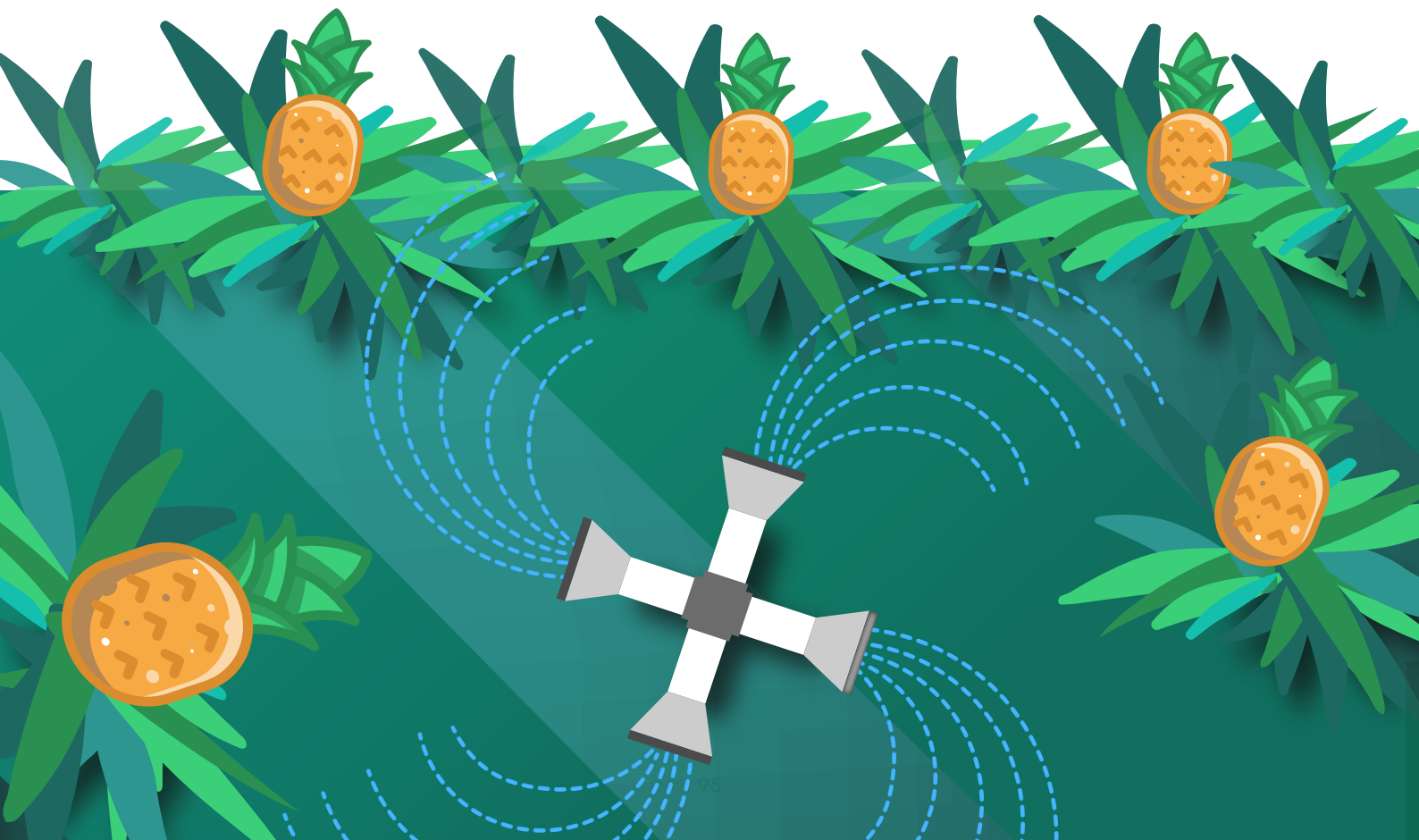
**Figura 12.** Fórmula para demostrar la carbono neutralidad



**Fuente:** Adaptado de INTECO. 2021. *INTE B5: 2021 Norma para demostrar la Carbono Neutralidad*. Requisitos. Costa Rica.



# 3. HUELLA DE AGUA POR USO DIRECTO DE AGUA EN LA EMPRESA



Cuando una empresa de piña hace uso del recurso hídrico o desarrolla actividades que directa o indirectamente afectan sus características, debe tener en cuenta que se están generando impactos tanto en la **disponibilidad de su cantidad** y en su **calidad**. Además, estos impactos son ocasionados **regionalmente** donde se cuenta con condiciones particulares

de disponibilidad según los tipos de suelos y características climáticas de la zona.

Por esta razón, resulta fundamental que, si la empresa va a analizar la gestión del recurso hídrico, este análisis sea realizado bajo un enfoque integral de huella de agua (norma ISO 14046), lo cual se propone en esta sección.

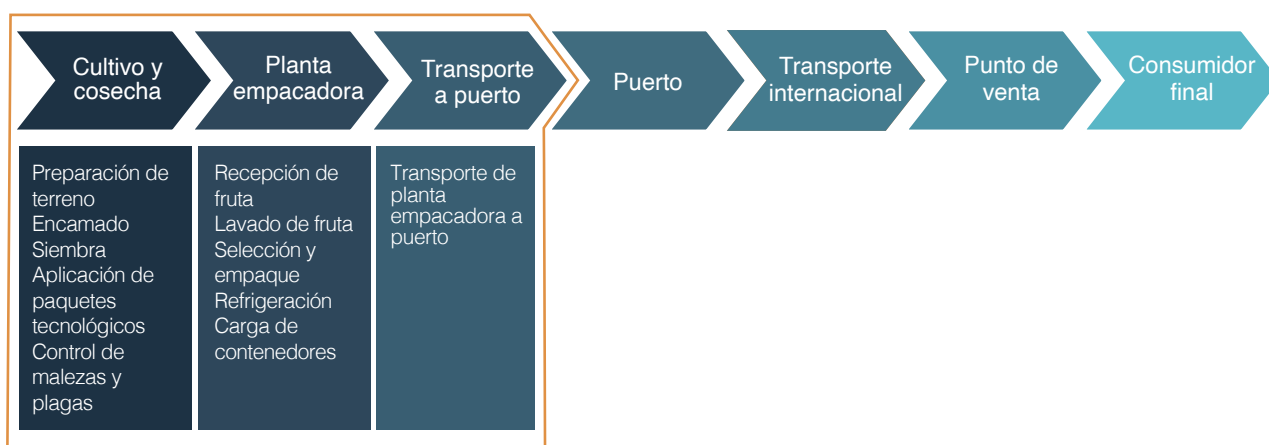
### 3.1. Alcance de la guía

Esta guía brindará las orientaciones para estimar la huella de agua en las etapas de campo (desde la preproducción hasta la cosecha de la piña) y planta de empaque (lavado, sistema de manejo post cosecha hasta la salida del producto de la planta), según se muestran en la Figura 13.

Por efectos de practicidad y consideraciones

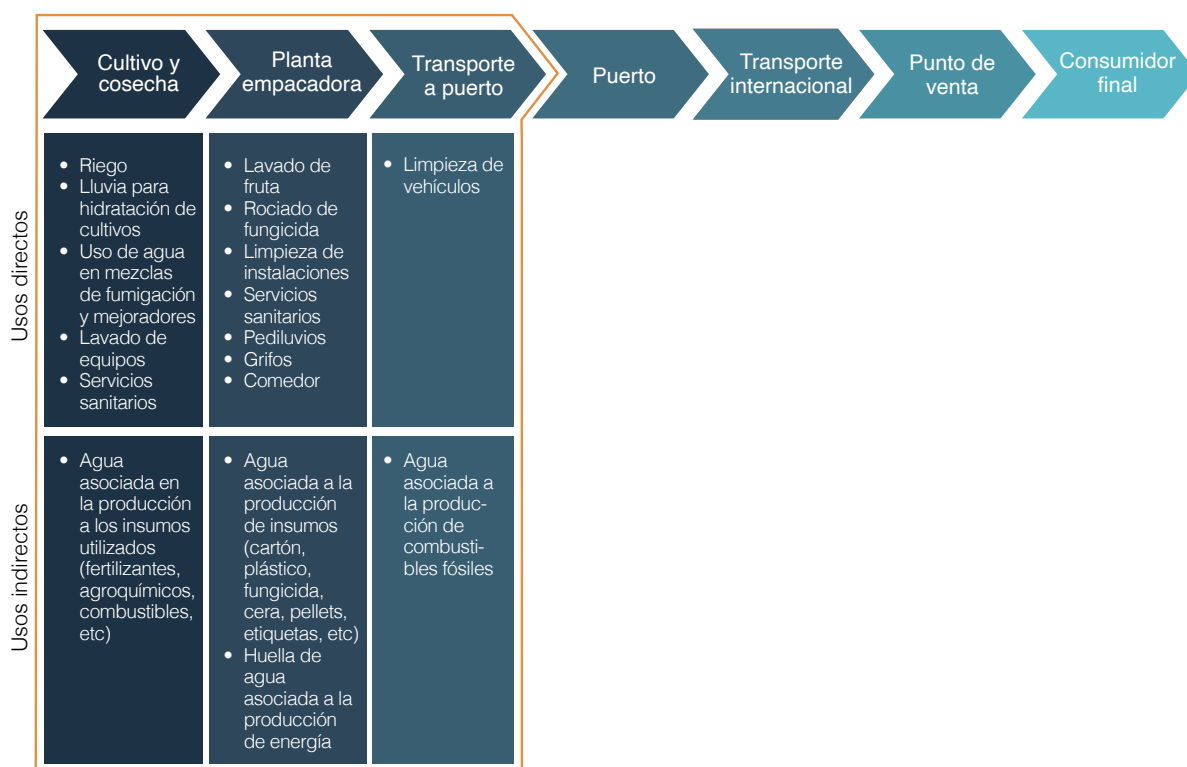
sobre el acceso a los datos, la presente guía contempla únicamente los cálculos para estimar la **huella de agua por uso directo del recurso, con un enfoque empresarial** (Figura 14). No contempla un análisis de ciclo de vida completo, ya que no incluye el análisis de impactos por la huella de agua derivada de la producción de insumos y energía.

Figura 13. Etapas del proceso productivo de la piña de exportación y alcance de la guía



Fuente: Elaboración de los autores.

**Figura 14.** Usos directos e indirectos del agua en la producción de la piña de exportación



**Fuente:** Elaboración de los autores.

Conforme lo indicado por la norma ISO 14046, el objetivo del cálculo de la huella de agua es estimar los efectos potenciales por utilizar el recurso hídrico en las actividades de la organización y gestionarlos (COSUDE y CADIS, 2017). Por lo tanto, el resultado que se obtendrá al aplicar estas orientaciones estará dado en términos de efectos **ambientales potenciales en el agua** por la producción de piña en la finca y su empaque

El proceso de evaluación propuesto por la norma ISO 14046 será el utilizado como base para esta guía. Asimismo, como se indicó con anterioridad, deben contemplarse los efectos que la producción tendrá sobre la **cantidad (consumo o uso consuntivo)**<sup>7</sup> y la **calidad del**

<sup>7</sup> Uso consuntivo del agua, se refiere a aquellas actividades que ocasionan que se pierda un determinado volumen de agua de la cuenca hidrográfica de donde fue extraída; es decir, se afecta la cantidad de agua disponible para otros usuarios. Las pérdidas de agua pueden darse por evaporación, evapotranspiración del cultivo, incorporación de agua en el producto, o bien a descargas de agua en una cuenca distinta de donde se extrajo originalmente.

**recurso (uso degradativo)**<sup>8</sup> (ISO, 2014; Vallejo, 2015). Para lo cual, la guía explica los métodos más recomendados y utilizados en la literatura para estimar los efectos potenciales.

Los impactos serán obtenidos en un nivel denominado “punto medio”, que toma en cuenta las afectaciones que se pueden dar en el agua entre el momento de la liberación de una sustancia en el agua o el consumo del recurso, y previo a su efecto final de daño (Vallejo, 2015; Vallejo *et al.*, 2017). Este nivel de afectación se encuentra respaldado científicamente y es el más común para el reporte de resultados (COSUDE y CADIS, 2017; Vallejo *et al.*, 2017).

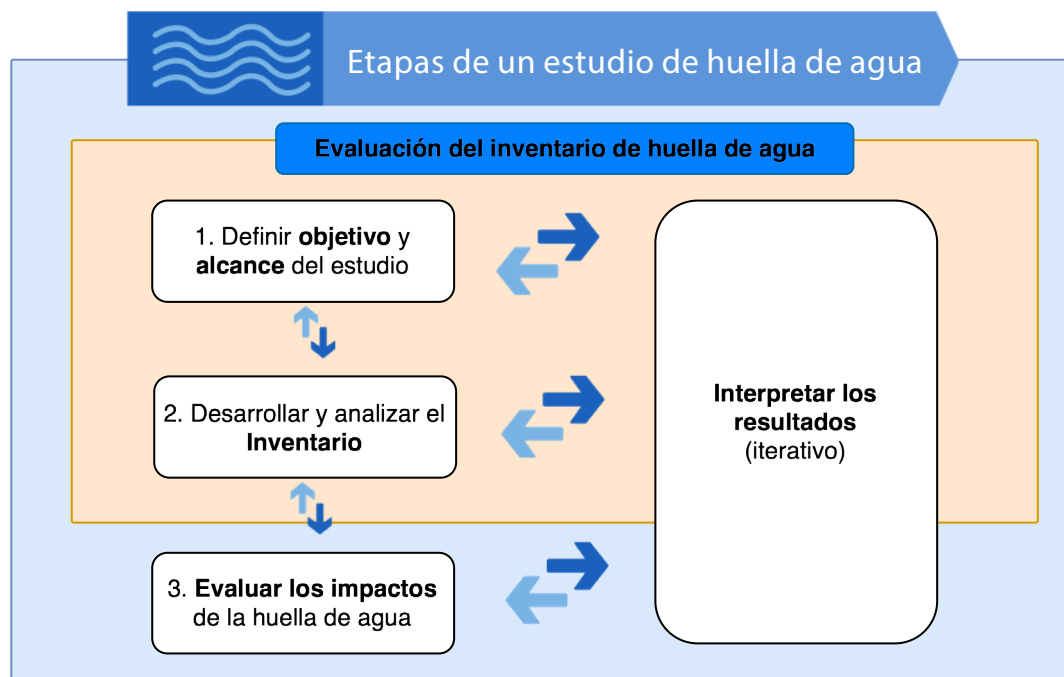
En la Figura 15, se muestra gráficamente el proceso de medición de la huella de agua, que comienza con la delimitación de un objetivo y alcance para el estudio, seguido por la elaboración del inventario, y posteriormente con

<sup>8</sup> Uso degradativo del agua, se refiere a aquellas actividades que ocasionan que se afecte la calidad original del agua utilizada. Puede darse, por ejemplo, cuando se incorpora sustancias como agroquímicos, fertilizantes o materia orgánica al agua.

la evaluación de los impactos. Este es un proceso recurrente e iterativo de interpretación y revisión de los resultados para que la empresa verifique

el cumplimiento de los objetivos propuestos con la mayor claridad y certeza posibles (FCH y Agualimpia, 2016; Vallejo *et al.*, 2017).

**Figura 15.** Etapas del estudio de la huella de agua



**Fuente:** Adaptado de ISO. 2014. *Estándar internacional ISO 14046:2014(E): Gestión ambiental - Huella hídrica - Principios, requisitos y directrices.* [International standard ISO 14046:2014(E): Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines].

## 3.2. Conceptos generales para entender la huella de agua

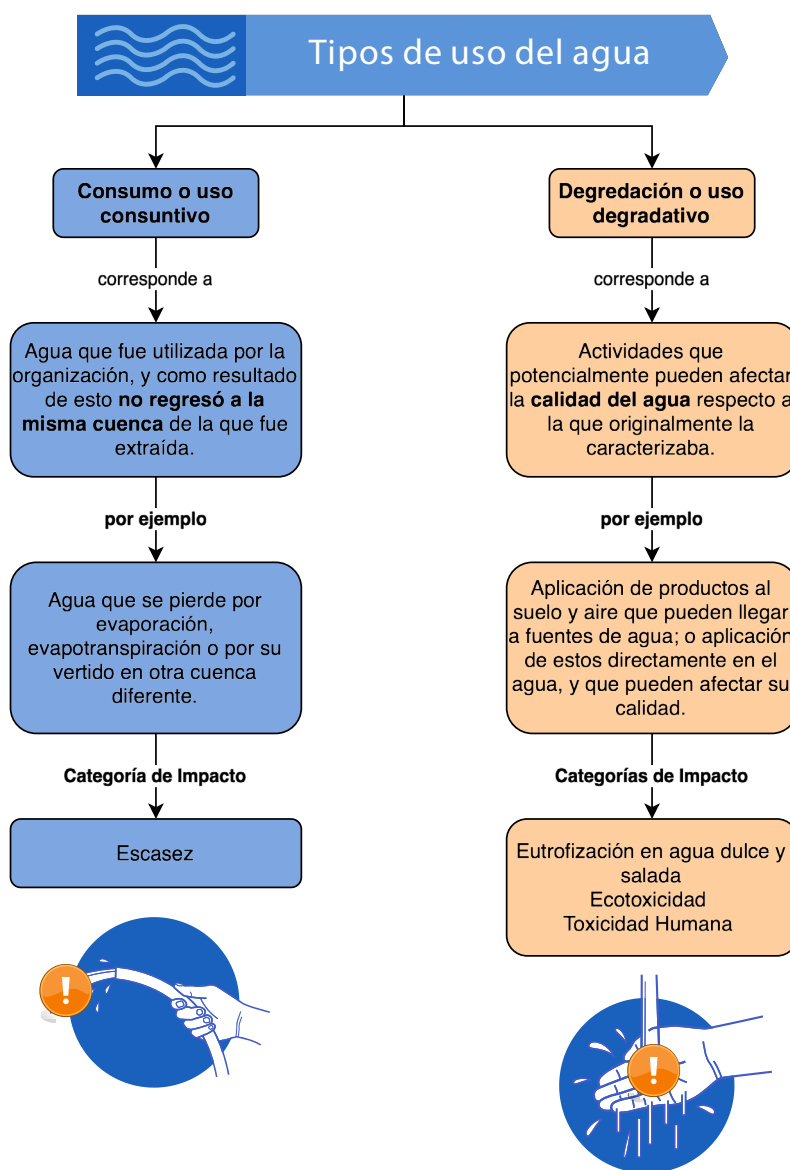
- **Huella de agua:** métrica(s) que cuantifica los posibles impactos ambientales relacionados con el agua (ISO, 2014; Vallejo *et al.*, 2017).
- **Uso directo del agua:** usos que tienen lugar en las instalaciones de la empresa para sus operaciones (Vallejo, 2015; FCH y Agualimpia, 2016; Vallejo *et al.*, 2017).
- **Usos indirectos del agua:** consumos de agua durante la producción de las materias primas o en la generación de energía que tienen relación con las actividades de la empresa pero que no se han llevado a cabo en la misma (Vallejo, 2015; FCH y Agualimpia, 2016; Vallejo *et al.*, 2017).
- **Cuenca hidrográfica:** área donde el agua llovida que escurre en la superficie drena por gravedad a un río, lago, laguna, etc. (ISO, 2014; Vallejo *et al.*, 2017). Las cuencas están generalmente definidas por los ríos principales en una región y país dado (Vallejo *et al.*, 2017).
- **Uso de agua por actividades humanas:** cualquier extracción o liberación de agua, o su uso dentro de la misma cuenca, que afecte la cantidad de agua o su calidad (ISO, 2014; Vallejo *et al.*, 2017). Es importante diferenciar entre dos tipos de usos de agua (Figura 16): consumo de agua (volumen que se pierde de la cuenca) y uso degradativo del agua (afectación a la calidad).
- **Calidad del agua:** características físicas, químicas y biológicas del agua requeridas

para que el consumo del ser humano o los ecosistemas (ISO, 2014; Vallejo *et al.*, 2017).

- **Categoría de impacto:** clasificación que representa un aspecto ambiental de importancia relacionado con el uso del agua en las actividades productivas del sector (Vallejo, 2015; Vallejo *et al.*, 2017). Las categorías de impacto más importantes para el sector piñero se resumen en la Figura 17 y se detallarán en secciones posteriores de la guía.

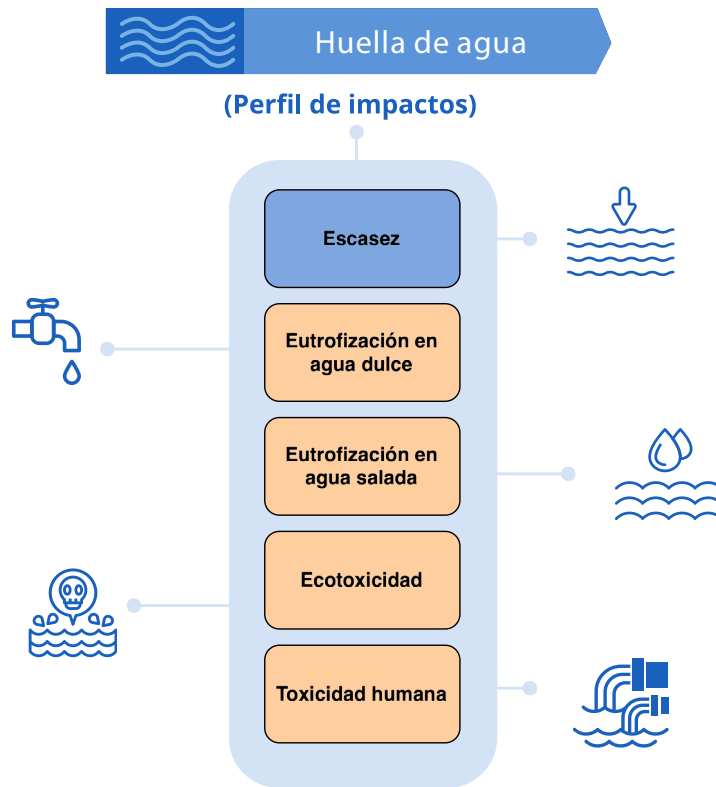
- **Indicador de categoría de impacto:** corresponde al valor numérico de cada impacto (ISO, 2014; Vallejo *et al.*, 2017) estimado al multiplicar el consumo de agua o cantidad de una sustancia emitida según corresponda, y un valor conocido como el factor de caracterización (FC) (Vallejo, 2015; Suppen, 2014; Vallejo *et al.*, 2017), tal como se muestra en la Figura 18.

Figura 16. Tipos de usos de agua



Fuente: Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

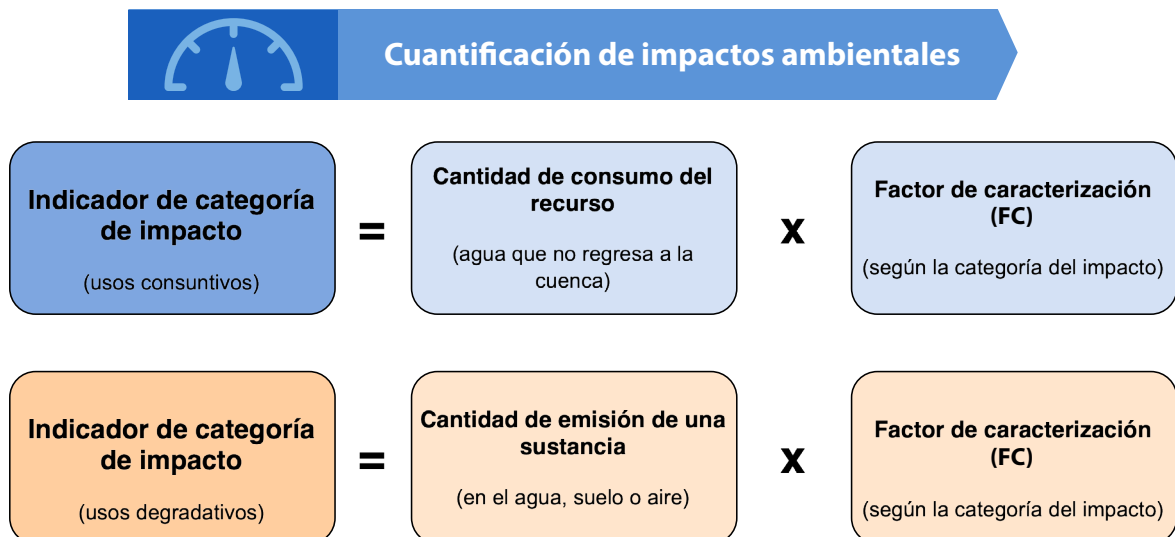
Figura 17. Categorías de Impacto potenciales para reportar la huella de agua



Nota: En azul se señalan las categorías relacionadas al consumo de agua. En naranja se señalan las categorías relacionadas a la degradación.

Fuente: Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

Figura 18. Cuantificación de los indicadores de categorías de impactos



Fuente: Adaptado de ISO. 2014. *Estándar internacional ISO 14046:2014(E): Gestión ambiental - Huella hídrica: Principios, requisitos y directrices*. [International standard ISO 14046:2014(E): Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines].

## 3.3. Paso 1: Definir el objetivo y el alcance del estudio

El primer paso que debe realizar la empresa es responder a cuatro preguntas básicas, que le permitirán definir el objetivo y alcance del estudio (Vallejo, 2015; FCH y Agualimpia, 2016; Vallejo *et al.*, 2017); estas son:

- ¿Por qué se realizará el estudio?
- ¿Qué espera obtener su empresa?
- ¿Como se utilizarán los resultados?

d. ¿Hacia quién van dirigidos los resultados?

### 3.3.1. Objetivo

El **objetivo** del estudio es un enunciado que debe incluir al menos los aspectos enlistados en la Figura 19. La figura también presenta un ejemplo de cómo una empresa puede definir el objetivo del estudio.

Figura 19. Componentes del objetivo del estudio de la huella de agua



*Nota:* Un estudio completo de ciclo de vida contempla la estimación de los impactos potenciales de una actividad, proceso, producto o empresa, incluyendo aquellos no relacionados a la gestión del recurso hídrico. Para efectos de esta guía, se muestra únicamente la estimación de los impactos asociados a la gestión del agua, que dará el perfil de huella de agua de la empresa.

**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L. 2015. *Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en Plantas Empacadoras de piña en Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica; Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/18333es>

La definición del objetivo es un proceso iterativo durante todo el desarrollo del estudio, es decir, debe ser constantemente revisado y ajustado (ver Figura 15). Además, los procedimientos,

datos, cálculos y suposiciones que se realicen, deben corresponder con el objetivo propuesto (FCH y Agualimpia, 2016; Vallejo *et al.*, 2017).

### 3.3.2. Alcance

El **alcance** será una descripción del estudio de huella de agua más amplia respecto al objetivo definido y deberá incluir al menos los aspectos que se muestran en la Figura 20. La

figura también ejemplifica cómo una empresa puede delimitar el alcance del estudio. De la misma forma que el objetivo, el proceso de definir el alcance es iterativo y debe ajustarse y actualizarse conforme se avanza en el desarrollo del estudio.

Figura 20. Conformación del alcance del estudio de huella de agua



Fuente: Adaptado de Vallejo, A. L. 2015. *Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en Plantas Empacadoras de piña en Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica; Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/8333es>

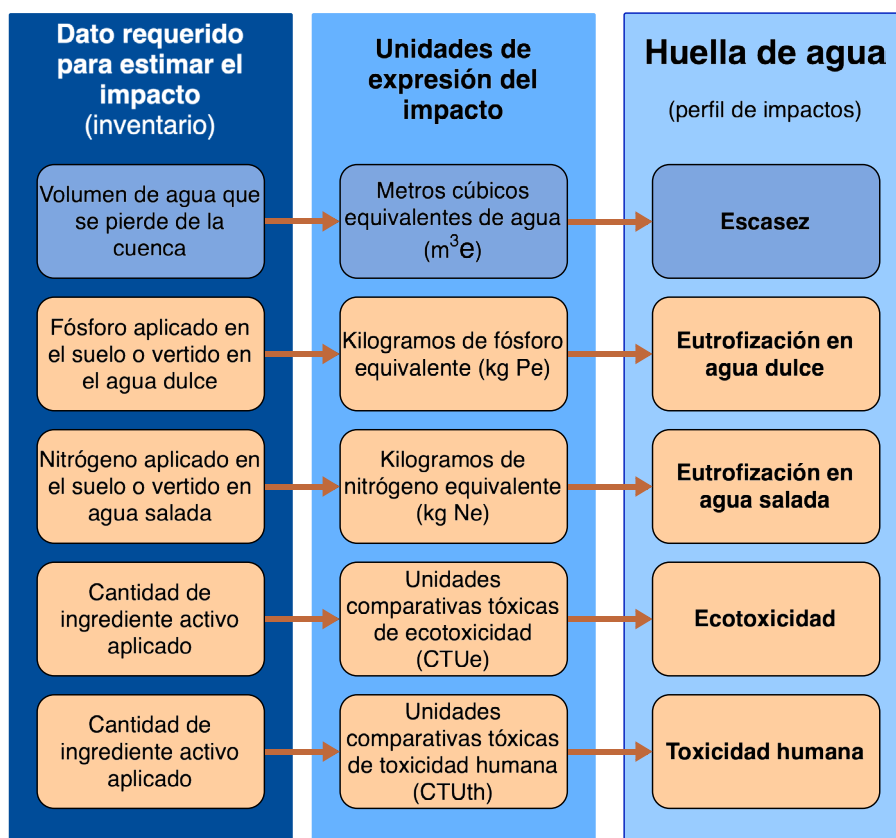
## 3.4. Paso 2: Desarrollar el inventario de huella de agua

El segundo paso corresponde a recopilar la información y elaborar el inventario de huella de agua, el cual es un documento que contiene organizada la información, datos y cálculos para el estudio (ISO, 2014; Vallejo, 2015; Vallejo *et al.*, 2017). Es la fase más crítica en cuanto al tiempo que requiere y a la calidad de los datos que se necesitan para obtener resultados confiables y trazables (COSUDE y CADIS, 2017; FCH y Agualimpia, 2016).

### 3.4.1. Recolección de datos

La información recolectada deberá corresponder al año de estudio definido en el alcance. Los datos requeridos van a estar asociados a los impactos que se vayan a estimar. La Figura 21 proporciona una orientación de la información necesaria para calcular los impactos potenciales, los cuales en conjunto conformarán el perfil de huella de agua.

Figura 21. Datos requeridos en el inventario por tipo de categoría de impacto



Fuente: Elaboración de los autores.



### Recomendación:

Se recomienda organizar los datos en una plantilla elaborada en hojas de cálculo (por ejemplo, Excel), para facilitar su manejo.

Se debe tomar en cuenta la calidad de los datos a obtener y utilizar, los cuales deberán ser los siguientes en orden de prioridad.

1. **Mediciones directas o cálculos (datos primarios)** (INTECO, 2015). Por ejemplo, un dato directamente registrado de un contador de agua.
2. **Fuentes secundarias de información** tales como referencias de literatura o bases de datos debidamente justificadas (**datos secundarios**) (INTECO, 2015). Por ejemplo, información del FAOSTAT desarrollada por la FAO para datos climáticos (Vallejo *et al.*, 2017) o referencias de estudios disponibles para el sector piñero.

### 1.4.1.1. Etapa de campo

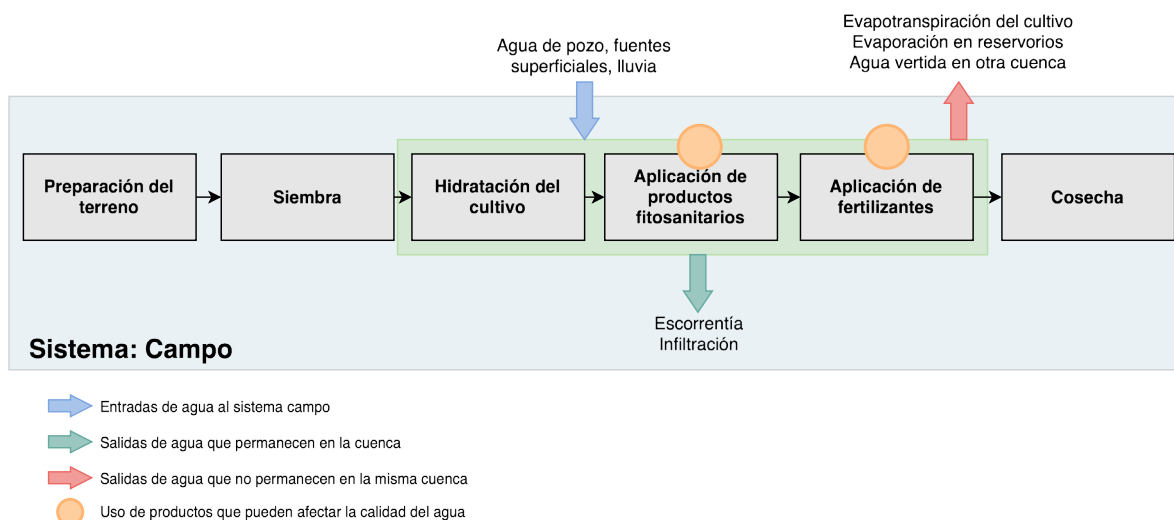
Conforme lo mostrado en la Figura 21, se requiere determinar un volumen de agua que no regresa a la misma cuenca hidrográfica de

donde se extrae el agua que se utiliza en los procesos. Asimismo, es necesario determinar la cantidad aplicada de los diferentes ingredientes activos de los productos y la cantidad de fósforo y nitrógeno que pudo haber llegado a cuerpos de agua a través de los aportes de estos nutrientes al suelo, al aire o directamente por aguas residuales.

Para hacer esto, se recomienda como primer paso **elaborar un diagrama** que muestre las entradas y salidas de agua en los procesos que se realizan en campo, e indicar aquellas actividades que potencialmente puedan afectar la calidad del agua (ver ejemplo en Figura 22).

A partir de la identificación inicial, se procede a recopilar los datos de entradas y salidas de agua, así como el de uso de productos Cuadro 13 brinda algunas orientaciones de cómo llevarlo a cabo.

**Figura 22.** Diagrama de identificación del balance de agua y uso de productos



**Fuente:** Elaboración de los autores.

**Cuadro 13.** Información de referencia para recopilar en el inventario de la huella de agua directa en el sistema campo

Información general	Información detallada	Fuentes posibles de información
Datos de la finca	<ul style="list-style-type: none"> <li>Hectáreas totales cultivadas (ha)</li> <li>Cuenca hidrográfica a la que pertenece</li> <li>Cuerpo de agua por el que se extrae el agua</li> <li>Cuerpo de agua donde se vierte el agua de la finca</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registros</li> <li>Información geoespacial</li> <li>Mapas de cuencas del país</li> <li>Mapas geográficos</li> </ul>

Información general	Información detallada	Fuentes posibles de información
Abastecimiento de fuentes de agua para el cultivo (pozos, ríos, etc.)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen y frecuencia de riego</li> <li>Volumen de agua incorporado en las mezclas de productos (fitosanitarios y fertilizantes)</li> <li>Ubicación geográfica y cuenca de donde se extrae el agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registros</li> <li>Medidores</li> <li>Reportes, bitácoras, boletas o informes</li> <li>Información aportada por la empresa que brinda el servicio de agua</li> <li>Información geoespacial</li> </ul>
Abastecimiento natural de agua para el cultivo (agua llovida)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Condiciones climáticas de la zona:</li> <li>precipitación mensual (mm/mes)</li> <li>temperaturas mínima y máxima promedio mensual (°C)</li> <li>humedad promedio mensual (%)</li> <li>insolación (horas) velocidad del viento promedio mensual (m/s)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estaciones meteorológicas propias o cercanas</li> <li>Instituto meteorológico del país</li> <li>Programas especializados para el sector (p.ej. CLIMWAT de la FAO)</li> <li>Reportes climáticos de los años en estudio</li> </ul>
Evapotranspiración del cultivo	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evapotranspiración del cultivo total (m<sup>3</sup>/año)*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mediciones directas con tanque evaporímetro o lisímetro</li> <li>Estaciones meteorológicas propias o cercanas</li> <li>Programa CROPWAT desarrollado por la FAO (<a href="#">Anexo 4</a>)</li> <li>Instituto meteorológico del país</li> <li>Publicaciones del sector en el país respectivo</li> <li>Referencias en la literatura (p.ej. Allen <i>et al.</i>, 2006)</li> </ul>
Evaporación de reservorios de agua	<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaporación (m<sup>3</sup>/año)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Mediciones directas con tanque evaporímetro o lisímetro</li> <li>Estaciones meteorológicas propias o cercanas</li> <li>Instituto meteorológico del país</li> <li>Referencias de literatura</li> </ul>
Cantidad de fertilizantes añadidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad de fósforo en la aplicación de fertilizantes y su presentación (kg)</li> <li>Cantidad de nitrógeno en la aplicación de fertilizantes y su presentación (kg) (en caso de estar cerca de fuentes de agua salada)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programas de fertilización</li> <li>Registros de aplicación</li> <li>Reportes, bitácoras, boletas o informes</li> </ul>
Cantidad de productos fitosanitarios añadidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tipos de productos fitosanitarios utilizados (formulación, concentración, ingrediente activo)</li> <li>Cantidad del ingrediente activo aplicado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Programas de fumigación</li> <li>Registros de aplicaciones</li> <li>Reportes, bitácoras, boletas o informes</li> <li>Hojas de seguridad de los productos químicos (MSDS)</li> <li>Pruebas químicas de laboratorio</li> <li>Investigaciones científicas</li> </ul>

Notas: Las celdas en color celeste se utilizarán para estimar los consumos o usos consuntivos del agua, y aquellas con sombreado verde, se relacionarán a impactos por el uso degradativo del agua.

\* Se conoce como "evapotranspiración (ET) la combinación de dos procesos separados por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo por evaporación y por otra parte mediante transpiración del cultivo. (...) La evaporación y la transpiración ocurren simultáneamente y no hay una manera sencilla de distinguir entre estos dos procesos. (...) En las primeras etapas del cultivo, el agua se pierde principalmente por evaporación directa del suelo, pero con el desarrollo del cultivo y finalmente cuando este cubre totalmente el suelo, la transpiración se convierte en el proceso principal. (...) La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. Esta unidad expresa la cantidad de agua perdida de una superficie cultivada en unidades de altura de agua» (Allen *et al.*, 2006).

Fuente: Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/8333es>

### 3.4.1.2. Etapa en la planta empacadora

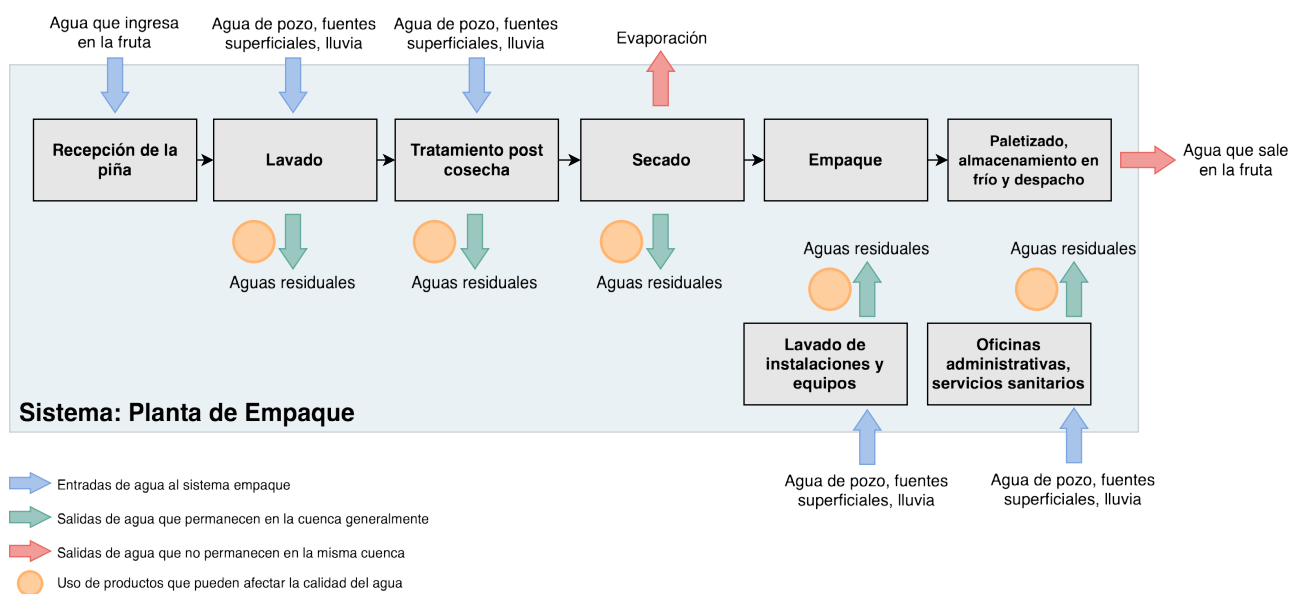
Retomando la Figura 22, y semejante al proceso en la etapa de campo, se debe determinar el volumen de agua que no regresa a la misma cuenca hidrográfica de donde se extrae el agua que se utiliza en los procesos. Además, será necesario calcular la cantidad aplicada de los ingredientes activos que contienen los productos utilizados, así como la cantidad de fósforo y nitrógeno que pudo haber llegado a cuerpos de agua a través de los aportes de estos nutrientes al suelo, al aire o directamente

por aguas residuales.

Como primer paso es recomendable **elaborar un diagrama** para comprender el balance entre entradas y salidas de agua en los procesos que se realizan en planta empacadora, y poder identificar aquellos procesos que pueden tener un impacto potencial en la calidad del recurso hídrico (ver ejemplo en Figura 23).

El Cuadro 14 contiene la información sugerida para recopilar en la etapa en planta empacadora. La información recolectada deberá ajustarse según sea el caso particular de cada empresa.

**Figura 23.** Diagrama de identificación del balance de agua y uso de productos en la etapa de empaque



**Fuente:** Elaboración de los autores.

**Cuadro 14.** Información de referencia para recopilar en el inventario de la huella de agua directa en el sistema de planta de empaque

Información General	Información detallada	Fuentes posibles de información
Abastecimiento de agua (entradas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen total de agua de entrada a los procesos (idealmente por proceso)</li> <li>Cuenca de la que fue extraída el agua</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registros, bitácoras</li> <li>Medidores o contadores</li> <li>Aforos y estimación sobre estos cálculos</li> </ul>
Aguas residuales (vertidas, reutilizadas, infiltradas)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen de agua que se vierte de los procesos de lavado y determinar en qué cuenca es vertida</li> <li>Volumen de agua que se infiltra</li> <li>Volumen de agua reutilizada y frecuencia de cambio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Registros, bitácoras</li> <li>Medidores o contadores</li> <li>Caudal de descarga, aforos</li> <li>Estimación a partir de la medición del volumen de los tanques y frecuencia de cambio del agua</li> </ul>

Información General	Información detallada	Fuentes posibles de información
Evaporación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen de agua que se evapora de los procesos de secado</li> <li>Volumen de agua que se evapora de reservorios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estimaciones de datos primarios como mediciones de evaporación</li> <li>Estimaciones con base en referencias de literatura</li> </ul>
Agua en la fruta	<ul style="list-style-type: none"> <li>Volumen de agua que sale de la cuenca con el total de producción de piña</li> </ul>	Datos de producción <ul style="list-style-type: none"> <li>Estudios realizados por la organización sobre la composición de la piña</li> <li>Referencias de literatura sobre la humedad en la piña</li> </ul>
Materia orgánica en el agua vertida	<ul style="list-style-type: none"> <li>Demanda biológica de oxígeno (DBO) contenido en el agua de salida de la planta empacadora</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pruebas de laboratorio y reportes operacionales</li> <li>Referencias de literatura o reportes de aguas residuales de otras piñeras</li> </ul>
Aplicación de productos en tratamiento post cosecha	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cantidad de ingrediente activo del fungicida aplicado</li> <li>Cantidad de otros productos aplicados</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Bitácoras o registros de aplicación</li> <li>Referencias de literatura del sector piñero</li> </ul>

*Nota:* Los datos señalados en color celeste se utilizarán para estimar los consumos o usos consuntivos del agua. Los datos señalados en verde se utilizarán para obtener los impactos por el uso degradativo del agua. El vertido de agua será utilizado para determinar el impacto por ambos usos.

*Fuente:* Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO.

## 3.5. Paso 3: Evaluar los impactos de la huella de agua

Después del desarrollo del inventario, se procederá a realizar la estimación de los impactos potenciales de huella de agua. Para esto, se recomienda seguir el proceso de cálculo con base en las metodologías comúnmente utilizadas para obtener el factor de caracterización (FC) y su respectivo indicador de categoría de impacto (COSUDE y CADIS, 2017; Vallejo, 2015; Suppen, 2014) (ver Figura 18).

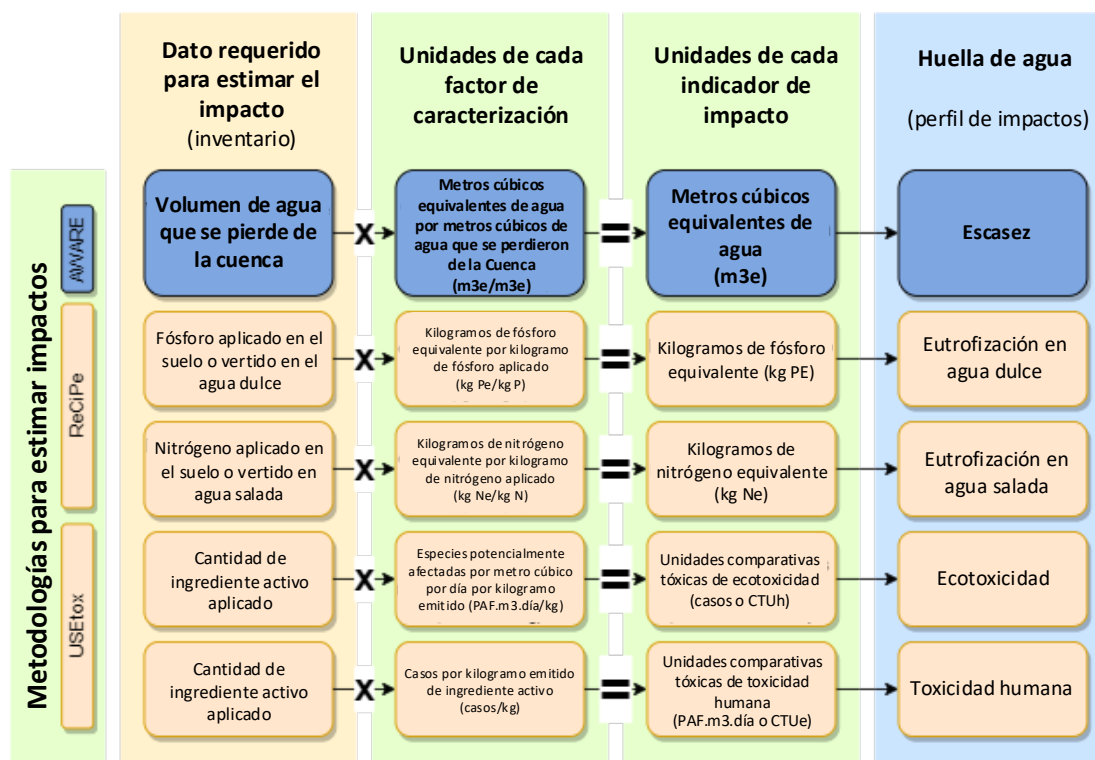
El resultado final de este paso es un **perfil de huella de agua**, que se compone del conjunto de indicadores de impacto por categoría (INTECO, 2015). Se ilustra en la Figura 24 los datos requeridos, las unidades del CF, las metodologías a usar y la expresión del indicador de cada clasificación de impacto.



### Importante

Si la empresa decide estimar únicamente algunos impactos particulares o bien, un solo impacto, este resultado no podrá llamarse perfil de huella de agua. En este caso, se deberá llamar al resultado indicador de huella de agua (por ejemplo, indicador de huella de agua por eutrofización) (INTECO, 2015).

Figura 24. Relacionamiento de datos del inventario y la evaluación de impactos



Nota: En azul se ilustra el indicador relacionado al uso consuntivo y en naranja los asociados a usos degradativos del agua. AWARE=Available WATER REmaining por sus siglas en inglés.

Fuente: Elaboración de los autores.

### 3.5.1. Impactos por uso consuntivo o consumo de agua

#### 3.5.1.1. Escasez

Se genera un **impacto potencial de escasez** cuando por la actividad de la empresa, un volumen de agua no regresa a la misma cuenca de la que se extrajo. Por lo que otros usuarios potenciales ya no podrían consumirla para satisfacer sus necesidades (UNEP, 2012). El agua se pierde de la siguiente forma (Vallejo, 2015; Vallejo *et al.*, 2017):

- **sistema campo:** evapotranspiración del cultivo, evaporación, o vertidos a una cuenca diferente, y
- **sistema planta de empaque:** evaporación, vertidos a una cuenca diferente, o agua incorporada en la fruta.

En el [Anexo 3](#) se podrá consultar la ficha de resumen de la huella de agua por escasez. A continuación, se describe el método de cálculo.

#### 3.5.1.1.A Método de cálculo

Para la estimación del indicador de impacto se hace uso de la metodología AWARE (*Available WATER REmaining*, por sus siglas en inglés). La estimación se hace a través de la multiplicación del volumen total de agua perdido de la cuenca, por un CF según la ubicación geográfica, tal como se muestra en la siguiente ecuación. El resultado estará dado en términos de metros cúbicos equivalentes de agua ( $m^3e$ ) (WULCA, 2017; Vallejo *et al.*, 2017).

$$HA_{escasez} (m^3e) = VCt \times FC_{regional}$$

**Donde:**

**HA escasez:** valor del impacto en escasez en metros cúbicos equivalentes ( $m^3e$ ).

**VCt:** volumen total de agua extraída de la cuenca ( $m^3$ ).

**FCregional:** factor de caracterización dado por AWARE ( $m^3e/m^3$ ).

### 3.5.1.1.B Recolección de información

**Dato de inventario requerido (VCt):** El dato corresponde al volumen de agua en metros cúbicos ( $m^3$ ) que no regresa a la misma cuenca de la que fue extraída por eventos como la evapotranspiración del cultivo, la evaporación, los vertidos en una cuenca diferentes o el agua incorporada a la fruta.

**Factor de caracterización (FCregional):** factor expresado en metros cúbicos equivalentes de agua por metros cúbicos de agua extraída de la cuenca ( $m^3e/m^3$ ). Es un factor que depende de la ubicación geográfica y época del año. Su valor puede encontrarse en un rango entre 0,1 a 100, y se refiere a la cantidad de veces que el agua en la región no está disponible respecto al promedio mundial.

El factor de caracterización se descarga de la página oficial de la organización **Uso del Agua en la Evaluación del Ciclo de Vida** (WULCA,



## Importante

Más información sobre dónde obtener el acceso a los factores de caracterización (FC) se ofrece en el [Anexo 5](#). Factores de caracterización. La empresa deberá descargar e instalar el programa Google Earth para identificar los FC que correspondan a la ubicación geográfica de las operaciones.

por sus siglas en inglés), y se instala en la aplicación de Google Earth para su uso.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo del impacto de escasez.



## Recomendación:

Existen múltiples métodos para obtener los valores de evapotranspiración del cultivo, entre esos se resaltan los siguientes en orden de prioridad de uso:

- estación meteorológica;
- tanque evaporímetro para medir evaporación y evapotranspiración;
- lisímetros para determinar la evapotranspiración;
- balance hídrico con base en: medición de humedad (TDR), entradas y salidas, y características de suelo, y
- estimaciones indirectas a través de herramientas como el CROPWAT. Para mayor detalle del uso de la herramienta CROPWAT, consultar el [Anexo 4](#).

### Ejemplo: huella de agua por escasez

**Paso 1.** En una finca de 15 hectáreas de piña (latitud 10°35'31.50" N y longitud 84°29'23.67" O), un volumen total (VC) de agua se perdió en la cuenca por evapotranspiración durante el año de estudio como se describe a continuación.

Mes	Evapotranspiración de la piña (m³)	Mes	Evapotranspiración de la piña (m³)
Enero	5 250	Julio	10 200
Febrero	5 025	Agosto	9 720
Marzo	6 060	Septiembre	8 355
Abril	5 985	Octubre	7 185
Mayo	6 000	Noviembre	5 655
Junio	9 585	Diciembre	5 130
<b>Total</b>		<b>84 150</b>	

**Paso 2.** Para identificar el factor de caracterización mensual de escasez, busque la ubicación geográfica en la aplicación de Google Earth con las coordenadas indicadas.

Mes	CF (m³e/m³)	Mes	CF (m³e/m³)
Enero	0,3	Julio	0,2
Febrero	0,7	Agosto	0,2
Marzo	1,0	Septiembre	0,2
Abril	1,1	Octubre	0,2
Mayo	0,6	Noviembre	0,2
Junio	0,3	Diciembre	0,2

**Paso 3.** Realizar el cálculo del impacto potencial en escasez ( $HA_{escasez}$ ) por mes, según el factor de caracterización y el volumen total que se perdió de la cuenca. Cada dato mensual se estima de la siguiente manera:

$$HA_{escasez_{mes}} = VCt_{mes} \times FC_{regional,mes}$$

$$HA_{escasez_{enero}} = 5\,250\,m^3 \times 0,3 \frac{m^3e}{m^3}$$

$$HA_{escasez_{enero}} = 27\,777\,750\,m^3e$$

Se realiza el mismo procedimiento para cada mes y se suma el total anual. El resultado será:

Mes	$HA_{escasez}$ (m³e)	Mes	$HA_{escasez}$ (m³e)
Enero	1 575,0	Julio	2 040,0
Febrero	3 517,5	Agosto	1 944,0
Marzo	6 060,0	Septiembre	1 671,0
Abril	6 583,5	Octubre	1 437,0

Mayo	3 600,0	Noviembre	1 131,0
Junio	2 875,5	Diciembre	1 026,0
<b>Total</b>		<b>33 460,5</b>	

### 3.5.2. Impactos por uso degradativo del agua

Los indicadores de impactos potenciales de huella de agua son los relacionados con la eutrofización en agua dulce, la eutrofización en agua salada, la ecotoxicidad y la toxicidad humana, según aplique para la empresa. Cada indicado se explica a detalle a continuación.

#### 3.5.2.1. Eutrofización en agua dulce y agua salada

El fenómeno de eutrofización se da cuando se aporta en exceso nutrientes a un cuerpo de agua por condiciones naturales o por consecuencia humana. Esto ocasiona un crecimiento exponencial de algas, que lleva a una disminución del oxígeno y afectación de otras especies (Vallejo, 2015; Vallejo *et al.*, 2017). Esto puede darse en cuerpos de agua dulce o en cuerpos de agua salada, de la siguiente manera:

- **Sistema campo:** aplicación de fertilizantes con nitrógeno o fósforo (al suelo, aire o agua).

- **Sistema planta de empaque:** vertido de aguas residuales con altas cargas orgánicas.

El [Anexo 3](#) ofrece las fichas de trabajo para la eutrofización en agua dulce y en agua salada. A continuación, se describen los métodos de cálculo.

#### 3.5.2.1.A1 Método de cálculo de eutrofización en agua dulce

El valor del indicador de impacto se estima con la metodología ReCiPe, la cual asume que el factor principal causante de la eutrofización en agua dulce es el fósforo. Los resultados están dados en unidades de kilogramos de fósforo equivalente (kg Pe), como se muestra en la siguiente ecuación (Goedkoop *et al.*, 2013).

#### Ecuación 3.5.2.1a

$$HA_{\text{eutrof-d}} = m_{P_t} \times FC$$



### Recomendación:

Determinar la cantidad de fósforo de aguas residuales con base en lo propuesto por Vallejo *et al.* (2017) y Soya (1998), donde se acepta una relación de DBO5 con respecto al fósforo (P) de 100:1. Por esto se sugiere el uso de la ecuación aportada a continuación para estimar la cantidad de fósforo en aguas residuales.

$$m_{P_{total}} = DBO \times \frac{1}{100} \times Vd$$

$m_{P_{total}}$  = Cantidad de fósforo total vertido por las aguas residuales (kg P total)

DBO = demanda biológica de oxígeno (  $\frac{kg}{m^3}$  )

Vd = volumen de la descarga de aguas residuales (m<sup>3</sup>)

**Donde:**

**HA<sub>eutrof-d</sub>**: valor del impacto en eutrofización de agua dulce (kg Pe).

**M<sub>P,t</sub>**: cantidad de fósforo total lixiviado o vertido en suelo o agua (kg P total).

**FC**: factor de caracterización dado por ReCiPe (kg Pe/kg P total).

### 3.5.2.1.B1 Recolección de información

**Dato de inventario requerido (mPt)**: cantidad de fósforo que se aplicó en el suelo (p. ej. por fertilización) o fue vertido en el agua dulce (p. ej. aguas residuales o lixiviación de nutrientes) en kilogramos de fósforo total (kg P total).

**Factor de caracterización (FC)**: factor

expresado en kilogramos de fósforo equivalente por kilogramos de fósforo total vertido en agua o suelo (kg Pe/kg P total). Es un factor que depende de si el fósforo fue aplicado al suelo agrícola (p. ej. a través de fertilización) o vertido al agua dulce directamente. Además, depende del tipo de molécula en la que se encontraba el fósforo aplicado (fósforo, fosfato, ácido fosfórico o pentóxido de fósforo).

Los factores de caracterización se descargan en Excel de la [página oficial de la metodología ReCiPe](#) y se pueden consultar en el [Anexo 5](#) de esta guía (disponibles en inglés únicamente). A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo del impacto de eutrofización en agua dulce.

#### Ejemplo huella de agua por eutrofización de agua dulce

##### Actividad: uso de fertilizantes

**Paso 1.** Mediante el registro de aplicación de fertilizantes se determinó que para el año de estudio se aplicaron las siguientes cantidades en una finca de 15 hectáreas:

Procedencia del fósforo	Aplicación del fertilizante (kg/ha/año)	Cantidad de fósforo en el fertilizante (%)
Fertilizantes con fosfato	125	40
Fertilizantes con fósforo	3	20

Lo primero a realizar será determinar la cantidad de fósforo (es decir, la masa de fósforo, MP) aplicado por cada tipo de fertilizante:

$$\text{Masa de fósforo (MP)} = \text{hectáreas (ha)} \times \text{aplicación (kg/ha)} \times \frac{\text{Cantidad de fósforo (\%)}}{100}$$

$$\text{Masa del fosfato (MP}_{\text{fosfato}}) = 15 \text{ ha} \times 125 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \times \frac{40}{100}$$

$$\text{MP}_{\text{fosfato}} = 750 \text{ kg}$$

$$\text{Masa del fósforo (MP}_{\text{fósforo}}) = 15 \text{ ha} \times 3 \frac{\text{kg}}{\text{ha}} \times \frac{20}{100}$$

$$\text{MP}_{\text{fósforo}} = 9 \text{ kg}$$

**Paso 2.** Seguidamente, es necesario identificar los factores de caracterización que corresponden al medio natural donde se utilizó el fertilizante y el nombre de la sustancia que estaba presente en este.

Medio natural donde el fertilizante fue utilizado	Nombre de la sustancia	FC (kg Pe/ kg P <sub>emitido</sub> )
Suelo agrícola	Fosfato	0,033
Suelo agrícola	Fósforo	0,1

**Paso 3.** Realizar la estimación de los impactos potenciales por eutrofización de agua dulce a saber:

$$\text{Impacto en eutrofización por fosfato } (I_{Eut, fosfato}) = 750 \text{ kg} \times 0,033 \frac{\text{kg Pe}}{\text{kg P}}$$

$$I_{Eut, fosfato} = 24,75 \text{ kg Pe}$$

$$\text{Impacto en eutrofización por fósforo } (I_{Eut, fósforo}) = 9 \text{ kg} \times 0,1 \frac{\text{kg Pe}}{\text{kg P}}$$

$$I_{Eut, fósforo} = 0,9 \text{ kg Pe}$$

**Paso 4.** Realizar la sumatoria del total de impacto potencial por eutrofización de agua dulce por fertilización a saber:

$$\text{Impacto en eutrofización de agua dulce } (I_{Eut, dulce}) = 24,75 \text{ kg Pe} + 0,9 \text{ kg Pe}$$

$$I_{Eut, dulce} = 25,65 \text{ kg Pe}$$

#### Actividad: vertido de aguas residuales del proceso de lavado de la fruta

**Paso 1.** Con base en los reportes operacionales y registros con los que se cuenta de la planta de tratamiento de aguas residuales, se identificaron los siguientes datos de demanda biológica de oxígeno (DBO):

Reporte	DBO (kg/m <sup>3</sup> )
Primer reporte	250
Segundo reporte	315
Tercer reporte	245

Se deberá estimar el promedio de DBO de las aguas residuales (DBO<sub>p</sub>) a través de la suma de todos los valores obtenidos y dividiendo el resultado entre la cantidad de reportes.

$$\text{DBO promedio } (DBO_p) = (250 + 315 + 245) \div 3 = 270 \text{ kg/m}^3$$

**Paso 2.** Posteriormente, se deberá estimar la cantidad de fósforo (M<sub>Ptotal</sub>) que se vertió al agua según el valor del DBO<sub>p</sub>. Para este ejemplo, se asume que el valor total de agua vertida en ese período fue de 3 615 m<sup>3</sup> (Vd) de acuerdo con los registros de la empresa. Por lo tanto, la estimación se realiza de la siguiente forma:

$$\text{Masa de fósforo en el agua } (M_{Ptotal}) = DBO_p \times \frac{1}{100} \times Vd$$

$$M_{Ptotal} = 270 \times \frac{1}{100} \times 3\,615 = 9\,760,5 \text{ kg P}$$

**Paso 3.** Seguidamente, es necesario identificar los factores de caracterización que corresponden al medio natural donde se liberó el fertilizante, y el nombre de la sustancia en que el fósforo estaba

presente en este (en este caso se asume como fósforo total).

Medio natural donde el fertilizante fue liberado	Nombre de la sustancia	FC (kg Pe/ kg P emitido)
Agua dulce	Fósforo total	1

**Paso 4.** Realizar la estimación del impacto potencial en eutrofización de agua dulce a saber:

$$\text{Impacto en eutrofización de agua dulce } (I_{\text{Eut,dulce}}) = 9\,760,5 \text{ kg P} \times 1 \frac{\text{kg Pe}}{\text{kg P emitido}}$$

$$I_{\text{Eut,dulce}} = 9\,760,5 \text{ kg Pe}$$

### 3.5.2.1.A2 Método de cálculo de la eutrofización en agua salada

El valor del indicador de impacto se estima con la metodología ReCiPe, la cual asume que el factor principal causante de la eutrofización en agua salada es el nitrógeno. Los resultados estarán dados respectivamente en unidades de kilogramos de nitrógeno equivalente (kg Ne), como se muestra en la siguiente ecuación (Goedkoop *et al.*, 2013).

$$\text{Ecuación 3.5.2.1b}$$

$$HA_{\text{eutrof-S}} = m_{\text{Nt}} \times FC$$

**Donde:**

**HA<sub>eutrof-S</sub>**: valor del impacto en eutrofización de agua salada (kg Ne).

**m<sub>Nt</sub>**: cantidad de nitrógeno total usado o vertido en suelo o agua (kg N total).

**FC**: factor de caracterización dado por ReCiPe (kg Ne/kg N total).

### 3.5.2.1.B2 Recolección de información

**Dato de inventario requerido (m<sub>Nt</sub>)**: cantidad de nitrógeno que se aplicó en el suelo o fue vertido en el agua dulce o salada, expresada en kilogramos de nitrógeno total (kg N total).

**Factor de caracterización (FC)**: factor expresado en kilogramos de nitrógeno



## Recomendación:

Para determinar la cantidad de nitrógeno de aguas residuales, una relación de DBO<sub>5</sub> con respecto al nitrógeno (N) de 100:5 ha sido aceptada con base en lo propuesto por Vallejo *et al.* (2017) y Soya (1998). Por esto se sugiere el uso de la ecuación aportada a continuación para estimar la cantidad de nitrógeno en aguas residuales.

$$m_{\text{Ntotal}} = \text{DBO} \times \frac{5}{100} \times Vd$$

$m_{\text{Ntotal}}$  = cantidad de nitrógeno total vertido por las aguas residuales (kg N total)

$$\text{DBO} = \text{emanda biológica de oxígeno } \left( \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right)$$

$Vd$  = volumen de la descarga de aguas residuales (m<sup>3</sup>)

equivalente por kilogramos de nitrógeno total aplicado en suelo, agua dulce o agua salada (kg Ne/kg N total). Es un factor que depende de si el nitrógeno fue aplicado al suelo agrícola o al agua dulce o salada directamente. Además, depende del tipo de molécula en la que se encontraba el nitrógeno aplicado (nitrógeno, amonio, amoníaco, óxidos de nitrógeno).

Los factores de caracterización se descargan en Excel de la [página oficial de la metodología ReCiPe](#) (solo disponible en inglés) y se pueden consultar en el [Anexo 5](#) de esta guía.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo del impacto de eutrofización en agua salada.

### Ejemplo: huella de agua por eutrofización de agua salada

#### Actividad: uso de fertilizantes

**Paso 1.** Mediante el registro de aplicación de fertilizantes de la empresa se determinó que para el año de estudio se aplicaron las siguientes cantidades en una finca de 15 hectáreas:

Procedencia del nitrógeno	Aplicación del fertilizante (kg/ha/año)	Cantidad de nitrógeno en el fertilizante (%)
Fertilizantes con nitrógeno	125	20
Fertilizantes de amonio	4	50

Primero, la empresa necesita determinar la cantidad de nitrógeno (MN) aplicado por cada fertilizante, a saber:

$$\text{Masa de nitrógeno (MN)} = \text{hectáreas (ha)} \times \text{aplicación (kg/ha)} \times \frac{\text{cantidad de nitrógeno (\%)}}{100}$$

$$\text{Masa de nitrógeno (MN}_N) = 15 \text{ ha} \times 125 \text{ kg/ha} \times \frac{20}{100}$$

$$\text{MN}_N = 375 \text{ kg N}$$

$$\text{Masa de amonio (MN}_{\text{amonio}}) = 15 \text{ ha} \times 4 \text{ kg/ha} \times \frac{50}{100}$$

$$\text{MN}_{\text{amonio}} = 30 \text{ kg NH}_4$$

**Paso 2.** Seguidamente, es necesario identificar los factores de caracterización que corresponden al medio natural donde se utilizó el fertilizante, y el nombre de la sustancia en que el nitrógeno estaba presente.

Medio natural donde el fertilizante fue utilizado	Nombre de la sustancia	FC (kg Ne/ kg utilizado)
Suelo agrícola	Nitrógeno	0,13
Suelo agrícola	Amonio	0,10

**Paso 3.** La empresa realizará la estimación de los impactos potenciales por eutrofización de agua salada:

$$\text{Impacto eutrofización por nitrógeno } (I_{\text{Eut,nitrógeno}}) = 375 \text{ kg} \times 0.13 \frac{\text{kg Ne}}{\text{kg N}}$$

$$I_{\text{Eut,nitrógeno}} = 48,75 \text{ kg Ne}$$

$$\text{Impacto eutrofización por nitrógeno } (I_{\text{Eut,nitrógeno}}) = 30 \text{ kg} \times 0.10 \frac{\text{kg Ne}}{\text{kg NH}_4}$$

$$I_{\text{Eut,nitrógeno}} = 3 \text{ kg Ne}$$

**Paso 4.** Realizar la sumatoria del total de impacto potencial por eutrofización de agua salada por fertilización:

$$\text{Impacto en eutrofización de agua salada } (I_{\text{Eut,salada}}) = 48.75 \text{ kg Ne} + 3 \text{ kg Ne}$$

$$I_{\text{Eut,salada}} = 51.75 \text{ kg Ne}$$

#### Actividad: vertido de aguas residuales del proceso de lavado de la fruta

**Paso 1.** Con base en los reportes operacionales y registros de la empresa sobre la planta de tratamiento de aguas residuales, se identificaron los siguientes datos de demanda biológica de oxígeno (DBO):

Reporte	DBO (kg/m <sup>3</sup> )
Primer reporte	250
Segundo reporte	315
Tercer reporte	245

Se deberá estimar el promedio de DBO de las aguas residuales (DBO<sub>p</sub>), sumando todos los valores y dividiéndolo entre la cantidad de reportes.

$$\text{DBO promedio } (DBO_p) = (250 + 315 + 245) \div 3 = 270 \text{ kg/m}^3$$

**Paso 2.** Ahora se deberá estimar la cantidad de nitrógeno ( $M_{\text{Ntotal}}$ ) que se emitió al agua según el valor del DBO<sub>p</sub> conforme la fórmula siguiente. Para este ejemplo, se asume que el valor total de agua vertida en ese período fue de 3 615 m<sup>3</sup> (Vd):

$$\text{Masa de nitrógeno en el agua } (M_{\text{Ntotal}}) = DBO_p \times \frac{5}{100} \times Vd$$

$$M_{\text{Ntotal}} = 270 \times \frac{5}{100} \times 3\,615 = 48\,802,5 \text{ kg N}$$

**Paso 3.** Seguidamente, es necesario identificar los factores de caracterización que corresponden según el medio natural donde se liberó el fertilizante (p. ej. por lixiviación o aguas residuales), y la forma en que el nitrógeno estaba presente en este (en este caso se asume como nitrógeno total).

Medio natural donde fue liberado	Nombre de la sustancia	FC (kg Ne/ kg N <sub>vertido</sub> )
Agua dulce	Nitrógeno (N)	0,30

**Paso 4.** Realizar la estimación del impacto potencial en eutrofización de agua salada.

$$\text{Impacto en eutrofización de agua salada } (I_{\text{Eut,salada}}) = 48\,802.5 \text{ kg N} \times 0.30 \frac{\text{kg Ne}}{\text{kg N emitido}}$$

$$I_{\text{Eut,salada}} = 14\,640.75 \text{ kg Ne}$$

### 3.5.2.2. Ecotoxicidad y toxicidad humana

El uso de productos químicos orgánicos o inorgánicos puede llevar afectaciones potenciales de los ecosistemas y a la salud del ser humano. Esto puede darse de la siguiente manera:

- **sistema campo:** por la aplicación de productos fitosanitarios vertidos al suelo, aire o agua; y
- **sistema planta de empaque:** por la aplicación de productos fitosanitarios para tratamiento poscosecha que son vertidos al aire o agua.

En el [Anexo 3](#) se pueden consultar las fichas resumen de huella de agua por ecotoxicidad y toxicidad humana. A continuación, se describen los métodos de cálculo.

#### 3.5.2.2.A1 Método de cálculo por ecotoxicidad

La metodología USEtox se utiliza para estas categorías de impacto (Fantke *et al.*, 2015). Esta metodología permite obtener un resultado para ecotoxicidad expresado como la disminución de especies acuáticas o unidades comparativas tóxicas en el ecosistema (CTU<sub>e</sub>) (*ibid.*), como se muestra en la siguiente ecuación.

#### Ecuación 3.5.2.2a

$$HA_{\text{ecotox}} = m_x t \times FCx$$



### Importante

- Normalmente los registros de aplicaciones de productos reportan el total de la mezcla del producto comercial utilizado, sin embargo, para calcular el impacto por ecotoxicidad, se deberá determinar únicamente la cantidad del ingrediente activo que corresponda.
- Asimismo, si el producto utilizado es líquido, la empresa deberá hacer una conversión de litros a kilogramos. Esto lo puede realizar mediante el uso de la densidad del producto, cuyo valor que está registrado en las fichas técnicas de estos. Para realizar esto, se recomienda seguir el cálculo a continuación:

Masa de ingrediente activo ( $M_x$ ) =

$$\text{Aplicación (l)} \times \frac{\text{ingrediente activo (\%)}}{100} \times \text{densidad} \frac{\text{kg}}{\text{l}}$$

#### Donde:

**HA<sub>ecotox</sub>**: valor del impacto en ecotoxicidad en agua (CTU<sub>e</sub>).

**m<sub>x</sub>t**: cantidad de una sustancia dada ("x") total emitida al aire, suelo o agua (kg x).

**FCx**: factor de caracterización de una sustancia dada ("x"), proporcionado por USEtox (CTU<sub>e</sub>/kg x).

### 3.5.2.2.B1 Recolección de información



## Importante

Los factores de caracterización no han sido desarrollados todos los productos. Sin embargo, esto no significa que no tengan un impacto en los niveles de ecotoxicidad. Por ello, la exclusión de cualquier producto debe estar descrita en el alcance del estudio.

**Dato de inventario requerido ( $m_x t$ ):** cantidad de una sustancia dada ("x") que se versó en el aire, suelo o agua. Generalmente se usan como referencia los ingredientes activos de los productos utilizados. Sin embargo, se puede seleccionar los más relevantes para el inventario, siempre y cuando queden los criterios de justificación adecuadamente descritos en el alcance del estudio.

**Factor de caracterización (FC<sub>x</sub>):** factor expresado en la fracción de especies potencialmente afectadas (PAF) por metro cúbico por día, por cada kilogramo emitido de la sustancia "x" (PAF.m<sup>3</sup>. día/kg x). A las unidades de PAF.m<sup>3</sup>. día, también se les conoce como unidades comparativas tóxicas de ecotoxicidad (CTU<sub>e</sub>).

El CTU<sub>e</sub> es un factor que depende de la sustancia que se emita y el medio natural donde se emite, es decir, si fue liberado en el aire al interior de un hogar, el aire al interior de

un edificio industrial, el aire urbano, el aire rural, un cuerpo de agua dulce, un cuerpo de agua salado, el suelo natural o el suelo agrícola.

Los factores de caracterización se descargan en Excel de la página oficial de la [metodología USEtox®](#) (solo disponibles en inglés) y se pueden consultar en el [Anexo 5](#) de esta guía.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo del impacto de ecotoxicidad en agua dulce.

### Ejemplo: huella de agua por ecotoxicidad de agua dulce

**Paso 1.** Con base en el registro de aplicación de productos de la empresa para el año de estudio, se determinó que se utilizaron los siguientes ingredientes activos en las cantidades indicadas a continuación.

Ingrediente activo	Aplicado (kg)	Medio natural donde se libera
Glifosato	400	Suelo agrícola
Etefón (etileno)	1 500	Suelo agrícola

**Paso 2.** Se deberá identificar los factores de caracterización (FC) que correspondan para cada ingrediente activo. En caso de que no estén disponibles, se deberá justificar en el alcance.

Ingrediente activo	FC (CTU <sub>e</sub> o PAF.m <sup>3</sup> .día/ kg <sub>emitido</sub> )
Glifosato	71,8334829
Etefón (etileno)	101,8373734

**Paso 3.** Calcular el impacto de huella de agua por ecotoxicidad ( $I_{Ecotox}$ ) al realizar la multiplicación del FC respectivo y la cantidad aplicada del ingrediente activo.

$$\text{Impacto ecotox.glifosato } (I_{Ecotox,Glif}) = 400 \text{ kg} \times 71,8334829 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{día/kg}$$

$$I_{Ecotox,Glif} = 28\,733,39 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{día o CTUe}$$

$$\text{Impacto ecotox.etileno } (I_{Ecotox,Etileno}) = 1\,500 \text{ kg} \times 101,8373734 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{día/kg}$$

$$I_{Ecotox,Etileno} = 152\,756,06 \text{ PAF} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{día o CTUe}$$

**Paso 4.** Sumar el total del impacto potencial.

$$I_{Ecotox.} = 28\,733,39 \text{ CTUe} + 152\,756,06 \text{ CTUe}$$

$$I_{Ecotox.} = 181\,489,45 \text{ CTUe}$$

### 3.5.2.3.A2 Método de cálculo por toxicidad humana

La metodología USEtox se utiliza para estas categorías de impacto (Fantke *et al.*, 2015). Esta permite obtener un resultado para toxicidad humana, expresados como casos de enfermedad que potencialmente se pueden dar por el uso de sustancias. Estas categorías también son conocidas como unidades comparativas tóxicas en la salud humana ( $CTU_h$ ) (*ibid.*), y son calculadas como se muestra en la siguiente ecuación:

#### Ecuación 3.5.2.3a

$$HA_{toxh} = m_x \cdot t \times FCx$$

**Donde:**

**$HA_{toxh}$ :** valor del impacto en toxicidad humana ( $CTU_h$ ).

**$m_x \cdot t$ :** cantidad de una sustancia dada ("x") total emitida al aire, suelo o agua ( $\text{kg} \cdot \text{x}$ ).

**$FCx$ :** factor de caracterización de una sustancia dada ("x"), proporcionado por USEtox ( $CTU_h/\text{kgx}$ ).



## Importante

- Normalmente los registros de aplicaciones de productos reportan el total de la mezcla del producto comercial utilizado, sin embargo, para calcular el impacto en toxicidad humana, se deberá determinar únicamente la cantidad del ingrediente activo que corresponda.
- Asimismo, si el producto se encuentra en forma líquida, la empresa deberá hacer una conversión de litros a kilogramos. Esto se puede llevar a cabo mediante el uso de la densidad del producto, cuyo valor que está registrado en las fichas técnicas de estos. Se recomienda seguir para ello el cálculo a continuación:

Masa del ingrediente activo ( $M_x$ ) =

$$\text{Aplicación (l)} \times \frac{\text{Ingrediente activo (\%)}}{\text{Densidad } \frac{\text{kg}}{\text{l}}}$$

### 3.5.2.2.B2 Recolección de información



## Importante

No existen factores de caracterización desarrollados para la totalidad de los productos utilizados. Sin embargo, esto no significa que no genera un impacto en la toxicidad humana. Por ello su exclusión debe estar descrita en el alcance del estudio

#### Dato de inventario requerido ( $m_x t$ ):

cantidad de una sustancia “x” que se aplicó en aire, suelo o agua. Generalmente se usa de referencia los ingredientes activos de los productos utilizados. Sin embargo, se puede seleccionar los más relevantes para el inventario, siempre y cuando queden los criterios de justificación adecuadamente descritos en el alcance del estudio.

**Factor de caracterización (FCx):** factor expresado en la cantidad de casos de enfermedades por cada kilogramo emitido de la sustancia “x” (casos/kg x). A las unidades de casos también se les conoce como unidades comparativas tóxicas de toxicidad humana ( $CTU_h$ ). Es un factor que depende de la sustancia que se emita y el medio natural donde se emite, es decir, si fue liberado en el aire interior de un hogar, el aire interior de una industria, el aire urbano, el aire rural, un cuerpo de agua dulce,

un cuerpo de agua salado, el suelo natural o el suelo agrícola.

Los factores de caracterización se descargan en Excel de la página oficial de la [metodología USEtox®](#) (solo disponible en inglés) y se pueden consultar en el [Anexo 5](#) de esta guía.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo del impacto por toxicidad humana.

#### Ejemplo: huella de agua por toxicidad humana

**Paso 1.** Con base en el registro de aplicación de productos de la empresa para el año de estudio, se determinó que se utilizaron los siguientes ingredientes activos en las cantidades indicadas a continuación.

Ingrediente activo	Aplicado (kg)	Medio natural donde se libera
Glifosato	400	Suelo agrícola
Etefón (etileno)	1 500	Suelo agrícola

**Paso 2.** Se deberá identificar los factores de caracterización (CF) que correspondan para cada ingrediente activo. En caso de que no esté disponible, se deberá justificar en el alcance.

Ingrediente activo	CF ( $CTU_h$ o $casos/kg_{emitido}$ )
Glifosato	1,15932E-07
Etefón (etileno)	9,38854E-07

**Paso 3.** Calcular el impacto de huella de agua por toxicidad humana ( $I_{TH}$ ) al realizar la multiplicación del CF respectivo y la cantidad aplicada del ingrediente activo.

$$\text{Impacto TH.Glifosato } (I_{TH,Glif}) = 400 \text{ kg} \times 1,15932 \times 10^{-7} \text{ casos/kg}$$

$$I_{TH,Glif} = 0,000046 \text{ cases or CTUh}$$

$$\text{Impacto TH.Etileno } (I_{TH,Etileno}) = 1\,500 \text{ kg} \times 9,38854 \times 10^{-7} \text{ casos/kg}$$

$$I_{TH,Etileno} = 0,0014 \text{ casos o CTUh}$$

**Paso 4.** Sumar el total del impacto potencial:

$$I_{TH} = 0,000046 \text{ CTUh} + 0,0014 \text{ CTUh}$$

$$I_{TH} = 0,001446 \text{ CTUh}$$

### 3.5.3. Interpretación de la huella de agua

Los resultados se reportarán con respecto a lo que se conoce como “**unidad funcional**”, que es la unidad de referencia del desempeño de la huella (INTECO, 2015); es decir, la unidad que se utiliza para comparar año con año la variación del impacto, y determinar si está aumentando o disminuyendo. Para efectos de esta guía esta “unidad funcional” o “unidad del informe”, será la organización como un todo, según la delimitación de actividades, procesos y ubicación geográfica que se haya definido en el alcance (INTECO, 2015).

Una vez que la empresa tenga el perfil de huella, deberá actualizarse el alcance según los supuestos, los criterios de exclusión de procesos o actividad, los datos y su calidad, así como cualquier otro aspecto de relevancia que influya la interpretación de los resultados.

La empresa también deberá generar un análisis de los indicadores de impacto que se obtuvieron con base en el alcance definido, la cobertura de tiempo, las características de la región y cualquier limitación identificada. El Cuadro 15 proporciona una guía para apoyar la comprensión del perfil de impactos.



### Importante

Los resultados de huella de agua obtenidos al utilizar esta guía deberán reportarse y entenderse como el perfil de impactos por las actividades cuantificadas de la empresa en su totalidad. Sin embargo, cada indicador de impacto puede dividirse entre los datos de producción de piña de cada período correspondiente, con el fin de obtener el perfil de huella de agua por unidad producida (p. ej. por cada piña o kilogramo de piña producido). Este dato basado en la producción puede facilitar la comprensión y el análisis de resultados, pero no debe ser interpretado como la huella de agua del producto.

El análisis de resultados del inventario y del perfil de huella de agua debe conllevar a la identificación de los puntos relevantes y áreas que requieren atención en las actividades y procesos de la empresa. Esto servirá a priorizar las acciones de la empresa para mejorar la gestión del consumo del agua y prevenir como mitigar su degradación (Vallejo *et al.*, 2017). Entre más exhaustivo se haya realizado el estudio, será más eficiente y tendrá un mayor impacto.

**Cuadro 15.** Resumen de los indicadores de impacto y su interpretación

Categoría de impacto	Indicador de Impacto	Interpretación
Escasez (consumo)	m <sup>3</sup> e	El resultado se referirá al total de agua que en el año de estudio se perdió de la cuenca por las actividades directamente asociadas a las operaciones de la empresa. Esta agua ya no podrá ser consumida por otros usuarios. Al analizar el factor de caracterización (CF) del método AWARE, el factor varía entre 0,1 y 100, y se interpreta como la cantidad de veces que el agua en la región no se encuentra disponible respecto al promedio mundial (p. ej. un FC de 10, hará referencia a que el agua que queda disponible en dicha región será 10 veces menos que el promedio mundial) (COSUDE y CADIS, 2017). Esto varía de un sitio a otro, según la escasez de cada zona.
Eutrofización en agua dulce (degradación)	kg Pe	Los resultados del indicador corresponden a la cantidad de fósforo emitido directamente al agua, o que llega a cuerpos de agua por sus interacciones en suelo o aire, y que potencialmente puede causar un crecimiento exponencial y dañino de organismos en el cuerpo receptor de agua dulce más cercano (Goedkoop <i>et al.</i> , 2013).
Eutrofización en agua salada (degradación)	kg Ne	Los resultados del indicador corresponden a la cantidad de nitrógeno emitido directamente al agua, o que llega a cuerpos de agua por sus interacciones en suelo o aire, y que potencialmente puede causar un crecimiento exponencial y dañino de organismos en el cuerpo receptor de agua salada más cercano (Goedkoop <i>et al.</i> , 2013).
Ecotoxicidad (degradación)	CTU <sub>e</sub>	Los resultados refieren a la fracción de especies potencialmente afectadas (PAF, según sus siglas en inglés) por metro cúbico de agua por día (PAF.m <sup>3</sup> . día), debido a la emisión de los productos químicos en el proceso productivo (Fantke <i>et al.</i> , 2015). A estas unidades de medida también se les conoce como unidades comparativas tóxicas de ecotoxicidad (CTUe).
Toxicidad humana (degradación)	CTU <sub>h</sub>	Los resultados se interpretarán como el número de casos de enfermedades asociadas (efectos carcinogénicos o no carcinogénicos) que potencialmente podrían estar ocurriendo debido a la emisión de los productos químicos del proceso productivo (Fantke <i>et al.</i> , 2015). También a estas unidades de medida se les conoce como unidades comparativas tóxicas de toxicidad humana (CTUh).

**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

El perfil de impactos de huella de agua será la línea base de la organización para comparar su desempeño en el transcurso de los años, y contribuirá a la toma de decisiones sobre el resguardo del recurso hídrico. No es recomendable realizar una comparación entre resultados de diferentes estudios ajenos a la empresa, ya que sus alcances pueden ser muy diferentes.



## Importante

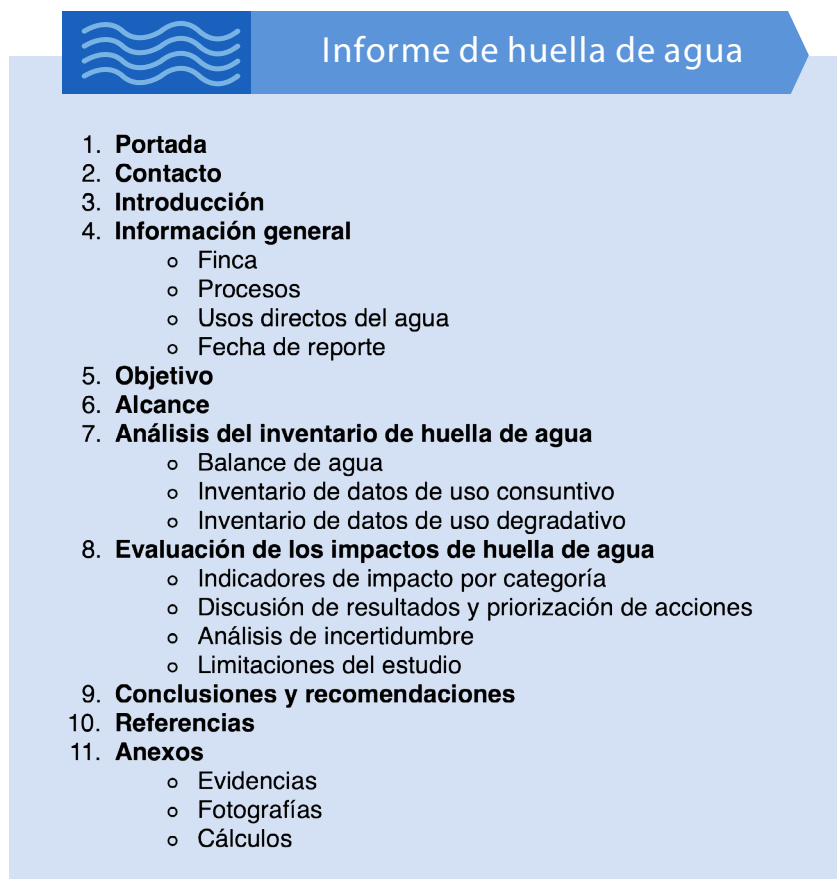
Los resultados de la huella de agua pueden estimarse en términos de afectación a la salud humana, a la calidad de los ecosistemas y a los recursos. Estos cálculos se conocen como impactos de punto final, y su proceso de estimación es diferente al explicado en la presente guía. Además, podrá realizarse una ponderación para reportar un único valor, que debe hacerse conforme a la norma ISO 14044 (INTECO, 2015). Es de resaltar que ambos aspectos se excluyen del alcance de esta guía

### 3.6. Informe para el reporte de la huella de agua

Para el informe de resultados se recomienda elaborarlo conforme a la estructura mostrada en la Figura 25. Debe ser lo más detallado y

transparente posible para garantizar una buena comprensión de la integralidad del alcance del estudio.

**Figura 25.** Estructura del informe



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO.; COSUDE y CADIS, (2017) y Vallejo, A. L. 2015. *Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en Plantas Empacadoras de piña en Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.

### 3.7. Revisión crítica del estudio de huella de agua

El estudio de huella de agua puede someterse a un proceso de verificación, el cual se conoce como revisión crítica, que contribuirá a la credibilidad y respaldo de este. La orientación de dicha etapa dependerá del objetivo y alcance definido por la empresa en el estudio, ya que puede realizarse a través de un panel de partes interesadas, por un experto o conforme a la norma ISO 14044<sup>9</sup> (INTECO, 2015).

Para la revisión crítica, la empresa deberá:

- poner el informe producido del estudio a disposición de las partes interesadas requeridas;

- recibir la visita a las instalaciones de los expertos para constatar la información proporcionada en el informe, y someter el estudio a un proceso de aprobación por un comité, cuando la revisión se realiza a través de un organismo de verificación y validación (Vallejo *et al.*, 2017).

Por otra parte, si la empresa no va a realizar la revisión crítica, puede realizar un informe de declaración poniendo a disposición los resultados y detalles asociados al estudio para el público meta (Vallejo *et al.*, 2017; COSUDE y CADIS, 2017).

### 3.8. Observaciones finales en relación con la huella de agua

Una evaluación de huella de agua tiene en primera instancia un enfoque científico (INTECO, 2015), por lo que es necesario constatar el uso de datos actualizados, con razonable exactitud y precisión y trazables en su origen. Además, la empresa debe realizar un estudio lo más integral y exhaustivo posible, contemplando todos sus sistemas, actividades y procesos para la toma de decisiones en escalas micro y macro para la gestión del recurso hídrico.

Adicionalmente, es relevante señalar que los valores de indicadores por categoría reflejan efectos que **potencialmente** pueden estar ocurriendo, pero no necesariamente están sucediendo en dicha magnitud (Vallejo *et al.*,

2017). Los resultados deben ser analizados e interpretados con cuidado y prestando especial atención a las oportunidades que cada categoría de impacto provee para gestionar el agua de una mejor manera, en resguardo de la vitalidad de los ecosistemas y de la salud humana.

---

<sup>9</sup> Norma ISO 14044: "Evaluación del ciclo de vida de productos y servicios". Se centra en la evaluación del ciclo de vida de productos y servicios, basado en un enfoque sistemático que abarca desde la extracción de recursos naturales, la producción, el uso y su disposición final.

# 4. REDUCCIÓN DE EMISIONES E IMPACTOS DE LA HUELLA DE AGUA



## 4.1. Reducción de emisiones de carbono

La reducción de las emisiones de GEI es un eje fundamental de la gestión de un inventario de emisiones, y que se da mediante la implementación de acciones planificadas por la empresa.

La determinación de la huella de carbono permite identificar las posibles oportunidades de reducción de emisiones y contribuir a mitigar los efectos del cambio climático. Por lo tanto, una vez identificadas y contabilizadas las fuentes y las emisiones de GEI en la empresa, se deben establecer estrategias de reducción que permitan gestionar dichas fuentes y reducir las

emisiones de GEI.

Tomando como referencia las normas ISO 14064-1 e INTE B5, se recomienda establecer un **plan de gestión de reducciones** como instrumento para alcanzar objetivos de reducción de emisiones. Un plan de gestión de reducciones incluye, pero no se limita a, objetivos de reducción, la designación de responsabilidades para alcanzar los objetivos, los medios o recursos necesarios y un cronograma de actividades. En la Figura 26, se brinda una orientación del contenido de un plan de gestión de reducciones.

**Figura 26.** Orientación sobre el contenido de un plan de gestión de emisiones



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

El establecer estrategias de reducción conlleva beneficios para las empresas, entre los cuales destacan los siguientes:

- contribución a la sostenibilidad del negocio. trabajar en la mitigación de emisiones contribuye en la reducción de los efectos del cambio climático en el sector agrícola;
- identificación de oportunidades de mejora en los procesos y trabajar en la eficiencia de estos al establecer sistemas de registro y contabilidad;
- reducción de costos por innovación en los procesos y en el uso eficiente de los recursos, lo cual aumenta la rentabilidad del negocio;
- favorecimiento del proceso de concientización a los colaboradores sobre los riesgos y oportunidades asociados al cambio climático, y
- diferenciación del producto y de la empresa en los mercados internacionales, por lo que contribuye a su competitividad (Vallejo *et al.*, 2017).



## Importante

Es fundamental que en el proceso de desarrollo del inventario y del establecimiento del plan de gestión de reducciones se cuente con el compromiso de la alta dirección de la empresa. Es importante considerar que, dependiendo del objetivo y alcance definido por la empresa para la huella de carbono, existen requisitos vinculados al plan de gestión de reducciones y a la documentación de reducciones establecidos en las normas de referencia, tales como ISO 14064-1, INTE B5 o del programa de GEI del país, cuando aplique.

En la Figura 27, se describen algunas buenas prácticas, tecnologías y opciones, que pueden considerarse para el establecimiento de estrategias de reducción para algunas fuentes de emisión del sector piñero.

**Figura 27.** Ejemplos de acciones de reducción de las emisiones

Fuente de emisión	Alternativas de reducción
Electricidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>Generación de energía en sitio mediante fuentes renovable, por ejemplo, con paneles solares</li> <li>Sustituir la iluminación artificial por iluminación natural</li> <li>Sustituir la iluminación fluorescente o sodio por iluminación LED</li> <li>Mejoras o renovación de instalación eléctrica</li> <li>Sustitución de equipos obsoletos o antiguos por equipos más eficientes. (Por ejemplo, aires acondicionados, refrigeradoras, computadoras, impresoras, entre otros)</li> </ul>
Uso de combustibles	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sustitución de vehículos de combustión por otras tecnologías, tales como eléctricos o híbridos</li> <li>Sustitución de vehículos antiguos u obsoletos por vehículos más eficientes</li> <li>Utilizar dispositivos de ahorro de combustible</li> <li>Optimización de rutas</li> <li>Aplicación de técnicas o hábitos de conducción eficiente</li> <li>Sustituir motores de combustión por motores eléctricos</li> <li>Programas de manejo preventivo de equipos y vehículos</li> </ul>

Fuente de emisión	Alternativas de reducción
Uso de fertilizantes	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reincorporación de materia orgánica en suelo y uso de enmiendas orgánicas</li> <li>Uso de fertilizantes con fuentes de nitrógeno de menor volatilización</li> <li>Uso de fertilizantes con inhibidores de volatilización</li> </ul>
Gases refrigerantes y uso de extintores	<ul style="list-style-type: none"> <li>Sustitución de gases refrigerantes con altos potenciales de calentamiento global, por gases con menores potenciales de calentamiento</li> <li>Programas de mantenimiento preventivo y periódicos para la detección de fugas</li> <li>Prácticas de recuperación y destrucción de gases con gestores autorizados</li> <li>Valoración de la frecuencia de cambio o recargas de extintores</li> </ul>
Disposición de residuos sólidos y aguas residuales	<ul style="list-style-type: none"> <li>Reducción de la carga de materia orgánica en las aguas residuales</li> <li>Implementación de prácticas que reduzcan la generación de aguas residuales de planta empacadora, como la reutilización o recirculación de agua</li> <li>Reducción de la generación de aguas residuales, mediante el cambio de hábitos de consumo</li> <li>Implementación de programas de gestión de residuos, para la separación y reciclaje de residuos</li> </ul>
Manejo de rastrojo y labranza	<ul style="list-style-type: none"> <li>Selección de prácticas de manejo de labranza con un factor de emisión menor</li> <li>Cambio de las prácticas de labranza convencional por labranza reducida o mínima labranza</li> <li>Reincorporación de materia orgánica en suelo</li> </ul>

**Fuente:** Elaboración de los autores.

## 4.2. Remociones de carbono

Las empresas también podrían considerar la implementación de estrategias que les permitan remover emisiones, a través de:

- Reforestación de áreas subutilizadas o no aptas para el cultivo de piña.
- Protección de bosque en áreas propias o conservación de áreas en regeneración.
- Sistemas agroforestales en áreas productivas e improductivas de las fincas, y en áreas de protección de cuerpos de agua, linderos de áreas de viviendas, empacadoras o caminos (Vallejo *et al.*, 2017).

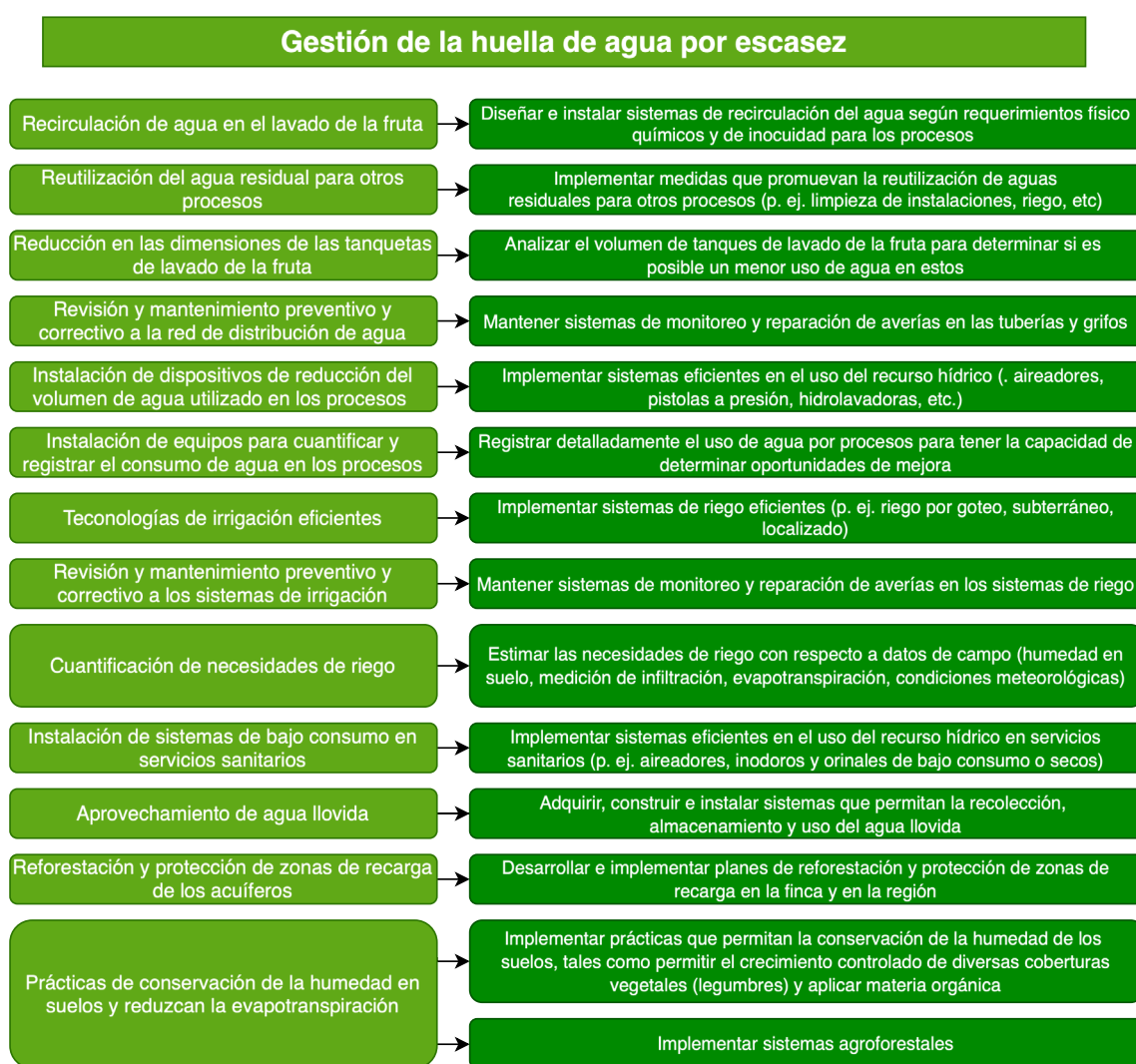
## 4.3 Huella de agua

El indicador de huella de agua, al tener un enfoque de análisis de ciclo de vida, está expresado por un conjunto de potenciales impactos en diferentes aspectos asociados al recurso hídrico. Por lo tanto, cuando se piensa en opciones de reducción de la huella, la empresa debe visualizar todas las buenas y mejores prácticas disponibles en el sector para hacer un uso más eficiente del agua y disminuir

el uso de sustancias o actividades que afecten la calidad del agua.

La Figura 28 resume una lista de recomendaciones para guiar a los productores hacia un enfoque en la reducción de los impactos relacionados al uso consuntivo del agua (escasez).

**Figura 28.** Medidas de reducción de la huella de agua por escasez



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

A su vez, la Figura 29 muestra las medidas asociadas a la gestión de **impactos por uso degradativo del agua (eutrofización en agua dulce y salada, ecotoxicidad y toxicidad humana)**. Cabe resaltar que las medidas no se limitan a las indicadas en la Figura 29, y la creatividad e investigación llevada a cabo por cada productor y empresa es fundamental para lograr una adecuada gestión y reducción de la huella de agua.

Además, es recomendable enfocarse en el desarrollo de iniciativas y proyectos que permitan trabajar de manera integral a nivel de la cuenca o subcuenca seleccionada, ya que ésta representa un único e interrelacionado sistema vivo. Las actividades que se ejecuten de manera fragmentada en partes de la cuenca o subcuenca no van a tener igual magnitud de

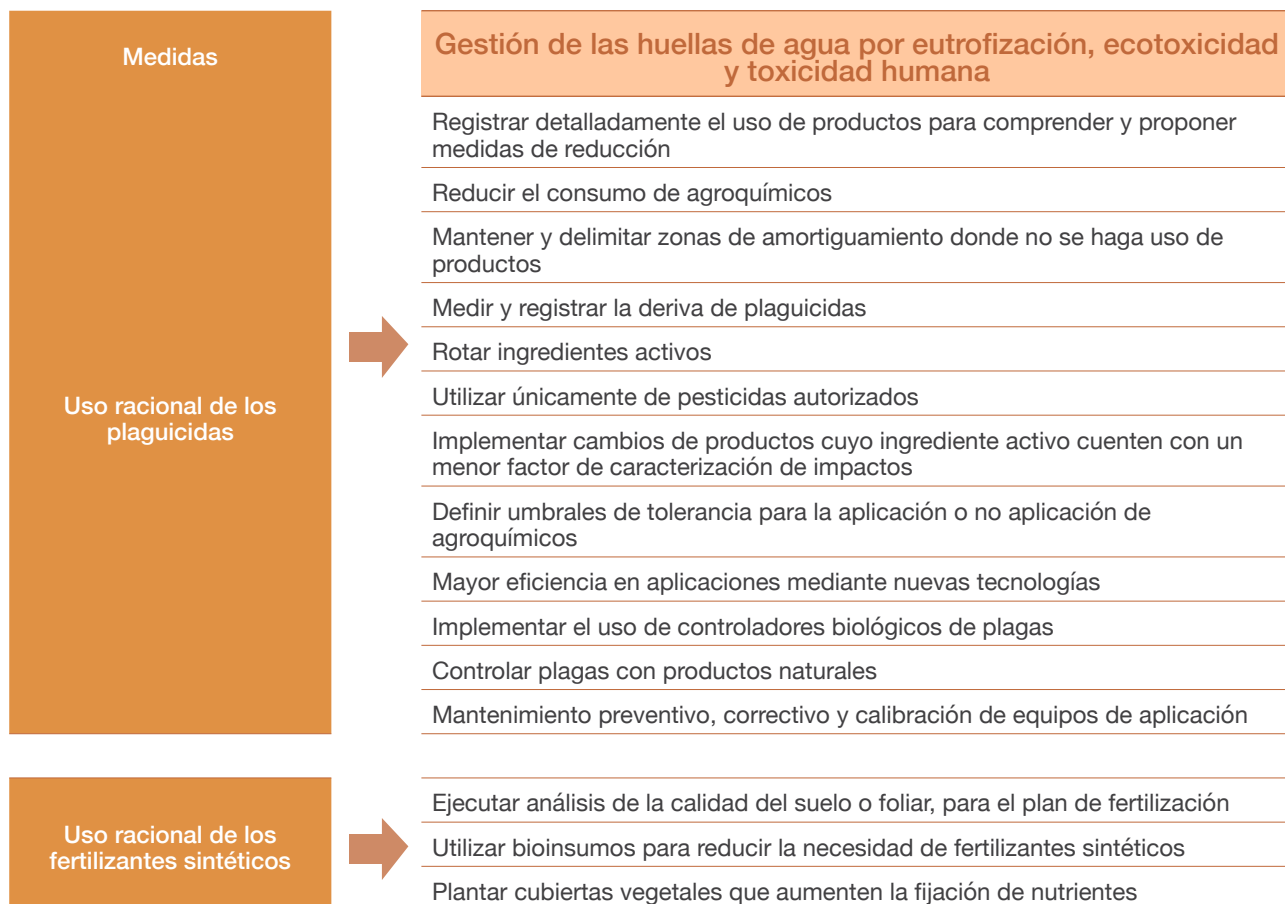


## Importante

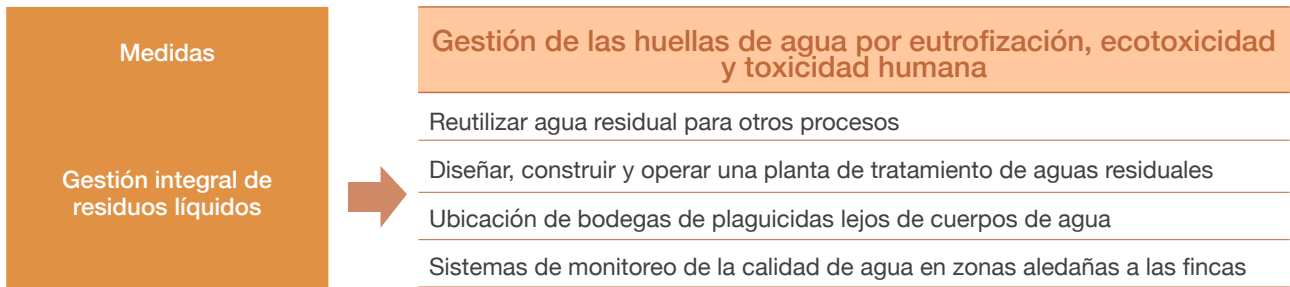
No existe consenso sobre las declaraciones de huella de agua “cero”, ya que toda actividad humana generará indudablemente alguna alteración en la cantidad o calidad del recurso. Además, no es justificante realizar una compensación sobre un efecto sea potencial o tangible—si no existen medidas suficientes, exhaustivas y responsables en la gestión integral del recurso hídrico por parte de la empresa.

impacto positivo que aquellas realizadas de manera colaborativa, conjunta e integral en la región.

**Figura 29.** Medidas de reducción de la huella de agua por toxicidad humana, ecotoxicidad y eutrofización



Medidas	Gestión de las huellas de agua por eutrofización, ecotoxicidad y toxicidad humana
Protección de los colaboradores y habitantes de zonas aledañas	<p>Capacitar sobre el uso de equipo de protección personal y verificar su correcto uso</p> <hr/> <p>Mantener zonas de amortiguamiento</p> <hr/> <p>Involucrar a la comunidad en actividades de sensibilización y protección de la biodiversidad</p>
Protección de suelos	<p>Capacitar y sensibilizar a los colaboradores sobre la importancia de los microorganismos en el suelo</p> <hr/> <p>Plantar cubiertas vegetales para evitar erosión</p> <hr/> <p>Implementar prácticas que permitan la conservación de la humedad de los suelos, tales como permitir el crecimiento controlado de diversas coberturas vegetales (legumbres) y aplicar materia orgánica</p> <hr/> <p>Implementar sistemas agroforestales</p> <hr/> <p>Aplicar la rotación de cultivos</p> <hr/> <p>Aplicar abono orgánico al suelo</p>
Medidas de protección a la biodiversidad	<p>Diseñar y ejecutar planes de manejo, restauración y resguardo de fragmentos de bosque y ecosistemas en la finca</p> <hr/> <p>Reforestar y mantener barreras vivas colindantes con los bosques</p> <hr/> <p>Mapear y definir zonas de protección y restauración</p> <hr/> <p>Inventariar las especies en las fincas para su seguimiento (flora y fauna)</p> <hr/> <p>Implementar actividades que promuevan colonización de polinizadores y organismos benéficos</p> <hr/> <p>Habilitar corredores biológicos para interconectar espacios boscosos y permitir el paso de la fauna</p> <hr/> <p>Ejecutar análisis microbiológico del suelo</p> <hr/> <p>Proveer espacios en la finca para controladores naturales (aves rapaces, reptiles, etc.)</p> <hr/> <p>Instalar señalizaciones para sensibilizar y promover el cuidado de la biodiversidad</p> <hr/> <p>Potenciar e implementar acciones de conservación de especies nativas</p> <hr/> <p>Crear y sensibilizar entre usuarios políticas de biodiversidad</p> <hr/> <p>Desarrollar y ejecutar un plan de monitoreo de especies indicadoras de la salud del ecosistema</p> <hr/> <p>Registrar y mejorar los impactos sobre la biodiversidad (+/-)</p>
Producción orgánica	<p>Optar por certificaciones de cero residuos de pesticidas</p> <hr/> <p>Cultivar y aplicar microorganismos eficientes para la regeneración de los suelos y complementar fertilización (uso de bioinsumos)</p>
Gestión integral de residuos sólidos	<p>Implementar técnicas de máximo aprovechamiento de residuos (por ejemplo, compost, alimentación animal, biocombustible con residuos orgánicos)</p> <hr/> <p>Aplicar la técnica del triple lavado de envases de productos fitosanitarios y disponer correctamente de los mismos</p>



**Fuente:** Adaptado de Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A. 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

# 5. EVALUACIÓN DE INCERTIDUMBRE DEL INVENTARIO DE EMISIONES



El análisis de incertidumbre constituye un elemento importante de un inventario de emisiones y remociones como medio para priorizar esfuerzos destinados a reducir la incertidumbre de los inventarios en el futuro y guiar decisiones sobre elección de metodologías. Esta sección pretende ser una guía práctica, que permita brindar una orientación general del análisis de incertidumbre y dar a conocer herramientas aplicables a todas las categorías y fuentes de emisión (IPCC, 2006).

La incertidumbre se define como la falta de conocimiento del valor verdadero de una variable. Si bien existen varios tipos de incertidumbre, en esta sección solo se hará referencia a la incertidumbre de los parámetros, la cual se deriva de la incertidumbre de la estimación y que surge cada vez que se cuantifican emisiones de GEI (IPCC, 2006).

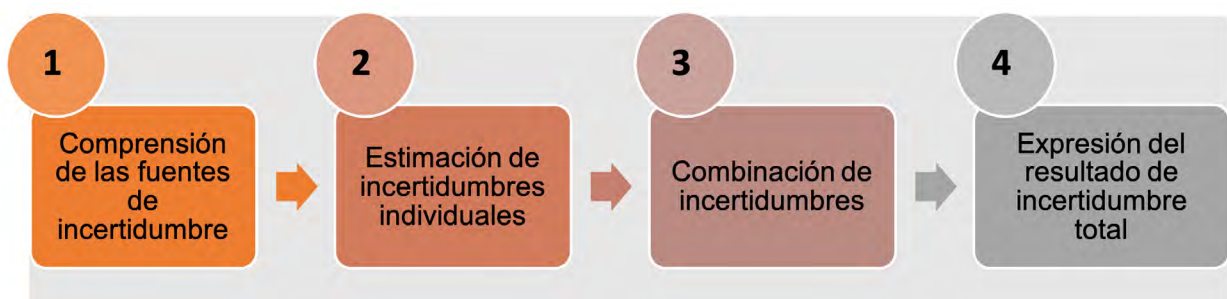
La incertidumbre de los parámetros se refiere a la incertidumbre asociada a la cuantificación de los parámetros utilizados como insumos (datos de actividad o factores de emisión) en los modelos de cuantificación.

Existen algunas metodologías reconocidas para la evaluación de incertidumbre de inventarios de emisiones de GEI, por ejemplo:

- Orientación del Protocolo de GEI sobre la evaluación de la incertidumbre en los inventarios de GEI y el cálculo de la incertidumbre de los parámetros estadísticos, y su herramienta de cálculo.
- Capítulo 3: Incertidumbres, del volumen 1, de las Directrices del IPCC, 2006 y Refinamiento 2019, y anexo de herramienta del IPCC para el análisis de incertidumbre del Método 1.
- Orientación del IPCC sobre las buenas prácticas y la gestión de la incertidumbre en los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- Guía para la Expresión de la Incertidumbre de Medida (GUM, por sus siglas en inglés).
- Guía metodológica para la estimación y análisis de la incertidumbre de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (GEI) del Programa País de Carbono Neutralidad 2.0 (PPCN 2.0) de Costa Rica.

A efectos de esta guía, se estará utilizando la orientación dada por la Guía metodológica para la estimación y análisis de incertidumbre del Programa País de Carbono Neutralidad de Costa Rica, la cual se resumen en los siguientes pasos para la evaluación de incertidumbre.

**Figura 30.** Pasos generales para la evaluación de incertidumbre



*Fuente:* Elaboración de los autores.

A continuación, se brinda una orientación de cómo abordar cada paso.

## 5.1 Comprensión de las fuentes de incertidumbre

Identificar los aportes al inventario por fuente de emisión y las posibles fuentes de incertidumbre del resultado obtenido para cada fuente de emisión. Algunas consideraciones para comprender e identificar las posibles fuentes de incertidumbre son:

- las mediciones o estimaciones que se realizan;
- los equipos de medición que se utilizan, especificaciones, calibraciones o verificaciones;
- si se utilizan muestreos y errores de muestreo, y
- variación en los datos; entre otros.



### Important

- Se pueden utilizar diagramas de causa-efecto, para la determinación de todas las fuentes de incertidumbre en la estimación de emisiones.
- Para mayor detalle consultar la [Guía metodológica para la estimación y análisis de incertidumbre del Programa País de Carbono Neutralidad de Costa Rica](#).

## 5.2 Estimación de incertidumbres individuales

La estimación de incertidumbres individuales, dependen del método de cuantificación utilizado: directo o indirecto. El **método directo** es cuando las emisiones o remociones se cuantifican utilizando instrumentos de medición que calculan directamente la cantidad de gases al momento de la emisión. Las fuentes de incertidumbre en este método suelen estar asociadas a las características del instrumento de medición. El **método indirecto**, es cuando las emisiones o remociones se estiman utilizando un factor de emisión y un dato de actividad; en este método los datos de actividad suelen originarse de mediciones, por lo que las fuentes de incertidumbre también se relacionan a las características de los instrumentos de medición de los datos de actividad (DCC, 2021).

Una vez que se tiene clara la información sobre el método utilizado y las fuentes de incertidumbre

en cada fuente de emisión analizada, la guía metodológica de estimación de incertidumbre sugiere realizar la evaluación y cuantificación numérica de las fuentes de incertidumbre mediante una evaluación tipo A o B, según aplique (DCC, 2021). La Figura 31 describe los dos tipos de evaluación de incertidumbre.

Según la guía metodológica utilizada de referencia, las incertidumbres serán calculadas y utilizadas como incertidumbres estándar (desviaciones estándar) y no incertidumbres expandidas (intervalos), y deberán utilizarse de forma relativa porcentual.

**Figura 31.** Tipos de evaluación de incertidumbre

Evaluación tipo A	Evaluación tipo B
<p><b>Relevancia.</b> Aplicable cuando hay mediciones replicadas y que se resumen mediante un promedio o alguna estadística similar.</p>	<p><b>Relevancia.</b> Aplicable para todos los demás casos que no corresponden a mediciones replicadas y que se evalúan por otros métodos, como valores históricos, manuales de equipo, certificados de calibración, informes de ensayo, criterio experto, referencia de literatura, tolerancia de equipos y procesos, entre otros.</p>
<p><b>Proceso.</b> Consiste en cuantificar la incertidumbre asociada al cálculo del promedio (o estadística similar), a partir de la desviación estándar de los datos utilizados para calcular el promedio (o estadística utilizada) y la cantidad de datos.</p>	<p><b>Proceso.</b> Para cuantificar estas incertidumbres, se requiere asignar o suponer una distribución de probabilidad adecuada a cada componente de incertidumbre.</p>

**Fuente:** Elaboración de los autores con información tomada de la *Guía Metodológica para la estimación y análisis de incertidumbre del Programa País de Carbono Neutralidad de Costa Rica*.

Una vez determinadas las incertidumbres estándar individuales de cada componente de incertidumbre identificado, se procede a combinar las incertidumbres.

## 5.3 Combinación de incertidumbres

Consiste en combinar las incertidumbres individuales determinadas en el paso anterior, utilizando como base los modelos matemáticos que componen el cálculo del inventario, es decir, la suma de las emisiones de un mismo gas o en CO<sub>2</sub>e, la multiplicación de datos de actividad y factores de emisión, entre otros. De esta forma, el cálculo de emisiones o remociones y la combinación de incertidumbres se pueden realizar de forma paralela y se puede determinar la incertidumbre para el total de inventario o para cada categoría de emisiones (directas, indirectas por energía importada y para indirectas significativas por separado (DCC, 2021).

Según la Guía metodológica para la estimación y análisis de incertidumbre, las directrices del IPCC establecen dos reglas para combinar incertidumbres de componentes independientes (DCC, 2021).



### Importante

Para mayor detalle de las fórmulas de cálculo por tipo de evaluación y selección de distribuciones de probabilidad en evaluación tipo B, consultar la [Guía metodológica para la estimación y análisis de incertidumbre del Programa País de Carbono Neutralidad de Costa Rica](#).

1. **Sumas y restas:** cuando los componentes se van a combinar por medio de una operación que, solamente contiene sumas y restas para obtener el resultado, la incertidumbre estándar relativa de dicho resultado se estima mediante la ecuación indicada a continuación.

$$u_y = \frac{\sqrt{(u_1 * x_1)^2 + (u_2 * x_2)^2 + \dots + (u_n * x_n)^2}}{Y}$$

**Donde:**

**u<sub>y</sub>:** incertidumbre estándar relativa del resultado (por ejemplo, la incertidumbre estándar relativa del total del inventario de emisiones)



## Consideraciones:

- La selección del factor de cobertura  $k$  dependerá del nivel de confianza requerido. Para una distribución normal, el valor  $k = 2$  genera un intervalo de confianza del 95 % aproximadamente. Por su parte, el valor  $k = 3$  produce un intervalo con un nivel de confianza del 99 % aproximadamente. Estos corresponden a los valores de uso generalizado y recomendados por la guía de referencia.
- Se recomienda expresar el resultado de incertidumbre expandida,  $U$ , con un máximo de dos cifras significativas.

**y:** es la suma del resultado de las emisiones que se van a combinar (por ejemplo, el total de emisiones del inventario)

**u:** incertidumbre estándar de cada componente (por ejemplo, la incertidumbre combinada por fuente)

**x:** es el componente que se va a combinar (por ejemplo, el total de emisiones por fuente).

2. **Multiplicaciones y divisiones:** cuando los componentes se van a combinar por medio de una operación que solamente contiene multiplicaciones y divisiones para obtener el resultado, la incertidumbre estándar relativa de dicho resultado se estima mediante la ecuación indicada a continuación.

$$u_y = \sqrt{(u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2)}$$

**Donde:**

**$u_y$ :** incertidumbre estándar relativa del resultado (por ejemplo, la incertidumbre estándar relativa de la emisión de cada GEI)

**$u_1, 2, \dots, n$ :** es la incertidumbre estándar de cada componente (por ejemplo, la incertidumbre estándar del FE y la incertidumbre estándar del dato de actividad)

## 5.4 Expresión del resultado de incertidumbre total del inventario

Una vez obtenidas las incertidumbres estándar combinadas por categoría de emisiones (directas, indirectas por energía importada e indirectas significativas), así como la incertidumbre combinada total del inventario, se procede a expresar el resultado final de incertidumbre como intervalo. El resultado se expresa como un rango, es decir, como medida de dispersión, el cual es más comprensible para los usuarios de la información.

Con este motivo, se asumirá una distribución de probabilidad normal para el resultado y se

estima la incertidumbre expandida  $U$  a partir de un factor de cobertura  $k$ , utilizando la ecuación que se muestra a continuación (DCC, 2021).

$$U = k \times U_y$$

**Donde:**

**$U$ :** incertidumbre expandida total.

**$k$ :** factor de cobertura.

**$u_y$ :** incertidumbre estándar combinada del resultado.

Como resultado de lo anterior, el resultado final se expresará como  $y \pm U$ , donde “y”, representa el total de emisiones del inventario.

A continuación, se muestra un ejemplo de cálculo de la incertidumbre total.

### Ejemplo: cálculo de incertidumbre total del inventario

**Paso 1.** Una empresa quiere evaluar la incertidumbre asociada a su inventario de emisiones del año 2021, para lo cual requiere identificar las fuentes de incertidumbre de las fuentes de emisión bajo análisis.

Categoría	Fuente de emisión	Fuentes de incertidumbre	
Directas	Consumo de combustible diésel para camiones	Surtidor de combustible	Factores de emisión (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O)
Directa	Consumo de combustible gasolina para equipos de mantenimiento en áreas verdes	Surtidor de combustible	Factores de emisión (CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> y N <sub>2</sub> O)
Indirecta - energía importada	Consumo de electricidad	Medidor eléctrico	Factor de emisión (CO <sub>2</sub> e)

**Paso 2.** Una vez identificadas las fuentes de incertidumbre de las fuentes de emisión, debe estimar las incertidumbres individuales. Para efectos del ejemplo, se tomarán algunas referencias y supuestos para el análisis, utilizando como referencia las fórmulas de cálculo dadas por la Guía metodológica para estimación y análisis de incertidumbre del Programa País de Costa Rica.

Categoría	Fuente de emisión	Fuente de incertidumbre	u estándar	Fuente de incertidumbre	u estándar
Directas	Consumo de combustible diésel para camiones	Surtidor de combustible	<p>Tolerancia establecida por reglamento para surtidores de combustible (<math>\pm 0,5\%</math>)</p> <p>Se asume una distribución rectangular, por lo que se aplica la siguiente ecuación para determinar la <math>u</math> estándar</p> $u = \frac{0,5\%}{\sqrt{3}} = 0,289\%$	Factor de emisión (CO <sub>2</sub> )	Incertidumbre estándar recomendada de factores de emisión de Costa Rica 1,66 %
				Factor de emisión (CH <sub>4</sub> )	Incertidumbre estándar recomendada de factores de emisión de Costa Rica 50 %
				Factor de emisión (N <sub>2</sub> O)	Incertidumbre estándar recomendada de factores de emisión de Costa Rica 65,58 %

Directa	Consumo de combustible gasolina áreas verdes	Surtidor de combustible	Tolerancia establecida por el reglamento para surtidores de combustible ( $\pm 0,5\%$ )	Factor de emisión ( $\text{CO}_2$ )	Incertidumbre estándar recomendada de factores de emisión de Costa Rica <b>2,76 %</b>
			Se asume una distribución rectangular, por lo que se aplica la siguiente ecuación para determinar la $u$ estándar $u = \frac{0,5\%}{\sqrt{3}} = 0,289\%$	Factor de emisión ( $\text{CH}_4$ )	Incertidumbre estándar recomendada de factores de emisión de Costa Rica <b>67,17 %</b>
				Factor de emisión ( $\text{N}_2\text{O}$ )	Incertidumbre estándar recomendada de factores de emisión de Costa Rica <b>70,10 %</b>
Indirecta - energía importada	Consumo de electricidad	Medidor eléctrico	Tolerancia máxima del medidor de energía eléctrica ( $\pm 0,5\%$ )  Se asume una distribución rectangular, por lo que se aplica la siguiente ecuación para determinar la $u$ estándar $u = \frac{0,5\%}{\sqrt{3}} = 0,289\%$	Factor de emisión ( $\text{CO}_2\text{e}$ )	Incertidumbre estándar recomendada de factores de emisión de Costa Rica <b>6,5 %</b>

**Paso 3.** Una vez estimadas las incertidumbres individuales, se procede a combinar las incertidumbres por tipo de gas, por fuente de emisión, por categoría y total del inventario.

Categoría	Fuente de emisión	$u$ estándar (dato actividad)	$u$ estándar (factor de emisión)	$u$ estándar combinada (por GEI)	$u$ estándar combinada (por fuente)
Directas	Consumo de combustible diésel para camiones (73,42 $\text{tCO}_2\text{e}$ )	0,289 %	$\text{CO}_2$ : 1,66 % (73,35 $\text{tCO}_2\text{e}$ )	$u = \sqrt{0,289^2 + 1,66^2}$ = 1,68 %	$u = \frac{\sqrt{(1,68 \cdot 73,35)^2 + (50 \cdot 0,026)^2 + (65,58 \cdot 0,039)^2}}{73,42}$  = 1,68 %
			$\text{CH}_4$ : 50 % (0,026 $\text{tCO}_2\text{e}$ )	$u = \sqrt{0,289^2 + 50^2}$ = 50 %	
			$\text{N}_2\text{O}$ : 65,58 % (0,039 $\text{tCO}_2\text{e}$ )	$u = \sqrt{0,289^2 + 1,66^2}$ = 65,58 %	
Directa	Consumo de combustible gasolina áreas verdes (85 $\text{tCO}_2\text{e}$ )	0,289 %	$\text{CO}_2$ : 2,76 % (83,98 $\text{tCO}_2\text{e}$ )	$u = \sqrt{0,289^2 + 2,76^2}$ = 2,78 %	$u = \frac{\sqrt{(2,78 \cdot 83,98)^2 + (67,17 \cdot 0,085)^2 + (70,10 \cdot 0,935)^2}}{85}$  = 2,85 %
			$\text{CH}_4$ : 67,17 % (0,085 $\text{tCO}_2\text{e}$ )	$u = \sqrt{0,289^2 + 50^2}$ = 67,17 %	
			$\text{N}_2\text{O}$ : 70,10 % (0,935 $\text{tCO}_2\text{e}$ )	$u = \sqrt{0,289^2 + 1,66^2}$ = 70,10 %	

Indirecta - energía importada	Consumo de electricidad (150 tCO <sub>2</sub> e)	0,289%	CO <sub>2</sub> e: 6,5 %	$u = \sqrt{0,289^2 + 6,5^2}$ $= 6,51 \%$	6,51 %
-------------------------------	--	--------	--------------------------	--	--------

Categoría	Fuente de emisión	u estándar combinado (por fuente)	u estándar combinado (por categoría)
Directas	Consumo de combustible diésel para camiones (73,42 tCO <sub>2</sub> e)	1,68 %	$u = \frac{\sqrt{(1,68 \cdot 73,42)^2 + (2,85 \cdot 85)^2}}{73,42 + 85} = 1,72 \%$
Directa	Consumo de combustible gasolina áreas verdes (85 tCO <sub>2</sub> e)	2,85 %	
Indirecta - energía importada	Consumo de electricidad (150 tCO <sub>2</sub> e)	6,51 %	6,51 %
<b>u estándar total</b>			$u = \frac{\sqrt{(1,72 \cdot 158,42)^2 + (6,51 \cdot 150)^2}}{158,42 + 150} = 3,29 \%$

**Paso 4.** Una vez estimada la incertidumbre total del inventario se procede a expresar la incertidumbre total como un rango, asumiendo una distribución de probabilidad normal, con un intervalo de confianza del 95 % y un k=2, con el fin de expresarla como U expandida.

$$U \text{ expandida} = 2 \times 3,29 \% = \pm 6,58 \%$$

*El resultado final se podrá expresar como: 308,42 t CO<sub>2</sub>e ± 6,58 %*

# REFERENCIAS



# Referencias bibliográficas

**Allen, R., Pereira, S., Raes, D., y Smith, M.** 2006. *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO: Estudios FAO Riego y Drenaje. Roma. [www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm](http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm)

**COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación) y CADIS (Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable).** 2017. *Huella de Agua (ISO 14046:2014) en América Latina y el Caribe, análisis y recomendaciones para una coherencia regional*. Centro de Análisis de Ciclo de Vida y Diseño Sustentable (CADIS). <http://centroacv.mx/archivos/HuellaAgualSO14046AmericaLatina.pdf>

**DCC (Dirección de Cambio Climático), PMR (Asociación para la Preparación de Mercados) y LCM (Laboratorio Costarricense de Metrología).** 2020. "Guía metodológica para la estimación y análisis de la incertidumbre de emisiones y remociones de gases de efecto invernadero (GEI) – Programa País de Carbono Neutralidad 2.0". Dirección de Cambio Climático. <https://cambioclimatico.go.cr/wp-content/uploads/2019/11/PPCN-GuiaIncertidumbre.pdf>

**Fallas Rojas, T. M. y Ramírez Vargas C.** 2019. *Factores de emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en rastrojo de piña (Ananas comosus(L.) Merr. var. comosus), en San Carlos, Costa Rica.*

**Fantke, P., Huijbregts, M., Margni, M., Hauschild, M., Jolliet, O., McKone, T., ... Meent, D. van de.** 2015. USEtox 2.0 User Manual (Version 2). UNEP/SETAC Life Cycle Initiative. | [www.usetox.org](http://www.usetox.org)

**FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).** 2020. *Protocolo para la medición, el seguimiento, la notificación y la verificación del carbono orgánico del suelo en paisajes agrícolas - Protocolo GSOC-MRV. [A protocol for measurement, monitoring, reporting and verification of soil organic carbon in agricultural landscapes – GSOC-MRV Protocol]*. <https://openknowledge.fao.org/items/690c5092-b85c-44b5-a1de-e442c9eb9b20>

**FAO.** 2024. *Estrategias de adaptación al cambio climático para la industria de las frutas tropicales: una guía técnica para productores y exportadores de piña*. Roma. <https://doi.org/10.4060/cc9310es>

**FCH (Fundación Chile) y Agualimpia.** 2016. *Manual de Aplicación para Evaluación de Huella Hídrica Acorde a la Norma ISO 14046*. COSUDE. Santiago, Chile. <https://fch.cl/wp-content/uploads/2019/12/manual-aplicacion-iso-14-046-suizagua-1.pdf>

**Goedkoop, M., Heijungs, R., De Schryver, A., Struijs, J., y van Zelm, R.** 2013. *Un método LCIA que comprende indicadores de categoría armonizados a nivel de punto medio y de punto final. Informe I: Caracterización. [ReCiPe 2008. A LCIA method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterisation]*. [www.lcia-recipe.net/file-cabinet](http://www.lcia-recipe.net/file-cabinet)

**INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica).** 2015. *INTE/ISO 14046:2015 Gestión ambiental. Huella de agua. Principios, requisitos y directrices*. Costa Rica.

**INTECO.** 2019. *INTE/ISO 14064-1:2019 Gases de Efecto Invernadero –Parte 1: Especificación*

con orientación, a nivel de las organizaciones, para la cuantificación y el informe de las emisiones y remociones de gases de efecto invernadero. Costa Rica.

**INTECO (Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica).** 2021. *INTE B5: 2021 Norma para demostrar la Carbono Neutralidad. Requisitos.* Costa Rica.

**ISO (International Organization for Standardization).** 2014. *Estándar internacional ISO 14046:2014(E): Gestión ambiental - Huella hídrica - Principios, requisitos y directrices. [International standard ISO 14046:2014(E): Environmental management — Water footprint — Principles, requirements and guidelines].*

**IFA (International Fertilizer Association).** 2017. *Composición de fertilizantes.* [Consultado el 05 de junio de 2023]. [www.ifastat.org/factsheets/products](http://www.ifastat.org/factsheets/products)

**Instituto Meteorológico Nacional.** 2022. *Factores de Emisión GEI.* Costa Rica. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/factores-de-emision-2022/>

**IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático).** 2005. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS).* [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/gpoglulucf\\_languages.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpoglulucf/gpoglulucf_languages.html)

**IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático).** 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 1. Orientación general y generación de informes. Capítulo 3. Incertidumbres.* [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol1.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol1.html)

**IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático).** 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 3. Procesos industriales y uso de productos. Capítulo 5. Uso de productos no energéticos de combustibles y de solventes.*

**IPCC.** 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 2. Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra.* [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html).

**IPCC.** 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 11. Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea.* [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html).

**IPCC.** 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5. Desechos. Capítulo 3. Eliminación de Desechos.* [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html). [Consultado el 23 de mayo de 2023]

**IPCC.** 2019. *Refinamiento 2019 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5. Desechos. Capítulo 6. Tratamiento y Descarga de Aguas Residuales.* Recuperado de [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/vol3.html).

**PNUMA (Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente).** 2012. *Medición del uso del agua en una economía verde*. Grupo de trabajo sobre eficiencia hídrica del Panel Internacional de Recursos, Ed. [*Measuring Water Use in a Green Economy*. International Resource Panel Working Group on Water Efficiency, Ed.]

**Suppen, N.** 2014. *Gestión de Ciclo de Vida en América Latina curso sobre Huella de Agua*. En *Taller Internacional de Huella de Agua* (p. 85). San José, Costa Rica.

**Vallejo, A. L.** 2015. *Metodología práctica para la cuantificación de la huella de agua en Plantas Empacadoras de piña en Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica. <http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6305>

**Vallejo, A. L., Vallejo, M. A., Nájera, J. y Garnier, L. A.** 2017. *Guía metodológica para la huella de carbono y la huella de agua en la producción bananera*. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) y FAO. <https://openknowledge.fao.org/handle/20.500.14283/i8333es>

**WULCA (Uso de Agua en Evaluación de Ciclo de Vida).** 2017. *El método AWARE. [The AWARE method]*. [AWARE \(Available WAter REmaining\) Mission and Goals - WULCA \(wulca-waterlca.org\)](http://www.wulca-waterlca.org)

# ANEXOS



# Anexo 1. Factores de emisión huella de carbono

**Cuadro A1.1.** Factores de emisión de referencia.

Fuente de emisión/tipo	GEI	Factor de emisión	Unidades	Referencia
Consumo de electricidad (importada)	CO <sub>2</sub> e	0,0400	kg CO <sub>2</sub> e/kWh	(IMN, 2022)
Uso de aceite lubricante (motor de cuatro tiempos)	CO <sub>2</sub>	0,5184	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Combustión de Lubricante (motor de dos tiempos)	CO <sub>2</sub>	2,549	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Combustión de Lubricante (motor de dos tiempos) Residencial/Agrícola	CH <sub>4</sub>	0,348	g CH <sub>4</sub> /l	(IMN, 2022)
Combustión de Lubricante (motor de dos tiempos) Residencial/Agrícola	N <sub>2</sub> O	0,021	g N <sub>2</sub> O/l	(IMN, 2022)
Uso de acetileno (C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> )	CO <sub>2</sub>	3,38	kgCO <sub>2</sub> /kgC <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	Cálculo estequiométrico
Uso de propano (C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> )	CO <sub>2</sub>	3,00	kgCO <sub>2</sub> /kgC <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	Cálculo estequiométrico
Consumo de gasolina, transporte con catalizador	CO <sub>2</sub>	2,231	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de gasolina, transporte con catalizador	CH <sub>4</sub>	0,000907	kg CH <sub>4</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de gasolina, transporte con catalizador	N <sub>2</sub> O	0,000283	kg N <sub>2</sub> O/l	(IMN, 2022)
Consumo de gasolina, transporte con catalizador	CO <sub>2</sub>	2,272	kg CO <sub>2</sub> /l	(IPCC, 2006)
Consumo de gasolina, transporte con catalizador	CH <sub>4</sub>	0,00082	kg CH <sub>4</sub> /l	(IPCC, 2006)
Consumo de gasolina, transporte con catalizador	N <sub>2</sub> O	0,00026	kg N <sub>2</sub> O/l	(IPCC, 2006)
Consumo de gasolina, transporte sin catalizador	CO <sub>2</sub>	2,231	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de gasolina, transporte sin catalizador	CH <sub>4</sub>	0,001176	kg CH <sub>4</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de gasolina, transporte sin catalizador	N <sub>2</sub> O	0,000116	kg N <sub>2</sub> O/l	(IMN, 2022)
Consumo de gasolina, transporte sin catalizador	CO <sub>2</sub>	2,272	kg CO <sub>2</sub> /l	(IPCC, 2006)
Consumo de gasolina, transporte sin catalizador	CH <sub>4</sub>	0,00108	kg CH <sub>4</sub> /l	(IPCC, 2006)
Consumo de gasolina, transporte sin catalizador	N <sub>2</sub> O	0,00010	kg N <sub>2</sub> O/l	(IPCC, 2006)
Consumo de diésel, transporte sin catalizador	CO <sub>2</sub>	2,613	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de diésel, transporte sin catalizador	CH <sub>4</sub>	0,000149	kg CH <sub>4</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de diésel, transporte sin catalizador	N <sub>2</sub> O	0,000154	kg N <sub>2</sub> O/l	(IMN, 2022)
Consumo de diésel, transporte sin catalizador	CO <sub>2</sub>	2,613	kg CO <sub>2</sub> /l	(IPCC, 2006)
Consumo de diésel, transporte sin catalizador	CH <sub>4</sub>	0,000138	kg CH <sub>4</sub> /l	(IPCC, 2006)
Consumo de diésel, transporte sin catalizador	N <sub>2</sub> O	0,000138	kg N <sub>2</sub> O/l	(IPCC, 2006)
Consumo de LPG transporte terrestre	CO <sub>2</sub>	1,611	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de LPG transporte terrestre	CH <sub>4</sub>	0,0015835	kg CH <sub>4</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de LPG transporte terrestre	N <sub>2</sub> O	0,0000051	kg N <sub>2</sub> O/l	(IMN, 2022)

Fuente de emisión/tipo	GEI	Factor de emisión	Unidades	Referencia
Generador eléctrico de diésel	CO <sub>2</sub>	2,613	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Generador eléctrico de diésel	CH <sub>4</sub>	0,000122	kg CH <sub>4</sub> /l	(IMN, 2022)
Generador eléctrico de diésel	N <sub>2</sub> O	0,00002442	kg N <sub>2</sub> O/l	(IMN, 2022)
Consumo de gasolina, residencial y agrícola	CO <sub>2</sub>	2,231	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de gasolina, residencial y agrícola	CH <sub>4</sub>	0,000346	kg CH <sub>4</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de gasolina, residencial y agrícola	N <sub>2</sub> O	0,00002211	kg N <sub>2</sub> O/l	(IMN, 2022)
Consumo de diésel, residencial y agrícola	CO <sub>2</sub>	2,613	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de diésel, residencial y agrícola	CH <sub>4</sub>	0,000382	kg CH <sub>4</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de diésel, residencial y agrícola	N <sub>2</sub> O	0,00002442	kg N <sub>2</sub> O/l	(IMN, 2022)
Consumo de LPG, residencial y agrícola	CO <sub>2</sub>	1,611	kg CO <sub>2</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de LPG, residencial y agrícola	CH <sub>4</sub>	0,000139	kg CH <sub>4</sub> /l	(IMN, 2022)
Consumo de LPG, residencial y agrícola	N <sub>2</sub> O	0,000002745	kg N <sub>2</sub> O/l	(IMN, 2022)
Encalado basado en piedra caliza	CO <sub>2</sub>	0,12	kg CO <sub>2</sub> -C/ kg	(IPCC, 2006)
Encalado basado en piedra dolomita	CO <sub>2</sub>	0,13	kg CO <sub>2</sub> -C/ kg	(IPCC, 2006)
FE de CO <sub>2</sub> de la Urea	CO <sub>2</sub>	0,2	kg CO <sub>2</sub> -C/kg urea	(IPCC, 2006)
Rastrojo incorporado en verde (RV)	CH <sub>4</sub>	926	kg CH <sub>4</sub> /ha/año	Fallas Rojas, T. M. 2019
Rastrojo incorporado en verde (RV)	CO <sub>2</sub>	1 541,76	kg CO <sub>2</sub> /ha/año	Fallas Rojas, T. M. 2019
Rastrojo quemado con herbicida químico (RH)	CH <sub>4</sub>	1 592,3	kg CH <sub>4</sub> /ha/año	Fallas Rojas, T. M. 2019
Rastrojo quemado con herbicida químico (RH)	CO <sub>2</sub>	2 455,72	kg CO <sub>2</sub> /ha/año	Fallas Rojas, T. M. 2019
Rastrojo quemado con herbicida químico más fuego (RH+Q)	CH <sub>4</sub>	1 297,81	kg CH <sub>4</sub> /ha/año	Fallas Rojas, T. M. 2019
Rastrojo quemado con herbicida químico más fuego (RH+Q)	CO <sub>2</sub>	2 175,96	kg CO <sub>2</sub> /ha/año	Fallas Rojas, T. M. 2019
Relleno sanitario	CH <sub>4</sub>	0,0519	kg CH <sub>4</sub> / kg residuo	(IMN, 2022)
Compost-CH <sub>4</sub>	CH <sub>4</sub>	0,004	kg CH <sub>4</sub> / kg residuo	(IMN, 2022)
Compost-N <sub>2</sub> O	N <sub>2</sub> O	0,24	g N <sub>2</sub> O/ kg residuo	(IMN, 2022)
Tanque Séptico (ARO)	CH <sub>4</sub>	4,38	kg CH <sub>4</sub> / persona/año	(IMN, 2022)/ (IPCC, 2019)
Letrina 1 (Clima seco, nivel freático de agua más bajo que la letrina, para uso de 3 a 5 personas)	CH <sub>4</sub>	0,88	kg CH <sub>4</sub> / persona/año	(IPCC, 2019)

Fuente de emisión/tipo	GEI	Factor de emisión	Unidades	Referencia
Letrina 2 (Clima seco, nivel freático más bajo que la letrina, muchos usuarios)	CH <sub>4</sub>	4,38	kg CH <sub>4</sub> / persona/año	(IPCC, 2019)
Letrina 3 (Clima húmedo/uso de agua de descarga, nivel freático más alto que la letrina)	CH <sub>4</sub>	6,13	kg CH <sub>4</sub> / persona/año	(IPCC, 2019)

Fuente: Fallas Rojas, T. M. y Ramírez Vargas, C. 2019. Factores de emisión de CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> en rastrojo de piña (*Ananas comosus* (L.) Merr. var. *comosus*), en San Carlos, Costa Rica. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/agroinn/article/view/4687/4440>, Instituto Meteorológico Nacional. 2022. Factores de Emisión GEI. Costa Rica. <http://cglobal.imn.ac.cr/index.php/publications/factores-de-emision-2022/> y IPCC. 2019. 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 3. Industrial processes and product use. Chapter 7. Emissions from fluorinated substitutes for ozone-depleting substances. Table 7.9. [Consultado el 12 de mayo de 2023]. HYPERLINK "http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/3\_Volume3/19R\_V3\_Ch07\_ODS\_Substitutes.pdf" www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/3\_Volume3/19R\_V3\_Ch07\_ODS\_Substitutes.pdf.

**Cuadro A1.2.** Estimaciones por defecto para carga, vida útil y factores de emisión para sistemas de refrigeración y aire acondicionado.

Tabla 7.9 (Actualizada) ESTIMACIONES POR DEFECTO <sup>1</sup> DE LOS FACTORES DE CARGA, VIDA ÚTIL Y EMISIONES PARA REFRIGERACIÓN Y AIRE ACONDICIONADO						
Sub -aplicación	Carga (kg)	Vida útil (años) <sup>2</sup>	Factor de emisión (% de carga inicial/año) <sup>3</sup>		Emisiones al final de la vida útil	
Factor en ecuación	(M)	(d)	(k)	(x)	( $\eta_{rec,d}$ )	(p)
			Al momento de carga	Pérdida anual, vida útil operativa	Eficiencia de recuperación <sup>4</sup>	Carga inicial restante
Refrigeración doméstica	0.05 ≤ M ≤ 0.5	12 ≤ d ≤ 20	0.2 ≤ k ≤ 1	0.1 ≤ x ≤ 0.5	0 < $\eta_{rec,d}$ < 70	0 < p < 80
Aplicaciones comerciales autónomas	0.2 ≤ M ≤ 6	10 ≤ d ≤ 15	0.5 ≤ k ≤ 3	1 ≤ x ≤ 15	0 < $\eta_{rec,d}$ < 70	0 < p < 80
Refrigeración comercial mediana y grande	50 ≤ M ≤ 2000	7 ≤ d ≤ 15	0.5 ≤ k ≤ 3	10 ≤ x ≤ 35	0 < $\eta_{rec,d}$ < 70	0 < p < 80
Refrigeración de transporte.	3 ≤ M ≤ 8	6 ≤ d ≤ 9	0.2 ≤ k ≤ 1	15 ≤ x ≤ 50	0 < $\eta_{rec,d}$ < 70	0 < p < 80
Refrigeración industrial, incluyendo procesamiento de alimentos y almacenamiento en frío	10 ≤ M ≤ 10000	15 ≤ d ≤ 30	0.5 ≤ k ≤ 3	7 ≤ x ≤ 25	0 < $\eta_{rec,d}$ < 90	0 < p < 80
Enfriadoras	10 ≤ M ≤ 2000	15 ≤ d ≤ 30	0.2 ≤ k ≤ 1	2 ≤ x ≤ 15	0 < $\eta_{rec,d}$ < 95	0 < p < 80
Aire acondicionado residencial y comercial, incluidas bombas de calor.	0.5 ≤ M ≤ 100	10 ≤ d ≤ 20	0.2 ≤ k ≤ 1	1 ≤ x ≤ 10	0 < $\eta_{rec,d}$ < 80	0 < p < 80
Sistemas móviles	5 ≤ M ≤ 6500 (marítimo) 10 ≤ M ≤ 30 (férreo) 4 ≤ M ≤ 18 (buses) 0.5 ≤ M ≤ 2 (Otros sistemas móviles de aire acondicionado)	9 ≤ d ≤ 16	0.2 ≤ k ≤ 0.5	20 ≤ x ≤ 40 (marítimo) 5 ≤ x ≤ 20 (férreo) 10 ≤ x ≤ 20 (Otros sistemas móviles de aire acondicionado)	0 < $\eta_{rec,d}$ < 50	0 < p < 80

Fuentes:  
<sup>1</sup> UNEP RTOC Reports (UNEP-RTOC, 1999; UNEP-RTOC, 2003). Japan Refrigeration and Air Conditioning Industry Association (2009). Gallagher et al (2014). Umweltbundesamt (2015). Para información sobre la pérdida anual durante el tiempo de vida operativo de sistemas móviles de carga y factores de emisión de Aire Acondicionado: Schwarz y Rhiemeier (2007) y Gallagher et al (2014)  
<sup>2,3</sup> Valor más bajo para países desarrollados y valor más alto para países en desarrollo.  
<sup>4</sup> El umbral más bajo (0%) pone de manifiesto que no hay recuperación en algunos países

Fuente: IPCC. 2019. Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 3. Procesos industriales y uso de productos. Capítulo 7. Emisiones de los sustitutos fluorados para las sustancias que agotan la capa de ozono. Cuadro 7.9. [Consultado el 12 de mayo de 2023] [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/3\\_Volume3/19R\\_V3\\_Ch07\\_ODS\\_Substitutes.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/3_Volume3/19R_V3_Ch07_ODS_Substitutes.pdf).

**Cuadro A1.3.** Factores de emisión por defecto para estimar emisiones directas de N<sub>2</sub>O de suelos gestionados

Tabla 11.1 (Actualizada)					
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DIRECTAS DE N <sub>2</sub> O PROCEDENTES DE SUELOS GESTIONADOS					
Factor de emisión (FE)	Agregado		Desagregado		
	Valor por defecto	Rango de incertidumbre	Desagregación <sup>4</sup>	Valor por defecto	Rango de incertidumbre
FE <sub>1</sub> para las adiciones de N procedentes de fertilizantes sintéticos, enmiendas orgánicas y residuos de cultivos, y N mineralizado del suelo mineral como resultado de la pérdida de carbono del suelo <sup>1</sup> . [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0.010	0.001 – 0.018	Fertilizantes sintéticos	0.016	0.013 – 0.019
			Aportes <sup>5</sup> de fertilizantes sintéticos en climas húmedos.	0.006	0.001 – 0.011
			Otros aportes <sup>6</sup> de N en climas húmedos	0.005	0.000 – 0.011
FE <sub>1FR</sub> para arrozales inundados. <sup>2,7</sup> [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0.004	0.000 – 0.029	Todos los aportes de N en climas secos	0.003	0.000 – 0.010
			Inundación continua.	0.005	0.000 – 0.016
FE <sub>1PRR, CPP</sub> para ganado vacuno (lechero, no lechero y búfalos), aves de corral y cerdos. [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0.004	0.000 – 0.014	Drenaje simple y múltiple	0.006	0.000 – 0.026
			Climas húmedos	0.002	0.000 – 0.006
FE <sub>1PRR, CO</sub> para ovejas y otros animales. <sup>3</sup> [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0.003	0.000 – 0.010	-	-	-

Fuentes:  
<sup>1</sup> Stehfest & Bowman 2006; van Lent et al. 2015; Grace et al. 2016; van der Weerden et al. 2016; Albanito et al. 2017; Cayuela et al. 2017; Liu et al. 2017; Rochette et al. 2018.  
<sup>2</sup> Aklyama et al. 2005; Albanito et al. 2017; Cayuela et al. 2017.  
<sup>3</sup> Yamulki et al. 1998; Galbally et al. 2000; Liebig et al. 2008; Cai & Aklyama 2016; Cardenas et al. 2016; Di et al. 2016; Hoodendoorn et al. 2016; Hyde et al. 2016; Krol et al. 2016; Luo et al. 2016; Marsden et al. 2016; Misselbrook et al. 2016; Nichols et al. 2016; O'Connor et al. 2016; Owens et al. 2016; Pelster et al. 2016; Ward et al. 2016; Balvert et al. 2017; Forrestal et al. 2017; Marsden et al. 2017; Owens et al. 2017; Thomas et al. 2017 a, b; Tully et al. 2017; van der Weerden et al. 2017; Cardoso et al. 2018; Chadwick et al. 2018; Nichols et al. 2018.  
Notas:  
FE<sub>1</sub>: El rango de incertidumbre del FE<sub>1</sub> desagregado está basado en el intervalo de confianza del 95% de los valores ajustados. El intervalo de incertidumbre de la FE<sub>1</sub> agregada se basa entre el percentil 2,5 al 97,5 del conjunto de datos. (Ver los métodos, datos y resultados en el anexo 11A.2).  
FE<sub>1FR</sub>: El rango de incertidumbre está basado entre el percentil 2.5 al 97.5 (Ver los métodos y datos en el Anexo 11A.3).  
Para el FE<sub>2</sub>, Ver las orientaciones del Suplemento de 2013 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Humedales, Capítulo 2, Tabla 2.5.  
<sup>4</sup>La desagregación de FE<sub>1</sub> y FE<sub>1PRR, CPP</sub> por clima (basado en medias a largo plazo): Los climas húmedos se dan en zonas templadas y boreales donde la relación precipitación anual: evapotranspiración potencial >1, y zonas tropicales donde la precipitación anual >1000mm. Los climas secos se dan en zonas de temperatura y boreales donde la relación precipitación anual: evapotranspiración potencial <1, y en zonas tropicales donde la precipitación anual <1000mm (cf. La Figura 3.A.5.1 del Capítulo 3 del Vol. 4 proporciona un mapa que subdivide los climas húmedos y secos basándose en estos criterios.)  
En los climas más húmedos, el FE<sub>1</sub> se desglosa aún más en función de los aportes de N de los fertilizantes sintéticos y de otros aportes de N.  
<sup>5</sup>Este factor de emisión debe utilizarse para aplicaciones de fertilizantes sintéticos y mezclas de fertilizantes que incluyan tanto formas sintéticas como orgánicas de N.  
<sup>6</sup>Otros aportes de N se refieren a enmiendas orgánicas, abonos animales (por ejemplo, lodos, estiércol digerido), N en residuos de cultivos y N mineralizado procedente de la descomposición de la materia orgánica del suelo.  
<sup>7</sup>La desagregación del FE<sub>1FR</sub>: El drenado simple y múltiple también incluye el humedecimiento y el secado alternos. No se proporcionan FE<sub>1FR</sub> desagregados para sistemas de secano y de aguas profundas por falta de datos. El FE<sub>1</sub> debe utilizarse para el arroz de tierras altas.

**Fuente:** IPCC. 2019. *Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 11. Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Cuadro 11.1.* [ Consultado el 22 de mayo de 2023] [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch11\\_Soils\\_N2O\\_CO2.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf)

**Cuadro A1.4.** Factores de emisión de volatilización y lixiviación por defecto para emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O del suelo

Tabla 11.1 (Actualizada)					
FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA ESTIMAR LAS EMISIONES DIRECTAS DE N <sub>2</sub> O PROCEDENTES DE SUELOS GESTIONADOS					
Factor de emisión (FE)	Agregado		Desagregado		
	Valor por defecto	Rango de incertidumbre	Desagregación <sup>4</sup>	Valor por defecto	Rango de incertidumbre
FE <sub>1</sub> para las adiciones de N procedentes de fertilizantes sintéticos, enmiendas orgánicas y residuos de cultivos, y N mineralizado del suelo como resultado de la pérdida de carbono del suelo <sup>1</sup> . [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0.010	0.001 – 0.018	Fertilizantes sintéticos	0.016	0.013 – 0.019
			Aportes <sup>5</sup> de fertilizantes sintéticos en climas húmedos.	0.006	0.001 – 0.011
			Otros aportes <sup>6</sup> de N en climas húmedos	0.005	0.000 – 0.011
FE <sub>1FR</sub> para arrozales inundados. <sup>2,7</sup> [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0.004	0.000 – 0.029	Todos los aportes de N en climas secos	0.003	0.000 – 0.010
			Inundación continua.	0.005	0.000 – 0.016
FE <sub>1FR, CPF</sub> para ganado vacuno (lechero, no lechero y búfalos), aves de corral y cerdos. [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0.004	0.000 – 0.014	Drenaje simple y múltiple	0.006	0.000 – 0.026
			Climas húmedos	0.002	0.000 – 0.006
FE <sub>1FR, DO</sub> para ovejas y otros animales. <sup>3</sup> [kg N <sub>2</sub> O-N (kg N) <sup>-1</sup> ]	0.003	0.000 – 0.010	-	-	-

Fuentes:  
<sup>1</sup> Stehfest & Bowman 2006; van Lent et al. 2015; Grace et al. 2016; van der Weerden et al. 2016; Albanito et al. 2017; Cayuela et al. 2017; Liu et al. 2017; Rochette et al. 2018.  
<sup>2</sup> Aklyama et al. 2005; Albanito et al. 2017; Cayuela et al. 2017.  
<sup>3</sup> Yamulki et al. 1998; Galbally et al. 2000; Liebig et al. 2008; Cal & Aklyama 2016; Cardenas et al. 2016; Di et al. 2016; Hoodendoorn et al. 2016; Hyde et al. 2016; Krol et al. 2016; Luo et al. 2016; Marsden et al. 2016; Misselbrook et al. 2016; Nichols et al. 2016; O'Connor et al. 2016; Owens et al. 2016; Pelster et al. 2016; Ward et al. 2016; Balvert et al. 2017; Forrestal et al. 2017; Marsden et al. 2017; Owens et al. 2017; Thomas et al. 2017 a, b; Tully et al. 2017; van der Weerden et al. 2017; Cardoso et al. 2018; Chadwick et al. 2018; Nichols et al. 2018.  
Notas:  
FE<sub>1</sub>: El rango de incertidumbre del FE<sub>1</sub> desagregado está basado en el intervalo de confianza del 95% de los valores ajustados. El intervalo de incertidumbre de la FE<sub>1</sub> agregada se basa entre el percentil 2,5 al 97,5 del conjunto de datos. (Ver los métodos, datos y resultados en el anexo 11A.2).  
FE<sub>1FR</sub>: El rango de incertidumbre está basado entre el percentil 2.5 al 97.5 (Ver los métodos y datos en el Anexo 11A.3).  
Para el FE<sub>2</sub>, Ver las orientaciones del Suplemento de 2013 de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero: Humedales, Capítulo 2, Tabla 2.5.  
<sup>4</sup>La desagregación de FE<sub>1</sub> y FE<sub>1FR, CPF</sub> por clima (basado en medias a largo plazo): Los climas húmedos se dan en zonas templadas y boreales donde la relación precipitación anual: evapotranspiración potencial >1, y zonas tropicales donde la precipitación anual >1000mm. Los climas secos se dan en zonas de temperatura y boreales donde la relación precipitación anual: evapotranspiración potencial <1, y en zonas tropicales donde la precipitación anual <1000mm (cf. La Figura 3.A.5.1 del Capítulo 3 del Vol. 4 proporciona un mapa que subdivide los climas húmedos y secos basándose en estos criterios.)  
En los climas más húmedos, el FE<sub>1</sub> se desglosa aún más en función de los aportes de N de los fertilizantes sintéticos y de otros aportes de N.  
<sup>5</sup>Este factor de emisión debe utilizarse para aplicaciones de fertilizantes sintéticos y mezclas de fertilizantes que incluyan tanto formas sintéticas como orgánicas de N.  
<sup>6</sup>Otros aportes de N se refieren a enmiendas orgánicas, abonos animales (por ejemplo, lodos, estiércol digerido), N en residuos de cultivos y N mineralizado procedente de la descomposición de la materia orgánica del suelo.  
<sup>7</sup>La desagregación del FE<sub>1FR</sub>: El drenado simple y múltiple también incluye el humedecimiento y el secado alternos. No se proporcionan FE<sub>1FR</sub> desagregados para sistemas de secano y de aguas profundas por falta de datos. El FE<sub>1</sub> debe utilizarse para el arroz de tierras altas.

**Fuente:** IPCC. 2019. *Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.* Capítulo 11. Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Cuadro 11.3. [Consultado el 22 de mayo de 2023]. [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch11\\_Soils\\_N2O\\_CO2.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch11_Soils_N2O_CO2.pdf)

**Cuadro A1.5.** Factores de emisión por defecto para las emisiones de CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O procedentes del tratamiento biológico de los desechos

CUADRO 4.1 FACTORES DE EMISIÓN POR DEFECTO PARA LAS EMISIONES DE CH <sub>4</sub> AND N <sub>2</sub> O PROCEDENTES DEL TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE LOS DESECHOS					
Tipo de tratamiento biológico	Factores de emisión de CH <sub>4</sub> (g de CH <sub>4</sub> /kg. de desechos tratados)		Factores de emisión de N <sub>2</sub> O (g de N <sub>2</sub> O/kg. de desechos tratados)		Comentarios
	sobre la base de peso en seco	sobre la base de peso húmedo	sobre la base de peso en seco	sobre la base de peso húmedo	
<b>Preparación de abono orgánico (compost)</b>	10 (0,08 - 20)	4 (0,03 - 8)	0,6 (0,2 - 1,6)	0,3 (0,06 - 0,6)	Hipótesis sobre los desechos tratados: 25-50% DOC en la materia seca, 2% N en la materia seca, contenido de humedad 60%. Los factores de emisión para los desechos secos se estiman a partir de los factores para desechos húmedos bajo la hipótesis de un 60% de humedad en los desechos húmedos.
<b>Digestión anaeróbica en las instalaciones de biogás</b>	2 (0 - 20)	1 (0 - 8)	Se supone insignificante	Se supone insignificante	

Fuentes: Arnold, M. (2005) comunicación personal; Beck-Friis (2002); Detzel *et al.* (2003); Petersen *et al.* 1998; Hellebrand 1998; Hogg, D. (2002); Vesterinen (1996).

Fuente: IPCC. 2006. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 5. Desechos.* Capítulo 4. Tratamiento biológico de los desechos sólidos. Cuadro 4.1. [Consultado el 22 de mayo de 2023] [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5\\_Volume5/V5\\_4\\_Ch4\\_Bio\\_Treat.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/5_Volume5/V5_4_Ch4_Bio_Treat.pdf)

**Cuadro A1.6.** Factores de emisión (g kg<sup>-1</sup> e materia seca quemada) para distintos tipos de quemado

CUADRO 2.5 FACTORES DE EMISIÓN (g kg <sup>-1</sup> DE MATERIA SECA QUEMADA) PARA DISTINTOS TIPOS DE QUEMADO. LOS VALORES SON MEDIAS ± SD Y SE BASAN EN UNA REVISIÓN EXHAUSTIVA DE ANDREAE Y MERLET (2001) (Debe utilizarse como la cantidad «G <sub>cp</sub> » de la Ecuación 2.27)					
Categoría	CO <sub>2</sub>	CO	CH <sub>4</sub>	N <sub>2</sub> O	NO <sub>x</sub>
Sabana y pastizales	1613 ± 95	65 ± 20	2,3 ± 0,9	0,21 ± 0,10	3,9 ± 2,4
Residuos agrícolas	1515 ± 177	92 ± 84	2,7	0,07	2,5 ± 1,0
Bosque tropical	1580 ± 90	104 ± 20	6,8 ± 2,0	0,20	1,6 ± 0,7
Bosque tropical extra	1569 ± 131	107 ± 37	4,7 ± 1,9	0,26 ± 0,07	3,0 ± 1,4
Quemado de biocombustible	1550 ± 95	78 ± 31	6,1 ± 2,2	0,06	1,1 ± 0,6

Nota: La categoría «bosques tropicales extra» incluye todos los demás tipos de bosques.  
Nota: Respecto a la combustión de biomasa no boscosa en pastizales y tierras de cultivo, no es necesario estimar ni declarar las emisiones de CO<sub>2</sub> porque se supone que las absorciones anuales de CO<sub>2</sub> (a través del crecimiento) y las emisiones anuales de CO<sub>2</sub> (ya sea por descomposición o fuego) por parte de la biomasa están en equilibrio (véase lo analizado precedentemente sobre sincronía en la Sección 2.4).

Fuente: IPCC. 2019. *Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra.* Capítulo 2. Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra. Cuadro 2.5. [Consultado el 04 de agosto de 2023] [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch02\\_Generic%20Methods.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch02_Generic%20Methods.pdf)

**Cuadro A1.7.** Fracciones de remoción de materia orgánica en el tratamiento de aguas residuales ( $TOW_{REM}$ ) según el tipo de tratamiento

Tipo de tratamiento	Defecto	Rango
Sistemas sin tratamiento	0	0 – 0.1
Primario (Plantas mecánicas de tratamiento)	0.40	0.25 – 0.50
Primario + secundario (plantas biológicas de tratamiento)	0.85	0.80 – 0.90
Primario + secundario + terciario (plantas biológicas avanzadas de tratamiento)	0.90	0.80 – 0.95
Fosa o Sistema sépticos	0.625	0.50 – 0.60
Letrina – Clima seco, nivel freático más bajo que letrina, pequeña familia (3-5 usuarios).	0.1	0.05 – 0.15
Letrina – Clima seco, nivel freático más bajo que letrina, comunal (muchos usuarios).	0.5	0.4 – 0.6
Letrina – Clima seco/ uso de agua de sistema, nivel freático más alto que letrina.	0.7	0.7 – 1.0

**Fuente:** IPCC. 2019. *Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*. Volumen 5. Desechos. Capítulo 6. Tratamiento y eliminación de aguas residuales. Cuadro 6.6B. [Consultado el 12 de junio de 2023] [www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5\\_Volume5/19R\\_V5\\_6\\_Ch06\\_Wastewater.pdf](http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5_Volume5/19R_V5_6_Ch06_Wastewater.pdf).

**Cuadro A1.8.** Valores MCF por defecto y FEs ( $CH_4$ ) resultantes para aguas residuales industriales

Tipo de tratamiento y vía o sistema de vertido	Comentarios	CCMS (Rango)	FE (kg $CH_4$ /kg DBO)	FE (kg $CH_4$ /kg DQO)
<b>Descarga sistema tratado o sin tratamiento</b>				
Descarga en medios acuáticos. (Nivel 1 - Tier 1)	La mayoría de los medios acuáticos incluyendo ríos, están sobresaturados en $CH_4$ . El exceso de producción incrementa las emisiones de $CH_4$ . Medios donde el carbono se acumula en sedimentos tienen mayor potencial para generación de metano.	0.11 (0.004 – 0.27)	0.068	0.028
Descarga en medios acuáticos distintos de embalses, lagos y estuarios. (Nivel 2 - Tier 2)	La mayoría de los medios acuáticos incluyendo ríos, están sobresaturados en $CH_4$ . El exceso de producción incrementa las emisiones de $CH_4$ .	0.035 (0.004 – 0.06)	0.021	0.009
Descarga en embalses, lagos y estuarios. (Nivel 2 - Tier 2)	Medios donde el carbono se acumula en sedimentos tienen mayor potencial para generación de metano.	0.19 (0.08 – 0.27)	0.114	0.048
Descarga en suelo.	La descarga de lodos y/o aguas residuales al suelo puede ser fuente de $CH_4$ para fertilización.	Se reportan las emisiones en el Volumen 4, Refinamiento 2019 directrices del IPCC		
<b>Sistemas de tratamiento de aguas residuales</b>				
Centralizado, planta de tratamiento aeróbica.	Se puede emitir algo de $CH_4$ desde las cámaras de sedimentación y otras bolsas anaeróbicas. En el caso de las plantas de tratamiento que reciben aguas residuales por encima de la capacidad de diseño, los responsables del inventario deben juzgar en consecuencia la cantidad de materia orgánica eliminada en los lodos.	0 (0 – 0.1)	0	0
Reactor anaeróbico (por ejemplo, digestión anaeróbica de lodos en manto de flujo ascendente)	No se considera la recuperación de $CH_4$ .	0.8 (0.8 – 1.0)	0.48	0.2
Lagunas anaerobias poco profundas y lagunas facultativas.	Profundidades menores a 2 metros, bajo criterio profesional.	0.2 (0 – 0.3)	0.12	0.05
Laguna anaerobia profunda	Profundidades mayores a 2 metros.	0.8 (0.8 – 1.0)	0.48	0.2

**Fuente:** IPCC. 2019. *Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*. Volumen 5. Desechos. Capítulo 6. Tratamiento y eliminación de aguas residuales. Cuadro 6.8. [Consultado el: 12 de junio de 2023]. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>.

**Cuadro A1.9.** Valores de FE (N<sub>2</sub>O) por defecto para aguas residuales domésticas e industriales

Tabla 6.8A (Nueva)			
VALORES DE CELDAS DE COMBUSTIBLE MICROBIANAS (CCMS) POR DEFECTO Y FACTORES DE EMISION (FE) RESULTANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES			
Tipo de tratamiento y vía o sistema de vertido	Comentarios	FE <sup>1</sup> (kg N <sub>2</sub> O-N/kg N)	Rango
<b>Descarga sistema tratado o sin tratamiento</b>			
Agua dulce, estuario y descarga marina. (Nivel 1 - Tier 1)	Basado en datos de campo limitados y en hipótesis específicas sobre la ocurrencia de nitrificación y desnitrificación en ríos y estuarios.	0.005 <sup>2</sup>	0.0005 – 0.075
Entornos de agua dulce, estuarinos y marinos hipóxicos o afectados por nutrientes (Nivel 3 - Tier 3, en caso necesario)	Las emisiones más elevadas se asocian a aguas afectadas por nutrientes/hipoxia, como lagos eutróficos, estuarios y ríos, o lugares donde se dan condiciones de estancamiento. Para más información, véase el apartado 6.3.1.2.	0.019 <sup>2</sup>	0.0041 – 0.091
Descarga en suelo	Se reportan las emisiones en el Volumen 4, Refinamiento 2019 directrices del IPCC		
<b>Sistemas de tratamiento de aguas residuales Factor de Emisión (FE<sub>plantas</sub>)</b>			
Centralizado, planta de tratamiento aeróbica.	El N <sub>2</sub> O es variable y puede ser significativo.	0.016 <sup>1</sup>	0.00016 – 0.045
Reactor anaeróbico.	El N <sub>2</sub> O no es significativo.	0	0 - 0.001
Lagunas anaerobias poco profundas y lagunas facultativas.	El N <sub>2</sub> O no es significativo.	0	0 – 0.001
Humedales artificiales	<i>Ver Suplemento de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero, Humedales (IPCC 2014).</i>		
Fosa séptica	El N <sub>2</sub> O no es significativo.	0	0 – 0.001
Fosa séptica y zona de descarga de residuos	El N <sub>2</sub> O no es significativo.	0.0045	0 – 0.01
Letrina	El N <sub>2</sub> O no es significativo.	0	0 – 0.01
<b>Tratamiento de lodos</b>			
Digestor anaeróbico para lodos	El N <sub>2</sub> O no es significativo.	0	0
Compostaje	Ver capítulo 4, Refinamiento 2019 directrices del IPCC, Volumen 5, para la metodología de emisión.	Ver Volumen 5, capítulo 4, tabla 4.1, Refinamiento 2019 directrices del IPCC	
Incineración o quema a cielo abierto	Ver capítulo 5, Refinamiento 2019 directrices del IPCC, Volumen 5, para la metodología de emisión.	Ver Volumen 5, capítulo 5, Refinamiento 2019 directrices del IPCC.	
Fuentes: Basado en literatura científica y en el juicio experto de los autores principales de esta tabla en Refinamiento 2019 directrices del IPCC, Volumen 5, Capítulo 6.			
<sup>1</sup> Ver Anexo 6A.5			
<sup>2</sup> Ver Anexo 6A.6			

*Fuente:* IPCC. 2019. Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 5. Desechos. Capítulo 6. Tratamiento y eliminación de aguas residuales. Cuadro 6.8A. [Consultado el: 12 de junio de 2023]. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>

**Cuadro A1.10.** Fracciones de remoción de nitrógeno en el tratamiento de aguas residuales ( $N_{REM}$ ) según el tipo de tratamiento

<b>Tabla 6.10C (Nueva)</b>		
<b>FRACCIONES DE ELIMINACIÓN DE NITRÓGENO (<math>N_{REM}</math>) EN EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES SEGÚN EL TIPO DE TRATAMIENTO</b>		
<b>Tipo de tratamiento</b>	<b>Defecto</b>	<b>Rango</b>
Sistemas sin tratamiento	0 <sup>1-3</sup>	0 <sup>1-3</sup>
Primario (Mecánico)	0.10 <sup>1-3</sup>	0.05 – 0.20 <sup>1-3</sup>
Secundario (Biológico)	0.40 <sup>1-3</sup>	0.35 – 0.55 <sup>1-3</sup>
Terciario (Biológico avanzado)	0.80 <sup>1-4</sup>	0.45 – 0.85 <sup>1-4</sup>
Fosa o Sistema sépticos	0.15 <sup>1-3</sup>	0.10 – 0.25 <sup>1-3</sup>
Fosa séptica y zona de descarga de residuos	0.68 <sup>5</sup>	0.62 – 0.73 <sup>5</sup>
Letrina	0.12 <sup>6</sup>	0.07 – 0.21 <sup>6</sup>
<b>Fuentes:</b> <sup>1</sup> Kristensen <i>et al.</i> (2004) <sup>2</sup> Van Drecht <i>et al.</i> (2009) <sup>3</sup> Basado en el juicio experto de los autores principales de esta tabla. <sup>4</sup> Ekama y Wentzel (2008) <sup>5</sup> Andreoli <i>et al.</i> (1979) <sup>6</sup> EMEP/EAA (2016)		

*Fuente:* IPCC. 2019. *Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero*. Volumen 5. Desechos. Capítulo 6. Tratamiento y eliminación de aguas residuales. Cuadro 6.10c. [Consultado el: 12 de junio de 2023]. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5\\_Volume5/19R\\_V5\\_6\\_Ch06\\_Wastewater.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/5_Volume5/19R_V5_6_Ch06_Wastewater.pdf)

**Cuadro A1.11.** Referencia por defecto de condición de reservas de carbono orgánico del suelo (SOC<sub>REF</sub>) para suelos minerales (toneladas de carbono por hectárea en 0-30 cm de profundidad)

<b>Tabla 2.3 (Actualizada)</b>			
<b>REFERENCIA POR DEFECTO: ESTADO DE LAS RESERVAS DE CARBONO ORGÁNICO EN SUELOS MINERALES (TONELADAS DE CARBONO POR HA EN 30CM DE PROFUNDIDAD)</b>			
Zona climática IPCC5	Tipo de Suelo IPCC		
	Suelo arcilloso de alta actividad (HAC) <sup>7</sup>	Suelo arcilloso de baja actividad (LAC) <sup>8</sup>	Suelo arenoso (SAN) <sup>9</sup>
Polar húmedo/seco (Px-undiff) <sup>13</sup>	59 ± 41% (24)	NA	27 ± 67% (18)
Boreal húmedo/seco (Bx-undiff) <sup>13</sup>	63 ± 18% (35)	NA	10 ± 90% <sup>4</sup>
Templado frío seco (CZ)	43 ± 8% (177)	33 ± 90% <sup>3</sup>	13 ± 33% (10)
Templado frío húmedo (CI)	81 ± 5% (334)	76 ± 51% (6)	51 ± 13% (126)
Templado cálido seco (WZ)	24 ± 5% (781)	19 ± 16% (41)	10 ± 5% (338)
Templado cálido húmedo (WI)	64 ± 5% (489)	55 ± 8% (183)	36 ± 23% (39)
Tropical seco (T4)	21 ± 5% (554)	19 ± 10% (135)	9 ± 9% (164)
Tropical húmedo (T3)	40 ± 7% (226)	38 ± 5% (326)	27 ± 12% (76)
Tropical muy húmedo (T2)	60 ± 8% (137)	52 ± 6% (271)	46 ± 20% (43)
Tropical monzónico (T1)	51 ± 10% (114)	44 ± 11% (84)	52 ± 34% (11)
	<b>Suelos esponjosos (POD)<sup>10</sup></b>	<b>Suelos volcánicos (VOL)<sup>11</sup></b>	<b>Suelos húmedos (WET)<sup>12</sup></b>
Polar húmedo/seco (Px-undiff) <sup>13</sup>	NO	NA	NA
Boreal húmedo/seco (Bx-undiff) <sup>13</sup>	117 ± 90% <sup>3</sup>	20 ± 90% <sup>4</sup>	116 ± 65% (6)
Templado frío seco (CZ)	NO	20 ± 90% <sup>4</sup>	87 ± 90% <sup>3</sup>
Templado frío húmedo (CI)	128 ± 14% (45)	136 ± 14% (28)	128 ± 13% (42)
Templado cálido seco (WZ)	NO	84 ± 65% (10)	74 ± 17% (49)
Templado cálido húmedo (WI)	143 ± 30% (9)	138 ± 12% (42)	135 ± 28% (28)
Tropical seco (T4)	NA	50 ± 90% <sup>4</sup>	22 ± 17% (32)
Tropical húmedo (T3)	NA	70 ± 90% <sup>4</sup>	68 ± 17% (55)
Tropical muy húmedo (T2)	NA	77 ± 27% (14)	49 ± 19% (33)
Tropical monzónico (T1)	NA	96 ± 31% (10)	82 ± 50% (12)

Notas: Los datos proceden de Batjes (2010) y Batjes (2011), a menos que se indique lo contrario mediante el uso de superíndices. <sup>1</sup>NA indica que la categoría de suelo puede darse en una zona climática, pero no se dispone de datos. NO indica que el tipo de suelo no se da normalmente en una zona climática. <sup>2</sup>Todos los valores se presentan en el formato de la media resultante de la combinación de suelo y clima ± el límite de confianza del 95% expresado como porcentaje de la media (es decir, ±1,96 \* error estándar/media \* 100). Los valores entre paréntesis son el número de suelos incluidos en la derivación de los valores de la media y el error estándar para cada combinación de tipos de suelo y clima. <sup>3</sup>Indica que no se dispone de datos de Batjes (2011), pero los valores se derivaron de las Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero y se han utilizado en la tabla. No se disponía de valores de n. Se asignó una estimación de error nominal de ± 90% de la media según las Directrices del IPCC de 2006. <sup>4</sup>Indica los casos en los que no se disponía de datos ni en Batjes (2011) ni en las Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero de 2006. Los valores medios presentan los valores por defecto utilizados en las Directrices del IPCC de 1996. No se disponía de valores de n. Se asignó una estimación de error nominal de ±90% de la media según las Directrices del IPCC de 2006. <sup>5</sup>Las clases climáticas se definen de acuerdo con (IPCC 2006, p. 339) utilizando la elevación de la temperatura media anual, la precipitación media anual, la precipitación media anual a la ración de evapotranspiración potencial y la ocurrencia de heladas. <sup>6</sup>Las clases de suelo se deducen de la clasificación FAO-1990/WRB-2006 de acuerdo con IPCC (2006 p. 3.40-3.41). <sup>7</sup> Los suelos con minerales de arcilla de alta actividad (HAC) son suelos ligeramente a moderadamente meteorizados dominados por minerales de arcilla de silicato relación 2:1 (en la clasificación de la Base Mundial de Referencia para los Recursos del Suelo (WRB): Leptosoles, Vertisoles, Kastanozems, Chernozems, Phaeozems, Luvisoles, Alisoles, Albeluvisoles, Solonetz, Calcisoles, Gypsisoles, Umbrisoles, Cambisoles, Regosoles; en la clasificación USD: Mollisoles, Vertisoles, Alfisoles de alto estatus básico, Aridisoles, Inceptisoles). <sup>8</sup>Los suelos con minerales de arcilla de baja actividad (LAC) son suelos muy meteorizados, dominados por minerales de arcilla relación 1:1 y óxidos amorfos de hierro y aluminio (en la clasificación WRB: Acrisoles, Lixisoles, Nitisoles, Ferralsoles, Durisoles; en la clasificación USDA: Ultisoles, Oxisoles, Alfisoles ácidos). <sup>9</sup>Suelos (independientemente de la clasificación taxonómica) con >70% de arena y <8% de arcilla (en la clasificación de la WRB: Arenosoles; en la clasificación del USDA: Psamments). <sup>10</sup>Suelos con fuerte podzolización (en la clasificación de la WRB incluye Podzoles; en la clasificación del USDA Espodosoles). <sup>11</sup>Suelos derivados de cenizas volcánicas con mineralogía alofónica (en la clasificación de la WRB, Andosoles; en la clasificación del USDA, Andisoles). <sup>12</sup>Suelos con drenaje restringido que provoca inundaciones periódicas y condiciones anaeróbicas (en la clasificación de la WRB, Gleysols; en la clasificación del USDA, Aquic suborders). <sup>13</sup>No se diferenciaron las zonas Boreal seca y Boreal húmeda ni las zonas Polar seca y Polar húmeda. Los resultados presentados representan las reservas de SOC para las clases Boreal (bx) y Polar (Px) no diferenciadas (undiff).

Fuente: IPCC. 2019. Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 2. Metodologías genéricas aplicables a múltiples categorías de uso de la tierra. Cuadro 2.3. [Consultado el 03 de julio de 2023]. <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol5.html>

**Cuadro A1.12.** Factores relativos de cambio en las reservas de carbono ( $F_{LU}$ ,  $F_{MG}$  y  $F_I$ ) (durante 20 años) para actividades de gestión en tierras de cultivo

Tabla 5.5 (Actualizada)						
FACTORES DE CAMBIOS RELATIVOS DE LAS RESERVAS DE CARBONO ( $F_{UT}$ , $F_o$ , $F_e$ ) (mayores de 20 años)						
PARA ACTIVIDADES DE GESTIÓN EN CULTIVOS						
Tipo de valor del factor F	Nivel	Régimen de temperatura	Régimen de humedad	Valor por defecto de IPCC	Error	Descripción
Uso de tierra <sup>5</sup> ( $F_{UT}$ )	Cultivado a largo plazo	Templado frío / Boreal	Seco	0.77	±14%	Representa la superficie que se ha transformado a partir de las condiciones nativas y se ha gestionado de forma continuada para cultivos predominantemente anuales durante 50 años. El factor de uso de la tierra se ha calculado en condiciones de referencia de labranza completa y niveles nominales ("medios") de insumos de carbono. Los factores de entrada y labranza también se aplican para estimar los cambios en las reservas de carbono, que incluyen los cambios a partir de la labranza completa y la entrada media.
			Húmedo	0.70	±12%	
		Templado cálido	Seco	0.76	±12%	
			Húmedo	0.69	±16%	
		Tropical	Seco	0.92	±13%	
Húmedo - Mojado	0.83	±11%				
Uso de tierra <sup>6</sup> ( $F_{UT}$ )	Humedal (Arroz con cáscara)	Todos	Seco, húmedo y mojado	1.35	±4%	Cultivo anual a largo plazo (>20 años) de humedales (arroz con cáscara). Puede incluir el doble cultivo con cultivos no inundados. En el caso del arroz con cáscara, no se utilizan factores de labranza ni, de entrada.
Uso de tierra <sup>6</sup> ( $F_{UT}$ )	Cultivo perenne / arbóreo	Templado / boreal	Seco y húmedo	0.72	±22%	Cultivos perennes arbóreos a largo plazo tales como árboles frutales y de frutos secos, café y cacao.
		Tropical	Seco, húmedo/ mojado	1.01	±25%	
Uso de tierra ( $F_{UT}$ )	Reserva (<20 años)	Templado / Boreal y Tropical	Seco	0.93	±11%	Representa la reserva temporal de tierras de cultivo anuales (por ejemplo, reservas de conservación) u otras tierras de cultivo ociosas que han sido revegetadas con gramíneas perennes.
			Húmedo/ Mojado	0.82	±17%	
		Tropical monzónico	N/A	0.88	±50%	
Labranza ( $F_o$ )	Completa	Todos	Seco y húmedo / mojado	1.00	N/A	Alteración sustancial del suelo con inversión completa y/o operaciones de labranza frecuentes (en un año). En el momento de la plantación, una pequeña parte (por ejemplo, <30%) de la superficie está cubierta por residuos.
Labranza <sup>L</sup> ( $F_o$ )	Reducida	Templado frío / boreal	Seco	0.98	±5%	Labranza primaria y/o secundaria, pero con una alteración reducida del suelo (normalmente poco profunda y sin inversión completa del suelo). Normalmente deja la superficie con una cobertura de residuos superior al 30% en el momento de la siembra.
			Húmedo	1.04	±4%	
		Templado cálido	Seco	0.99	±3%	
			Húmedo	1.05	±4%	
		Tropical	Seco	0.99	±7%	
Húmedo	1.04	±7%				
Labranza <sup>L</sup> ( $F_o$ )	Siembra directa	Templado frío / boreal	Seco	1.03	±4%	Siembra directa sin labranza primaria, con una alteración mínima del suelo en la zona de siembra. Suelen utilizarse herbicidas para controlar las malas hierbas.
			Húmedo	1.09	±4%	
		Templado cálido	Seco	1.04	±3%	
			Húmedo	1.10	±4%	
		Tropical	Seco	1.04	±7%	
Húmedo	1.10	±5%				
Entrada ( $F_e$ )	Bajo	Templado / Boreal	Seco	0.95	±13%	El bajo retorno de residuos se produce cuando hay eliminación de residuos (mediante recogida o quema), siembra frecuente al descubierto, producción de cultivos que producen pocos residuos (por ejemplo, hortalizas, tabaco, algodón), ausencia de fertilización mineral o cultivos fijadores de N.
			Húmedo	0.92	±14%	
		Tropical	Seco	0.95	±13%	
			Húmedo / Mojado	0.92	±14%	
		Tropical monzónico <sup>4</sup>	N/A	0.94	±50%	
Entrada ( $F_e$ )	Medio	Todos	Seco y húmedo / mojado	1.00	N/A	Representativo de los cultivos anuales con cereales en los que todos los residuos de cultivo se devuelven al campo. Si se retiran los residuos, se añade materia orgánica suplementaria (por ejemplo, estiércol/abono). También requiere fertilización mineral o cultivos fijadores de N en rotación.

Tabla 5.5 (Actualizada)						
FACTORES DE CAMBIOS RELATIVOS DE LAS RESERVAS DE CARBONO (F <sub>UT</sub> , F <sub>C</sub> , F <sub>E</sub> ) (mayores de 20 años)						
PARA ACTIVIDADES DE GESTIÓN EN CULTIVOS						
Tipo de valor del factor F	Nivel	Régimen de temperatura	Régimen de humedad	Valor por defecto de IPCC	Error	Descripción
Entrada (F <sub>E</sub> )	Alto no abonado	Templado / Boreal y Tropical	Seco	1.04	±13%	Representa una aportación significativamente mayor de residuos de cultivos que los sistemas de cultivo con una aportación media de carbono debido a prácticas adicionales, como la producción de cultivos con un alto rendimiento de residuos, el uso de abonos verdes, cultivos de cobertura, barbechos con vegetación mejorada, irrigación, uso frecuente de gramíneas perennes en rotaciones de cultivos anuales, pero sin aplicación de estiércol (véase la fila que aparece a continuación).
			Húmedo / mojado	1.11	±10%	
		Tropical monzónico <sup>4</sup>	N/A	1.08	±50%	
Entrada (F <sub>E</sub> )	Alto abono	Templado / Boreal y Tropical	Seco	1.37	±12%	Representa un aporte de carbono significativamente mayor que los sistemas de cultivo con un aporte medio de carbono debido a la práctica adicional de añadir estiércol animal de forma regular.
			Húmedo / Mojado	1.44	±13%	
		Tropical monzónico <sup>4</sup>	N/A	1.41	±50%	

Notas: El cultivo a largo plazo, los cultivos perennes de arroz con cáscara y los factores de gestión del laboreo se obtuvieron utilizando los métodos proporcionados en el Anexo 5A1 del Refinamiento 2019 directrices del IPCC.

<sup>1</sup>Cuando los datos fueron suficientes, se determinaron valores separados para los regímenes de temperatura templado y tropical; y los regímenes de humedad seco, húmedo y mojado. Las zonas templadas y tropicales corresponden a las definidas en el capítulo 3 del Refinamiento 2019 directrices del IPCC; el régimen de humedad húmeda corresponde a las zonas húmeda y húmeda combinadas en los trópicos y a la zona húmeda en las regiones templadas.

<sup>2</sup>±dos desviaciones estándar, expresadas como porcentaje de la media; en los casos en los que no se disponía de suficientes estudios para realizar un análisis estadístico que permitiera obtener un valor por defecto, se asumió que la incertidumbre era del ±50% basándose en la opinión de expertos. N/A significa "No aplicable", donde los valores de los factores constituyen valores de referencia definidos, y las incertidumbres se reflejan en las reservas de carbono de referencia y en los factores de cambio de las reservas para el uso de la tierra.

<sup>3</sup>Este intervalo de error no incluye el posible error sistemático debido al pequeño tamaño de las muestras, que puede no ser representativo del verdadero impacto en todas las regiones del mundo.

<sup>4</sup>No había suficientes estudios para estimar algunos de los factores de cambio de existencias para suelos minerales en la región de clima tropical monzónico. Como aproximación, se utilizó el cambio de existencias medio entre las regiones templadas y tropicales para aproximar el cambio de existencias para el clima tropical monzónico.

Fuentes:

<sup>5</sup>Las siguientes referencias se utilizaron para los factores del uso de suelo (otras distintas a arroz con cáscara): Aborisode y Aweto 1990; Adachi *et al.* 2006; Agbenin y Goladi 1997; Aina 1979; Alcanta *et al.* 2004; Allen 1985; An *et al.* 2003; Ashagrie *et al.* 2005; Assad *et al.* 2013; Aweto 1981; Aweto y Ayuba 1988; Aweto y Ayuba 1993; Aweto e Ishola 1994; Ayanaba *et al.* 1976; Banaticla y Lasco 2006; Bashkin y Binkley 1998; Battle-Bayer *et al.* 2010; Bautista-Cruz y del Castillo 2005; Berhongaray *et al.* 2013; Bernardi *et al.* 2007; Bernhardreversat 1988; Berthrong *et al.* 2012; Bertol y Santos 1995; Beyer 1994; Binkley *et al.* 2004; Binkley y Resh 1999; Bonde *et al.* 1992; Bowman y Anderson 2002; Brand y Pfund 1998; Bown y Lugo 1990; Bruun *et al.* 2006; Burke *et al.* 1995; Buschbacher *et al.* 2006; Buschbacher *et al.* 1998; Buyanovksy *et al.* 1987; Cadisch *et al.* 2006; Cai *et al.* 2008; Cambardella y Elliot 1994; Cambardella y Elliot 1992; Campos *et al.* 2007; Cao *et al.* 2004; Carvalho *et al.* 2009; Cerri *et al.* 2006; Cerri *et al.* 2003; Cerri *et al.* 2007; Chan 1997; Chandran *et al.* 2009; chen *et al.* 2007; Chen 2006; Chia *et al.* 2017; Chidumayo y Kwibisa 2003; Chiti *et al.* 2014; Chone *et al.* 1991; Cleveland *et al.* 2003; Collines *et al.* 1999; Conant *et al.* 2001; Canti *et al.* 2014; Cook *et al.* 2014; Corazza *et al.* 1999; D'Annunzio *et al.* 2008; da Silva-Junior *et al.* 2009; Dai *et al.* 2008<sup>a</sup>; Dai *et al.* 2008<sup>b</sup>; Dalal *et al.* 2005; Dalal y Mayer 1986; Dawoe *et al.* 2014; de Blecourt *et al.* 2013; de Camargo *et al.* 1999; de Freitas *et al.* 2000; de Koning *et al.* 2003; de Moraes *et al.* 2002; de Moraes *et al.* 1996; de Neergaard *et al.* 2008; Dechert *et al.* 2004; Delelegn *et al.* 2017; Denef *et al.* 2007; Desjardins *et al.* 1994; Desjardins *et al.* 2004; Detwiler 1986; Eaton y Lawrence 2009; Ecclesia *et al.* 2012; Eden *et al.* 1990; Ekanade 1991; Elliott *et al.* 1991; Elmore y Asner 2006; England *et al.* 2016; Epron *et al.* 2009; Erickson *et al.* 2001; Fabrizzi *et al.* 2009; Farley *et al.* 2004; Feldpausch *et al.* 2004; Feller *et al.* 2001; Fernandes *et al.* 2002; Fernandez *et al.* 2012; Fisher *et al.* 1994; Follett *et al.* 1997; Freibauer 1996; Freixo *et al.* 2002; Fu *et al.* 2000; Fu *et al.* 2001; Han *et al.* 2004; Han *et al.* 2005; Harden *et al.* 1999; Hölscher *et al.* 1997; Hou *et al.* 2008.

Fuente: IPCC. 2019. Refinamiento de 2019 a las Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero. Volumen 4. Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra. Capítulo 5. Tierras de cultivo. Cuadro 5.5. [Consultado el 03 de julio de 2023]. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4\\_Volume4/19R\\_V4\\_Ch02\\_Generic%20Methods.pdf](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/pdf/4_Volume4/19R_V4_Ch02_Generic%20Methods.pdf)

**Cuadro A1.13.** Incremento medio anual de la biomasa sobre el suelo en la regeneración natural, por categorías generales (toneladas de materia seca/ha/año)

<b>CUADRO 3A.1.5</b>						
<b>INCREMENTO MEDIO ANUAL DE LA BIOMASA SOBRE EL SUELO EN LA REGENERACIÓN NATURAL, POR CATEGORÍAS GENERALES</b>						
<b>(toneladas de materia seca/ha/año)</b>						
<b>(Sirve para el valor de <math>C_w</math> en la Ecuación 3.2.5)</b>						
<b>Bosques tropicales y subtropicales</b>						
<b>Clase de edad</b>	<b>Muy húmedo</b>	<b>Húmedo con estación seca corta</b>	<b>Húmedo con estación seca larga</b>	<b>Seco</b>	<b>Montano húmedo</b>	<b>Montano seco</b>
	<b>P &gt; 2000</b>	<b>2000 &gt; P &gt; 1000</b>		<b>P &lt; 1000</b>	<b>P &gt; 1000</b>	<b>P &lt; 1000</b>
<b>África</b>						
≤20 años	10,0	5,3	2,4 (2,3 – 2,5)	1,2 (0,8 – 1,5)	5,0	2,0 (1,0 – 3,0)
>20 años	3,1 (2,3 – 3,8)	1,3	1,8 (0,6 – 3,0)	0,9 (0,2 – 1,6)	1,0	1,5 (0,5 – 4,5)
<b>Asia y Oceanía</b>						
<b>Continental</b>						
≤20 años	7,0 (3,0 – 11,0)	9,0	6,0	5,0	5,0	1,0
>20 años	2,2 (1,3 – 3,0)	2,0	1,5	1,3 (1,0 – 2,2)	1,0	0,5
<b>Insular</b>						
≤20 años	13,0	11,0	7,0	2,0	12,0	3,0
>20 años	3,4	3,0	2,0	1,0	3,0	1,0
<b>América</b>						
≤20 años	10,0	7,0	4,0	4,0	5,0	1,8
>20 años	1,9 (1,2 – 2,6)	2,0	1,0	1,0	1,4 (1,0 – 2,0)	0,4
<b>Bosques de región templada</b>						
<b>Clase de edad</b>		<b>Coníferas</b>			<b>Hoja ancha</b>	
≤20 años		3,0 (0,5 – 6,0)			4,0 (0,5 – 8,0)	
>20 años		3,0 (0,5 – 6,0)			4,0 (0,5 – 7,5)	
<b>Bosques de región boreal</b>						
<b>Clase de edad</b>	<b>Mixtos Hoja caduca-Coníferas</b>	<b>Coníferas</b>	<b>Bosque-Tundra</b>	<b>Hoja ancha</b>		
<b>Eurasia</b>						
≤20 años	1,0	1,5	0,4 (0,2 – 0,5)	1,5 (1,0 – 2,0)		
>20 años	1,5	2,5	0,4 (0,2 – 0,5)	1,5		
<b>América</b>						
≤20 años	1,1 (0,7 – 1,5)	0,8 (0,5 – 1,0)	0,4 (0,2 – 0,5)	1,5 (1,0 – 2,0)		
>20 años	1,1 (0,7 – 1,5)	1,5 (0,5 – 2,5)	0,4 (0,2 – 0,5)	1,3 (1,0 – 1,5)		
Nota: P = precipitación anual en mm/año						
Nota: Los datos se han indicado como valor medio y como escalas de valores posibles.						

**Fuente:** IPCC. 2005. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)*. Capítulo 3: Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. Cuadro 3A.1.5. [Consultado el 06 de julio de 2023]. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_languages.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_languages.html)

**Cuadro A1.14.** Incremento medio anual de la biomasa sobre el suelo en las plantaciones, por categorías generales (toneladas de materia seca/ha/año)

<b>Cuadro 3A.1.6</b> <b>INCREMENTO MEDIO ANUAL DE LA BIOMASA SOBRE EL SUELO EN LAS PLANTACIONES, POR CATEGORÍAS GENERALES</b> <b>(toneladas de materia seca/ha/año)</b> (Sirve para el valor de $C_w$ en la Ecuación 3.2.5. Si faltasen valores sería preferible utilizar los incrementos volumétricos de madera de tronco $I_v$ del Cuadro 3A.1.7)							
Bosques tropicales y subtropicales							
	Clase de edad	Muy húmedo	Húmedo con estación seca corta	Húmedo con estación seca larga	Seco	Montano húmedo	Montano seco
		P >2000	2000>P>1000		P<1000	P>1000	P<1000
<b>África</b>							
Eucalipto spp	≤20 años	-	20,0	12,6	5,1 (3,0-7,0)	-	-
	>20 años	-	25,0	-	8,0 (4,9-13,6)	-	-
Pinus sp	≤20 años	18,0	12,0	8,0	3,3 (0,5-6,0)	-	-
	>20 años	-	15,0	11,0	2,5	-	-
Otras	≤20 años	6,5 (5,0-8,0)	9,0 (3,0-15,0)	10,0 (4,0-16,0)	15,0	11,0	-
	>20 años	-	-	-	11,0	-	-
<b>Asia</b>							
Eucalipto spp	Todas	5,0 (3,6-8,0)	8,0	15,0 (5,0-25,0)	-	3,1	-
Otras especies	-	5,2 (2,4-8,0)	7,8 (2,0-13,5)	7,1 (1,6-12,6)	6,45 (1,2-11,7)	5,0 (1,3-10,0)	-
<b>América</b>							
Pinus	-	-	-	-	-	-	-
	-	18,0	14,5 (5,0 – 19,0)	7,0 (4,0 – 10,3)	5,0	14,0	-
Eucalipto	-	21,0 (6,4 – 38,4)	16,0 (6,4 – 32,0)	16,0 (6,4 – 32,0)	16,0	13,0 (8,5 – 17,5)	-
Tectona	-	15,0	8,0 (3,8 – 11,5)	8,0 (3,8 – 11,5)	-	2,2	-
Otras de hoja ancha	-	17,0 (5,0 – 35,0)	18,0 (8,0 – 40,0)	10,5 (3,2 – 11,8)	-	4,0	-
Nota 1 : P = Precipitación anual en mm/año Nota 2 : Los datos se han indicado como valor medio y como escalas de valores posibles. Nota 3 : Algunos datos de regiones boreales se han calculado a partir de los valores originales de Zakharov <i>et al.</i> (1962), Zagreev <i>et al.</i> (1993), Isaev <i>et al.</i> (1993) utilizando 0,23 como relación biomasa bajo el suelo/biomasa sobre el suelo y suponiendo un aumento lineal del incremento anual de 0 a 20 años. Nota 4 : Para las plantaciones de las zonas templadas y boreales, es una buena práctica utilizar el incremento volumétrico de madera tronco ( $I_v$ en la Ecuación 3.2.5), en lugar del incremento de la biomasa sobre el suelo, conforme se indica en el cuadro precedente.							

**Fuente:** IPCC. 2005. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)*. Capítulo 3: Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. Cuadro 3A.1.6. [Consultado el 06 de julio de 2023] . [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_languages.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_languages.html)

**Cuadro A1.15.** Relación media biomasa bajo el suelo/sobre el suelo (relación raíz-vástago, R) en la regeneración natural, por categorías generales

	Tipo de vegetación	Media (t m.s./t m.s.)
Bosque tropical/ subtropical	Regeneración natural ( $\leq 20$ años) /Bosque secundario ( $> 20$ años)	0,42
Bosque/plantación de coníferas	Plantación forestal de pino	0,32
Otras	Plantación forestal de eucalipto	0,48
	Plantación forestal de teca	0,48
	Plantación forestal de otras especies	0,48

**Fuente:** IPCC. 2005. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)*. Capítulo 3: Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. Cuadro 3A.1.8. [Consultado el 06 de julio de 2023] . [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf\\_languages.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_languages.html).

**Cuadro A1.16.** Densidades de madera básica (D) de troncos (toneladas de materia seca/m<sup>3</sup> de volumen recién talado) para especies arbóreas tropicales

CUADRO 3A.1.9-2 DENSIDADES DE MADERA BÁSICAS (D) DE TRONCOS (toneladas de materia seca/m <sup>3</sup> de volumen recién talado) PARA ESPECIES ARBÓREAS TROPICALES (Sirve para el valor de D en las Ecuaciones 3.2.3, 3.2.5, 3.2.7, 3.2.8)					
ASIA TROPICAL	D	AMÉRICA TROPICAL	D	ÁFRICA TROPICAL	D
Acacia leucophloea	0,76	Albizia spp.	0,52	Azelia spp.	0,67
Adina cordifolia	0,58, 0,59+	Alcornea spp.	0,34	Aidia ochroleuca	0,78*
Aegle marmelo	0,75	Alexa grandiflora	0,6	Albizia spp.	0,52
Agathis spp.	0,44	Alnus ferruginea	0,38	Todosanblackia floribunda	0,63*
Aglaia llanosiana	0,89	Anacardium excelsum	0,41	Todosophyllus africanus f. acuminatus	0,45
Alangium longiflorum	0,65	Anadenanthera macrocarpa	0,86	Alstonia congensis	0,33
Albizzia amara	0,70*	Andira retusa	0,67	Amphimas pterocarpoides	0,63*
Albizzia falcata	0,25	Aniba riparia lduckeii	0,62	Anisophyllea obtusifolia	0,63*
Aleurites trisperma	0,43	Antiaris africana	0,38	Annonidium mannii	0,29*
Alnus japonica	0,43	Apeiba echinata	0,36	Anopyxis klaineana	0,74*
Alphitonia zizyphoides	0,5	Artocarpus comunis	0,7	Anthocleista keniensis	0,50*
Alphonsea arborea	0,69	Aspidosperma spp. (aracanga group)	0,75	Anthothona macrophylla	0,78*
Alseodaphne longipes	0,49	Astronium lecointei	0,73	Anthostemma aubryanum	0,32*
Alstonia spp.	0,37	Bagassa guianensis	0,68, 0,69+	Antiaris spp.	0,38
Amoora spp.	0,6	Banara guianensis	0,61	Antrocaryon klaineum	0,50*
Anisophyllea zeylanica	0,46*	Basiloxylon exelsum	0,58	Aucoumea klaineana	0,37
Anisoptera spp.	0,54	Beilschmiedia sp.	0,61	Autranella congolensis	0,78
Anogeissus latifolia	0,78, 0,79+	Bertholletia excelsa	0,59, 0,63+	Baillonella toxisperma	0,71
Anthocephalus chinensis	0,36, 0,33+	Bixa arborea	0,32	Balanites aEgiptoica	0,63*
Antidesma pleuricum	0,59	Bombacopsis sepium	0,39	Baphia kirkii	0,93*
Aphanamiris perrottetiana	0,52	Borojoa patinoi	0,52	Beilschmiedia louisii	0,70*
Araucaria bidwillii	0,43	Bowdichia spp.	0,74	Beilschmiedia nitida	0,50*
Artocarpus spp.	0,58	Brosimum spp. (alicastrum group)	0,64, 0,66+	Berlinia spp.	0,58
Azadirachta spp.	0,52	Brosimum utile	0,41, 0,46+	Blighia welwitschii	0,74*
Balanocarpus spp.	0,76	Brysenia adenophylla	0,54	Bombax spp.	0,4
Barringtonia edulis *	0,48	Buchenauia capitata	0,61, 0,63+	Brachystegia spp.	0,52
Bauhinia spp.	0,67	Bucida buceras	0,93	Bridelia micrantha	0,47*
Beilschmiedia tawa	0,58	Bulnesia arborea	1	Calpocalyx klainei	0,63*
Berrya cordifolia	0,78*	Bursera simaruba	0,29, 0,34+	Canarium schweinfurthii	0,40*
Bischofia javanica	0,54, 0,58, 0,62+	Byrsonima coriacea	0,64	Canthium rubrocostratum	0,63*
Bleasdalea vitiensis	0,43	Cabralea cangerana	0,55	Carapa procera	0,59
Bombax ceiba	0,33	Caesalpinia spp.	1,05	Casearia battiscombei	0,5
Bombycidendron vidalianum	0,53	Calophyllum sp.	0,65	Cassipourea euryoides	0,70*
Boswellia serrata	0,5	Camposperma panamensis	0,33, 0,50+	Cassipourea malosana	0,59*
Bridelia squamosa	0,5	Carapa sp.	0,47	Ceiba pentandra	0,26
Buchanania latifolia	0,45	Caryocar spp.	0,69, 0,72+	Celtis spp.	0,59
Bursera serrata	0,59	Casearia sp.	0,62	Chlorophora ercelsa	0,55
Butea monosperma	0,48	Cassia moschata	0,71	Chrysophyllum albidum	0,56*
Calophyllum spp.	0,53	Casuarina equisetifolia	0,81	Cleistanthus mildbraedii	0,87*
Calycarpa arborea	0,53	Catostemma spp.	0,55	Cleistopholis patens	0,36*
Cananga odorata	0,29	Cecropia spp.	0,36	Coelocaryon preussii	0,56 <sup>o</sup>
Canarium spp.	0,44	Cedrela spp.	0,40, 0,46+	Cola sp.	0,70 <sup>o</sup>
Canthium monstrosum	0,42	Cedrelinga catenaeformis	0,41, 0,53+	Combretodendron macrocarpum	0,7
Cartodisia calycina	0,66*	Ceiba pentandra	0,23, 0,24, 0,25, 0,29+	Conopharyngia holstii	0,50*

+ Las densidades de madera aquí especificadas provienen de más de una fuente bibliográfica.  
\* El valor de la densidad de madera se ha obtenido de la ecuación de regresión de Reyes *et al.* (1992).  
Fuente: Reyes, Gisela; Brown, Sandra; Chapman, Jonathan; Lugo, Ariel E. 1992. Wood densities of tropical tree species. Gen. Tech. Rep. SO-88 Nueva Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 15 págs.

CUADRO 3A.1.9-2 (CONTINUACIÓN)					
DENSIDADES DE MADERA BÁSICAS (D) DE TRONCOS (toneladas de materia seca/m <sup>3</sup> de volumen recién talado) PARA ESPECIES ARBÓREAS TROPICALES					
(Sirve para el valor de D en las Ecuaciones 3.2.3, 3.2.5, 3.2.7, 3.2.8)					
ASIA TROPICAL	D	AMÉRICA TROPICAL	D	ÁFRICA TROPICAL	D
Cassia javanica	0,69	Centrolobium spp.	0,65	Copaifera religiosa	0,50 <sup>''</sup>
Castanopsis philippensis	0,51	Cespedesia macrophylla	0,63	Cordia millenii	0,34
Casuarina equisetifolia	0,83	Chaetocarpus schomburgkianus	0,8	Cordia platythyrsa	0,36 <sup>''</sup>
Casuarina nodiflora	0,85	Chlorophora tinctoria	0,71, 0,75+	Corynanthe pachyceras	0,63 <sup>''</sup>
Cedrela odorata	0,38	Clarisia racemosa	0,53, 0,57+	Coda edulis	0,78*
Cedrela spp.	0,42	Clusia rosea	0,67	Croton megalocarpus	0,57
Cedrela toona	0,43	Cochlospermum orinocensis	0,26	Cryptosepalum staudtii	0,70*
Ceiba pentandra	0,23	Copaifera spp.	0,46, 0,55+	Ctenolophon englerianus	0,78*
Celtis luzonica	0,49	Cordia spp. (gerascanthus group)	0,74	Cylicodiscus Gabonensis	0,8
Chisocheton pentandrus	0,52	Cordia spp. (todosiodora group)	0,48	Cynometra alexandri	0,74
Chloroxylon swietenia	0,76, 0,79, 0,80+	Couepia sp.	0,7	Dacryodes spp.	0,61
Chukrassia tabularis	0,57	Couma macrocarpa	0,50, 0,53+	Daniellia ogea	0,40*
Citrus grandis	0,59	Couratari spp.	0,5	Desbordesia pierreana	0,87 <sup>''</sup>
Cleidion speciflorum	0,5	Croton xanthochloros	0,48	Detarium senegalensis	0,63*
Cleistanthus collinus	0,88	Cupressus lusitanica	0,43, 0,44+	Dialium excelsum	0,78*
Cleistocalyx spp.	0,76	Cyrilla racemiflora	0,53	Didelotia africana	0,78 <sup>''</sup>
Cochlospermum gossypium+religiosum	0,27	Dactyodes colombiana	0,51	Didelotia letouzeyi	0,5
Cocos nucifera	0,5	Dacryodes excelsa	0,52, 0,53+	Diospyros spp.	0,82
Colona serratifolia	0,33	Dalbergia retusa.	0,89	Discoglyprena caloneura	0,32*
Combretodendron quadrialatum	0,57	Dalbergia stevensonii	0,82	Distemonanthus benthamianus	0,58
Cordia spp.	0,53	Declinanona calycina	0,47	Secopetes sp.	0,63*
Cotylelobium spp.	0,69	Dialium guianensis	0,87	Ehretia acuminata	0,51*
Crataeva religiosa	0,53*	Dialyanthera spp.	0,36, 0,48+	Enantia chlorantha	0,42 <sup>''</sup>
Cratoxylon arborescens	0,4	Dicorynia paraensis	0,6	Endodesmia calophylloides	0,66 <sup>''</sup>
Cryptocarya spp.	0,59	Didymopanax sp.	0,74	Entandrophragma utile	0,53
Cubilia cubili	0,49	Dimorphandra mora	0,99*	Eribroma oblongum	0,60*
Cullenia excelsa	0,53	Diploporia purpurea	0,76, 0,77, 0,78+	Eriocoelum microspermum	0,50 <sup>''</sup>
Cynometra spp.	0,8	Dipterix odorata	0,81, 0,86, 0,89+	Erismadelphus ensul	0,56*
Dacrycarpus imbricatus	0,45, 0,47+	Secopetes variabilis	0,69	Erythrina vogelii	0,25 <sup>''</sup>
Dacrydium spp.	0,46	Dussia lehmannii	0,59	Erythrophleum ivorense	0,72
Dacryodes spp.	0,61	Ecclinusa guianensis	0,63	Erythroxyllum mannii	0,5
Dalbergia paniculata	0,64	Endlicheria cocvirey	0,39	Fagara macrophylla	0,69
Decussocarpus vitiensis	0,37	Enterolobium schomburgkii	0,82	Ficus iteophylla	0,40 <sup>''</sup>
Degeneria vitiensis	0,35	EPerúa spp.	0,78	Fumtunia latifolia	0,45*
Dehaasia triandra	0,64	Eriotheca sp.	0,4	Gambeya spp.	0,56*
Dialium spp.	0,8	Erisma uncinatum	0,42, 0,48+	Garcinia punctata	0,78 <sup>''</sup>
Dillenia spp.	0,59	Erythrina sp.	0,23	Gilletiodendron mildbraedii	0,87 <sup>''</sup>
Diospyros spp.	0,7	Eschweilera spp.	0,71, 0,79, 0,95+	Gossweilerodendron balsamiferum	0,4
Diplodiscus paniculatus	0,63	Eucalipto robusta	0,51	Guarea thompsonii	0,55 <sup>''</sup>
Dipterocarpus caudatus	0,61	Eugenia stahlil	0,73	Guibourtia spp.	0,72
Dipterocarpus euryinchus	0,56	Euxylophora paraensis	0,68, 0,70+	Hannoa klaineana	0,28 <sup>''</sup>
Dipterocarpus gracilis	0,61	Fagara spp.	0,69	Harungana madagascariensis	0,45 <sup>''</sup>
Dipterocarpus grandiflorus	0,62	Ficus sp.	0,32	Hexalobus crispiflorus	0,48 <sup>''</sup>
Dipterocarpus kerrii	0,56	Genipa spp.	0,75	Holoptelea grandis	0,59 <sup>''</sup>

+ Las densidades de madera aquí especificadas provienen de más de una fuente bibliográfica.  
\* El valor de la densidad de madera se ha obtenido de la ecuación de regresión de Reyes *et al.* (1992).  
Fuente: Reyes, Gisel; Brown, Sandra; Chapman, Jonathan; Lugo, Ariel E. 1992. Wood densities of tropical tree species. Gen. Tech. Rep. SO-88 Nueva Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 15 págs.

CUADRO 3A.1.9-2 (CONTINUACIÓN)					
DENSIDADES DE MADERA BÁSICAS (D) DE TRONCOS (toneladas de materia seca/m <sup>3</sup> de volumen recién talado) PARA ESPECIES ARBÓREAS TROPICALES (Sirve para el valor de D en las Ecuaciones 3.2.3, 3.2.5, 3.2.7, 3.2.8)					
ASIA TROPICAL	D	AMÉRICA TROPICAL	D	ÁFRICA TROPICAL	D
<i>Dipterocarpus kunstlerii</i>	0,57	<i>Goupia glabra</i>	0,67, 0,72+	<i>HoMalium</i> spp.	0,7
<i>Dipterocarpus</i> spp.	0,61	<i>Guarea chalde</i>	0,52	<i>Hylodendron Gabonense</i> .	0,78''
<i>Dipterocarpus warburgii</i>	0,52	<i>Guarea</i> spp.	0,52	<i>Hymenostegia pellegrini</i>	0,78''
<i>Dracontomelon</i> spp.	0,5	<i>Guatteria</i> spp.	0,36	<i>Irvingia grandifolia</i>	0,78''
<i>Secoobalanops</i> spp.	0,61	<i>Guazuma ulmifolia</i>	0,52, 0,50+	<i>Julbernardia globiflora</i>	0,78
<i>Dtypetes bordenii</i>	0,75	<i>Guettarda scabra</i>	0,65	<i>Khaya ivorensis</i>	0,44
<i>Durio</i> spp.	0,53	<i>Guillielma gasipae</i>	0,95, 1,25+	<i>Klainedoxa Gabonensis</i>	0,87
<i>Dyera costulata</i>	0,36	<i>Gwtavia</i> sp.	0,56	<i>Lanea welwitschii</i>	0,45'''
<i>Dysoxylum quercifolium</i>	0,49	<i>Helicostylis tomentosa</i>	0,68, 0,72+	<i>Lecomtedoxa klainenna</i>	0,78''
<i>Elaeocarpus serratus</i>	0,40*	<i>Hernandia Sonora</i>	0,29	<i>Letestua durissima</i>	0,87''
<i>Embllica officinalis</i>	0,8	<i>Hevea brasiliense</i>	0,49	<i>Lophira alata</i>	0,87''
<i>Endiandra laxiflora</i>	0,54	<i>Himatanthus articulata</i>	0,40, 0,54+	<i>Lovoa trichilioides</i>	0,45''
<i>Endospermum</i> spp.	0,38	<i>Hirtella davisii</i>	0,74	<i>Macaranga kilimandscharica</i>	0,40*
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0,35	<i>Humiria balsamifera</i>	0,66, 0,67+	<i>Maesopsis eminii</i>	0,41
<i>Epicharis cumingiana</i>	0,73	<i>Humiriastrum procera</i>	0,7	<i>Malacantha</i> sp. aff. <i>alnifolia</i>	0,45''
<i>Erythrina subumbrans</i>	0,24	<i>Hura crepitans</i>	0,36, 0,37, 0,38+	<i>Mammea africana</i>	0,62
<i>Erythrophloeum densiflorum</i>	0,65	<i>Hyeronima alchorneoides</i>	0,60, 0,64+	<i>Manilkara lacera</i>	0,78''
<i>Eucalpto citriodora</i>	0,64	<i>Hyeronima laxiflora</i>	0,59	<i>Markhamia platycalyx</i>	0,45*
<i>Eucalpto deglupta</i>	0,34	<i>Hymenaea davisii</i>	0,67	<i>Memecylon capitellatum</i>	0,77''
<i>Eugenia</i> spp.	0,65	<i>Hymenolobium</i> sp.	0,64	<i>Microberlinia brazzavillensis</i>	0,7
<i>Fagraea</i> spp.	0,73	<i>Inga</i> sp.	0,49, 0,52, 0,58, 0,64+	<i>Microcos coriaceus</i>	0,42''
<i>Ficus benamina</i>	0,65	<i>Iryanthera</i> spp.	0,46	<i>Milletia</i> spp.	0,72
<i>Ficus</i> spp.	0,39	<i>Jacaranda</i> sp.	0,55	<i>Mitragyna stipulosa</i>	0,47
<i>Ganua obovatifolia</i>	0,59	<i>Joannesia heveoides</i>	0,39	<i>Monopetalanthus pellegrinii</i>	0,47''
<i>Garcinia myrtifolia</i>	0,65	<i>Lachmellea speciosa</i>	0,73	<i>Musanga cecropioides</i>	0,23
<i>Garcinia</i> spp.	0,75	<i>Laetia procera</i>	0,68	<i>Nauclea diderrichii</i>	0,63
<i>Gardenia turgida</i>	0,64	<i>Lecythis</i> spp.	0,77	<i>Neopoutonia macrocalyx</i>	0,32''
<i>Garuga pinnata</i>	0,51	<i>Licania</i> spp.	0,78	<i>Nesogordonia papaverifera</i>	0,65
<i>Gluta</i> spp.	0,63	<i>Licaria</i> spp.	0,82	<i>Ochtocosmus africanus</i>	0,78'
<i>Gmelina arborea</i>	0,41, 0,45+	<i>Lindackeria</i> sp.	0,41	<i>Odyendea</i> spp.	0,32
<i>Gmelina vitiensis</i>	0,54	<i>Linociera domingensis</i>	0,81	<i>Oldfieldia africana</i>	0,78*
<i>Gonocaryum calleryanum</i>	0,64	<i>Lonchocarpus</i> spp.	0,69	<i>Ongoeka gore</i>	0,72
<i>Gonystylus punctatus</i>	0,57	<i>Loxopterygium sagotii</i>	0,56	<i>Oxystigma oxyphyllum</i>	0,53
<i>Grewia tiliacefolia</i>	0,68	<i>Lucuma</i> spp.	0,79	<i>Pachyelasma tessmannii</i>	0,70''
<i>Hardwickia binata</i>	0,73	<i>Luehea</i> spp.	0,5	<i>Pachypodanthium staudtii</i>	0,58''
<i>Harpullia arborea</i>	0,62	<i>Lueheopsis duckeana</i>	0,64	<i>Paraberlinia bifoliolata</i>	0,56''
<i>Heritiera</i> spp.	0,56	<i>Mabea piriri</i>	0,59	<i>Parinari glabra</i>	0,87''
<i>Hevea brasiliensis</i>	0,53	<i>Machaerium</i> spp.	0,7	<i>Parkia bicolor</i>	0,36''
<i>Hibiscus tiliaceus</i>	0,57	<i>Macoubea guianensis</i>	0,40*	<i>Pausinystalia brachythyrsa</i>	0,56''
<i>Homalanthus populneus</i>	0,38	<i>Magnolia</i> spp.	0,52	<i>Pausinystalia</i> cf. <i>talbotii</i>	0,56''
<i>HoMalium</i> spp.	0,76	<i>Maguirea sclerophylla</i>	0,57	<i>Pentaclethra macrophylla</i>	0,78''
<i>Hopea acuminata</i>	0,62	<i>Mammea Americana</i>	0,62	<i>Pentadesma butyracea</i>	0,78''
<i>Hopea</i> spp.	0,64	<i>Mangifera indica</i>	0,55	<i>Phyllanthus discoideus</i>	0,76''
<i>Intsia palembanica</i>	0,68	<i>Manilkara</i> sp.	0,89	<i>Pierreodendron africanum</i>	0,70;''
<i>Kayea garciae</i>	0,53	<i>Marila</i> sp.	0,63	<i>Piptadeniastrum africanum</i>	0,56

+ Las densidades de madera aquí especificadas provienen de más de una fuente bibliográfica.

\* El valor de la densidad de madera se ha obtenido de la ecuación de regresión de Reyes *et al.* (1992).

Fuente: Reyes, Gisell; Brown, Sandra; Chapman, Jonathan; Lugo, Ariel E. 1992. Wood densities of tropical tree species. Gen. Tech. Rep. SO-88 Nueva Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 15 págs.

CUADRO 3A.1.9-2 (CONTINUACIÓN)					
DENSIDADES DE MADERA BÁSICAS (D) DE TRONCOS (toneladas de materia seca/m <sup>3</sup> de volumen recién talado) PARA ESPECIES ARBÓREAS (Sirve para el valor de D en las Ecuaciones 3.2.3, 3.2.5, 3.2.7, 3.2.8)					
ASIA TROPICAL	D	AMÉRICA TROPICAL	D	ÁFRICA TROPICAL	D
Kingiodendron alternifolium	0,48	Marmaroxylon racemosum	0,78*	Plagiostyles africana	0,70''
Kleinhovia hospita	0,36	Matayba domingensis	0,7	Poga oleosa	0,36
Knema spp.	0,53	Matisia hirta	0,61	Polyalthia suaveolens	0,66''
Koompassia excelsa	0,63	Maytenus spp.	0,71	Premna angolensis	0,63''
Koordersiodendron pinnatum	0,65, 0,69+	Mezilaurus lindaviana	0,68	Pteleopsis hyloidendron	0,63*
Kydia calycina	0,72	Michropholis spp.	0,61	Pterocarpus soyauxii	0,61
Lagerstroemia spp.	0,55	Minquartia guianensis	0,76, 0,79+	Pterygota spp.	0,52
Lannea grandis	0,5	Mora sp.	0,71	Pycnanthus angolensis	0,4
Leucaena leucocephala	0,64	Mouriria sideroxylon	0,88	Randia cladantha	0,78*
Litchi chinensis ssp. philippinensis	0,88	Myrciaria floribunda	0,73	Rauwolfia macrophylla	0,47*
Lithocarpus soleriana	0,63	Myristica spp.	0,46	Ricinodendron heudelottii	0,2
Litsea spp.	0,4	Myroxylon balsamum	0,74, 0,76, 0,78+	Saccoglottis Gabonensis	0,74''
Lophopetalum spp.	0,46	Nectandra spp.	0,52	Santiria trimera	0,53*
Macaranga denticulata	0,53	O c o t e a spp.	0,51	Sapium ellipticum	0,50*
Madhuca oblongifolia	0,53	Onychopetalum amazonicum	0,64	Schrebera arborea	0,63*
Mtdosotus philippensis	0,64	Ormosia spp.	0,59	Sclorodophloeus zenkeri	0,68*
Mangifera spp.	0,52	Ouratea sp.	0,66	Scottellia coriacea	0,56
Maniltoa minor	0,76	Pachira acuatica	0,43	Scyphocephalium ochocoa	0,48
Mastixia philippinensis	0,47	Paratecoma peroba	0,6	Scytopetalum tieghemii	0,56''
Melanorrhea spp.	0,63	Parinari spp.	0,68	Sindoropsis letestui	0,56*
Melia dubia	0,4	Parkia spp.	0,39	Staudtia stipitata	0,75
Melicope triphylla	0,37	Peltogyne spp.	0,79	Stemonocoleus micranthus	0,56''
Meliosma macrophylla	0,27	Pentaclethra macroloba	0,65, 0,68+	Sterculia rhinopetala	0,64
Melochia umbellata	0,25	Perú glabrata	0,65	Strephonema pseudocola	0,56*
Me&a ferrea	0,83, 0,85+	Perú schomburgkiana	0,59	Strombosiopsis tetrandra	0,63''
Metrosideros collina	0,70, 0,76+	Persea spp.	0,40, 0,47, 0,52+	Swartzia fistuloides	0,82
Michelia spp.	0,43	Petitia domingensis	0,66	Symphonia globulifera	0,58''
Microcos stylocarpa	0,4	Pinus caribaea	0,51	Syzygium cordatum	0,59*
Micromelum compressum	0,64	Pinus oocarpa	0,55	Terminalia superba	0,45
Milliusa velutina	0,63	Pinus patula	0,45	Tessmania africana	0,85''
Mimusops elengi	0,72*	Piptadenia sp.	0,58	Testulea Gabonensis	0,6
Mitragyna parviflora	0,56	Piranhea longepedunculata	0,9	Tetraberlinia tubmaniana	0,60''
Myristica spp.	0,53	Piratinera guianensis	0,96	Tetrapleura tetraptera	0,50''
Neesia spp.	0,53	Pithecellobium guachapele (syn. Pseudosamea)	0,56	Tieghemella heckelii	0,55''
Neonuclea bernardoi	0,62	Platonia insignis	0,70'	Trema sp.	0,40*
Neotrewia cumingii	0,55	Platymiscium spp.	0,71, 0,84+	Trichilia prieureana	0,63''
Ochna foxworthyi	0,86	Podocarpus spp.	0,46	Trichoscypha arborea	0,59''
Ochroma pyramidale	0,3	Pourouma aff. melinonii	0,32	Triplochiton scleroxylon.	0,32
Octomeles sumatrana	0,27, 0,32+	Pouteria spp.	0,64, 0,67+	Uapaca spp.	0,6
Oroxylon indicum	0,32	Prioria copaifera	0,40, 0,41+	Vepris undulata	0,70''
Ougenia dalbergioides	0,7	Protium spp.	0,53, 0,64+	Vitex doniana	0,4
Palaquium spp.	0,55	Pseudolmedia laevigata	0,64	Xylophia staudtii	0,36*
Pangium edule	0,5	Pterocarpus spp.	0,44		
Parashorea malaanonan	0,51	Pterogyne nitens	0,66		
Parashorea stellata	0,59	Qualea albiflora	0,5		
Paratrophis glabra	0,77	Qualea cf. lancifolia	0,58		
Parinari spp.	0,68	Qualea dinizii	0,58		

+ Las densidades de madera aquí especificadas provienen de más de una fuente bibliográfica.  
\* El valor de la densidad de madera se ha obtenido de la ecuación de regresión de Reyes *et al.* (1992).  
Fuente: Reyes, Gisel; Brown, Sandra; Chapman, Jonathan; Lugo, Ariel E. 1992. Wood densities of tropical tree species. Gen. Tech. Rep. SO-88 Nueva Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 15 págs.

CUADRO 3A.1.9-2 (CONTINUACIÓN)					
DENSIDADES DE MADERA BÁSICAS (D) DE TRONCOS (toneladas de materia seca/m <sup>3</sup> de volumen recién talado) PARA ESPECIES ARBÓREAS TROPICALES (Sirve para el valor de D en las Ecuaciones 3.2.3, 3.2.5, 3.2.7, 3.2.8)					
ASIA TROPICAL	D	AMÉRICA TROPICAL	D	ÁFRICA TROPICAL	D
<i>Parkia roxburghii</i>	0,34	<i>Qualea</i> spp.	0,55		
<i>Payena</i> spp.	0,55	<i>Quararibaea guianensis</i>	0,54		
<i>Peltophorum pterocarpum</i>	0,62	<i>Quercus alata</i>	0,71		
<i>Pentace</i> spp.	0,56	<i>Quercus costaricensis</i>	0,61		
<i>Phaeanthus ebracteolatus</i>	0,56	<i>Quercus eugeniaefolia</i>	0,67		
<i>Phyllocladus hypophyllus</i>	0,53	<i>Quercus</i> spp.	0,7		
<i>Pinus caribaea</i>	0,48	<i>Raputia</i> sp.	0,55		
<i>Pinus insularis</i>	0,47, 0,48+	<i>Rheedia</i> spp.	0,72		
<i>Pinus merkusii</i>	0,54	<i>Rollinia</i> spp.	0,36		
<i>Pisonia umbellifera</i>	0,21	<i>Saccoglottis cydonioides</i>	0,72		
<i>Pittosporum pentandrum</i>	0,51	<i>Sapium</i> spp.	0,47, 0,72+		
<i>Planchonia</i> spp.	0,59	<i>Schinopsis</i> spp.	1		
<i>Podocarpus</i> spp.	0,43	<i>Sclerobium</i> spp.	0,47		
<i>Polyalthia flava</i>	0,51	<i>Sickingia</i> spp.	0,52		
<i>Polyscias nodosa</i>	0,38	<i>Simaba multiflora</i>	0,51		
<i>Pometia</i> spp.	0,54	<i>Simarouba amara</i>	0,32, 0,34, 0,38+		
<i>Pouteria villamilii</i>	0,47	<i>Sloanea guianensis</i>	0,79		
<i>Premna tomentosa</i>	0,96	<i>Spondias mombin</i>	0,30, 0,40, 0,41+		
<i>Pterocarpus marsupium</i>	0,67	<i>Sterculia</i> spp.	0,55		
<i>Pterocymbium tinctorium</i>	0,28	<i>Stylogyne</i> spp.	0,69		
<i>Pygeum vulgare</i>	0,57	<i>Swartzia</i> spp.	0,95		
<i>Quercus</i> spp.	0,7	<i>Swietenia macrophylla</i>	0,42, 0,45, 0,46, 0,54+		
<i>Radermachera pinnata</i>	0,51	<i>Symphonia globulifera</i>	0,68		
<i>SalMalia malabarica</i>	0,32, 0,33+	<i>Tabebuia</i> spp. (lapacho group)	0,91		
<i>Samanea saman</i>	0,45, 0,46+	<i>Tabebuia</i> spp. (roble)	0,52		
<i>Sandoricum vidalii</i>	0,43	<i>Tabebuia</i> spp. (white cedar)	0,57		
<i>Sapindus saponaria</i>	0,58	<i>Tabebuia stenocalyx</i>	0,55, 0,57+		
<i>Sapium luzontcum</i>	0,4	<i>Tachigalia myrmecophylla</i>	0,56		
<i>Schleichera oleosa</i>	0,96	<i>Talisia</i> sp.	0,84		
<i>Schrebera swietenoides</i>	0,82	<i>Tapirira guianensis</i>	0,47*		
<i>Semicarpus anacardium</i>	0,64	<i>Terminalia</i> sp.	0,50, 0,51, 0,58+		
<i>Serialbizia acle</i>	0,57	<i>Tetragastris altissima</i>	0,61		
<i>Serianthes melanesica</i>	0,48	<i>Toluifera balsamum</i>	0,74		
<i>Sesbania grandiflora</i>	0,4	<i>Torrubia</i> sp.	0,52		
<i>Shorea assamica forma philippinensis</i>	0,41	<i>Toulicia pulvinata</i>	0,63		
<i>Shorea astylosa</i>	0,73	<i>Tovomita guianensis</i>	0,6		
<i>Shorea ciliata</i>	0,75	<i>Trattinickia</i> sp.	0,38		
<i>Shorea contorta</i>	0,44	<i>Trichilia propingua</i>	0,58		
<i>Shorea gisok</i>	0,76	<i>Trichosperma mexicanum</i>	0,41		
<i>Shorea guiso</i>	0,68	<i>Triplaris</i> spp.	0,56		
<i>Shorea hopeifolia</i>	0,44	<i>Trophis</i> sp.	0,54		
<i>Shorea Malibato</i>	0,78	<i>Vatairea</i> spp.	0,6		
<i>Shorea negrosensis</i>	0,44	<i>Virola</i> spp.	0,40, 0,44, 0,48+		
<i>Shorea palosapis</i>	0,39	<i>Vismia</i> spp.	0,41		
<i>Shorea plagata</i>	0,7	<i>Vitex</i> spp.	0,52, 0,56, 0,57+		

+ Las densidades de madera aquí especificadas provienen de más de una fuente bibliográfica.  
\* El valor de la densidad de madera se ha obtenido de la ecuación de regresión de Reyes *et al.* (1992).  
Fuente: Reyes, Gisel; Brown, Sandra; Chapman, Jonathan; Lugo, Ariel E. 1992. Wood densities of tropical tree species. Gen. Tech. Rep. SO-88 Nueva Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 15 págs.

CUADRO 3A.1.9-2 (CONTINUACIÓN)					
DENSIDADES DE MADERA BÁSICAS (D) DE TRONCOS (toneladas de materia seca/m <sup>3</sup> de volumen recién talado) PARA ESPECIES ARBÓREAS TROPICALES					
(Sirve para el valor de D en las Ecuaciones 3.2.3, 3.2.5, 3.2.7, 3.2.8))					
ASIA TROPICAL	D	AMÉRICA TROPICAL	D	ÁFRICA TROPICAL	D
Shorea polita	0,47	Vitex stahelii	0,6		
Shorea polysperma	0,47	Vochysia spp.	0,40, 0,47, 0,79+		
Shorea robusta	0,72	Vouacapoua Americana	0,79		
Shorea spp. balau group	0,7	Warszewicia coccinea	0,56		
Shorea spp. dark red meranti	0,55	Xanthoxylum martinicensis	0,46		
Shorea spp. light red meranti	0,4	Xanthoxylum spp.	0,44		
Shorea spp. white meranti	0,48	Xylopiia frutescens	0,64 <sup>7</sup>		
Shorea spp. yellow meranti	0,46				
Shorea virescens	0,42				
Sloanea javanica	0,53				
Soyimida febrifuga	0,97				
Spathodea campanulata	0,25				
Stemonurus luzoniensis	0,37				
Sterculia vitiensis	0,31				
Stereospermum suaveolens	0,62				
Strombosia philippinensis	0,71				
Strychnos potatorum	0,88				
Swietenia macrophylla	0,49, 0,53+				
Swintonia foxworthyi	0,62				
Swintonia spp.	0,61				
Sycopsis dunni	0,63				
Syzygium spp.	0,69, 0,76+				
Tamarindus indica	0,75				
Tectona grandis	0,50, 0,55+				
Teijsmanniodendron ahernianum	0,9				
Terminalia citrina	0,71				
Terminalia copelandii	0,46				
Terminalia foetidissima	0,55				
Terminalia microcarpa	0,53				
Terminalia nitens	0,58				
Terminalia pterocarpa	0,48				
Terminalia tomentosa	0,73, 0,76, 0,77+				
Ternstroemia megacarpa	0,53				
Tetrameles nudiflora	0,3				
Tetramerista glabra	0,61				
Thespesia populnea	0,52				
Toona calantas	0,29				
Trema orientalis	0,31				

+ Las densidades de madera aquí especificadas provienen de más de una fuente bibliográfica.  
\* El valor de la densidad de madera se ha obtenido de la ecuación de regresión de Reyes *et al.* (1992).  
Fuente: Reyes, Gisel; Brown, Sandra; Chapman, Jonathan; Lugo, Ariel E. 1992. Wood densities of tropical tree species. Gen. Tech. Rep. SO-88 Nueva Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 15 págs.

Fuente: IPCC. 2005. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)*. Capítulo 3: Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. Cuadro 3A.1.9-2. [Consultado el 6 de julio de 2023] [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf\\_languages.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpglulucf/gpglulucf_languages.html)

**Cuadro A1.17.** Valores por defecto de los factores de expansión de la biomasa (FEB)

<b>CUADRO 3A.1.10</b> <b>VALORES POR DEFECTO DE LOS FACTORES DE EXPANSIÓN DE LA BIOMASA (FEB)</b> (FEB <sub>2</sub> se utilizará en relación con los datos sobre la biomasa en pie de la Ecuación 3.2.3; y FEB <sub>1</sub> se utilizará en relación con los datos incrementales de la Ecuación 3.2.5)				
Zona climática	Tipo de bosque	Valor mínimo del diámetro a la altura del pecho (cm)	FEB <sub>2</sub> (con corteza) para utilizar en relación con los datos de la biomasa en pie (Ecuación 3.2.3)	FEB <sub>1</sub> (con corteza) para utilizar en relación con los datos incrementales (Ecuación 3.2.5)
Región boreal	Coníferas	0-8,0	1,35 (1,15-3,8)	1,15 (1-1,3)
	Hoja ancha	0-8,0	1,3 (1,15-4,2)	1,1 (1-1,3)
Templada	Coníferas: Píceas-abeto	0-12,5	1,3 (1,15-4,2)	1,15 (1-1,3)
	Pinos	0-12,5	1,3 (1,15-3,4)	1,05 (1-1,2)
	Hoja ancha	0-12,5	1,4 (1,15-3,2)	1,2 (1,1-1,3)
Tropical	Pinos	10,0	1,3 (1,2-4,0)	1,2 (1,1-1,3)
	Hoja ancha	10,0	3,4 (2,0-9,0)	1,5 (1,3-1,7)

Nota: Los valores de FEB<sub>2</sub> aquí indicados representan promedios de madera en pie o de edad; el límite superior de la escala representa bosques jóvenes o bosques con poca madera en pie; los límites inferiores de la escala aproximan los valores de los bosques adultos o con mucha madera en pie. Estos valores son aplicables a la biomasa de madera en pie (peso seco), incluida la corteza, para un diámetro mínimo a la altura del pecho; el diámetro superior mínimo y el tratamiento de las ramas no están especificados. El resultado representa biomasa arbórea sobre el suelo.

Fuentes: Isaev *et al.*, 1993; Brown, 1997; Brown y Schroeder, 1999; Schoene, 1999; ECE/FAO TBFRA, 2000; Lowe *et al.*, 2000; consultar también en los documentos de trabajo 68 y 69 de la ERF los promedios para los países en desarrollo ( <http://www.fao.org/forestry/index.jsp>)

**Fuente:** IPCC. 2005. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)*. Capítulo 3: Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. Cuadro 3A.1.10. [Consultado el 6 de julio de 2023]. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_languages.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_languages.html)

**Cuadro A1.18.** Reservas de biomasa sobre el suelo en bosques regenerados naturalmente, por categorías generales (toneladas de materia seca/ha)

<b>CUADRO 3A.1.2</b>						
<b>RESERVAS DE BIOMASA SOBRE EL SUELO EN BOSQUES REGENERADOS NATURALMENTE, POR CATEGORÍAS GENERALES</b>						
<b>(toneladas de materia seca/ha)</b>						
(Sirve para el valor de Bw en la Ecuación 3.2.9, de T <sub>conversión</sub> en la Ecuación 3.3.8 de la sección 'Tierras agrícolas', y de T <sub>conversión</sub> en la Ecuación 3.4.13 de la sección 'Praderas', etc. No es aplicable a C <sub>2</sub> o a C <sub>1</sub> en la Ecuación 3.2.3 de la sección 'Bosques')						
<b>Bosques tropicales<sup>1</sup></b>						
	<b>Muy húmedo</b>	<b>Húmedo con estación seca corta</b>	<b>Húmedo con estación seca larga</b>	<b>Seco</b>	<b>Montano húmedo</b>	<b>Montano seco</b>
<b>África</b>	310 (131 - 513)	260 (159 - 433)	123 (120 - 130)	72 (16 - 195)	191	40
<b>Asia y Oceanía:</b>						
Continental	275 (123 - 683)	182 (10 - 562)	127 (100 - 155)	60	222 (81 - 310)	50
Insular	348 (280 - 520)	290	160	70	362 (330 - 505)	50
<b>América</b>	347 (118 - 860)	217 (212 - 278)	212 (202- 406)	78 (45 - 90)	234 (48 - 348)	60
<b>Bosques de región templada</b>						
<b>Clase de edad</b>	<b>Coníferas</b>		<b>Hoja ancha</b>		<b>Mixtos Hoja ancha-Coníferas</b>	
<b>Eurasia y Oceanía</b>						
≤20 años	100 (17 - 183)		17		40	
>20 años	134 (20 - 600)		122 (18 -320)		128 (20-330)	
<b>América</b>						
≤20 años	52 (17-106)		58 (7-126)		49 (19-89)	
>20 años	126 (41-275)		132 (53-205)		140 (68-218)	
<b>Bosques de región boreal</b>						
<b>Clase de edad</b>	<b>Mixtos Hoja ancha-Coníferas</b>		<b>Coníferas</b>		<b>Bosque-Tundra</b>	
<b>Eurasia</b>						
≤20 años	12		10		4	
>20 años	50		60 (12,3-131)		20 (21- 81)	
<b>América</b>						
≤20 años	15		7		3	
>20 años	40		46		15	
Nota: Los datos se han indicado como valor medio, y como escalas de valores posibles (entre paréntesis).						
<sup>1</sup> La definición de los tipos de bosque y los ejemplos por regiones se ilustran en el Recuadro 2 y en los Cuadros 5-1, p 5.7-5.8 de las <i>Directrices del IPCC</i> (1996).						

**Fuente:** IPCC. 2005. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)*. Capítulo 3: Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. Cuadro 3A.1.2. [Consultado el 06 de julio de 2023]. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_languages.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_languages.html)

**Cuadro A1.19.** Reservas de biomasa sobre el suelo en bosques de plantación, por categorías generales

<b>CUADRO 3A.1.3</b> <b>RESERVAS DE BIOMASA SOBRE EL SUELO EN BOSQUES DE PLANTACIÓN, POR CATEGORÍAS GENERALES</b> <b>(toneladas de materia seca/ha)</b> (Sirve para el valor de $B_w$ en la Ecuación 3.2.9, de $T_{conversión}$ en la Ecuación 3.3.8 de la sección 'Tierras agrícolas', y de $T_{conversión}$ en la Ecuación 3.4.13 de la sección 'Praderas', etc. No es aplicable a $C_{t_2}$ o a $C_{t_1}$ en la Ecuación 3.2.3 de la sección 'Bosques')							
Bosques tropicales y subtropicales							
	Clase de edad	Muy húmedo	Húmedo con estación seca corta	Húmedo con estación seca larga	Seco	Montano húmedo	Montano Seco
		P > 2000	2000>P>1000		P<1000	P>1000	P<1000
<b>África</b>							
Hoja ancha spp	≤20 años	100	80	30	20	100	40
	>20 años	300	150	70	20	150	60
Pinus sp	≤20 años	60	40	20	15	40	10
	>20 años	200	120	60	20	100	30
<b>Asia:</b>							
Hoja ancha	Todas	220	180	90	40	150	40
Otras especies	Todas	130	100	60	30	80	25
<b>América</b>							
Pinus	Todas	300	270	110	60	170	60
Eucalipto	Todas	200	140	110	60	120	30
Tectona	Todas	170	120	90	50	130	30
Otras, hoja ancha	Todas	150	100	60	30	80	30
Bosques de región templada							
	Clase de edad	Pino		Otras Coníferas	Hoja caduca		
<b>Eurasia</b>							
Marítimo	≤20 años	40		40	30		
	>20 años	150		250	200		
Continental	≤20 años	25		30	15		
	>20 años	150		200	200		
Mediterráneo y estepario	≤20 años	17		20	10		
	>20 años	100		120	80		
<b>América del Sur</b>	Todas	100		120	90		
<b>América del Norte</b>	Todas	175 (50–275)		300	–		
Bosques de región boreal							
	Clase de edad	Pino		Otras Coníferas	Hoja caduca		
<b>Eurasia</b>							
	≤20 años	5		5	5		
	>20 años	40		40	25		
<b>América del Norte</b>	Todas	50		40	25		

Fuente: IPCC, 2005. Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS). Capítulo 3: Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. Cuadro 3A.1.3. [Consultado el 06 de julio de 2023]. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_languages.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_languages.html)

**Cuadro A1.20.** Volumen de madera en pie y contenido de la biomasa sobre el suelo (materia seca) en bosques

<b>CUADRO 3A.1.4</b> <b>VOLUMEN 1) DE MADERA EN PIE Y CONTENIDO 2) DE LA BIOMASA SOBRE EL SUELO (MATERIA SECA) EN LOS BOSQUES EN 2000, EN PROMEDIO. (FUENTE: ERF 2000)</b>				<b>CUADRO 3A.1.4 (CONTINUACIÓN)</b> <b>VOLUMEN 1) DE MADERA EN PIE Y CONTENIDO 2) DE LA BIOMASA SOBRE EL SUELO (MATERIA SECA) EN LOS BOSQUES EN 2000, EN PROMEDIO. (FUENTE: ERF 2000)</b>			
1) Sirve para el valor de V en la Ecuación 3.2.3. 2) Sirve para el valor de $B_w$ en la Ecuación 3.2.9, de $T_{conversión}$ en la Ecuación 3.3.8 de la sección 'Tierras agrícolas', y de $T_{conversión}$ en la Ecuación 3.4.13 de la sección 'Praderas', etc. No es aplicable a $C_{t_2}$ o a $C_{t_1}$ en la Ecuación 3.2.3 de la sección 'Bosques'.				1) Sirve para el valor de V en la Ecuación 3.2.3. 2) Sirve para el valor de $B_w$ en la Ecuación 3.2.9, de $T_{conversión}$ en la Ecuación 3.3.8 de la sección 'Tierras agrícolas', y de $T_{conversión}$ en la Ecuación 3.4.13 de la sección 'Praderas', etc. No es aplicable a $C_{t_2}$ o a $C_{t_1}$ en la Ecuación 3.2.3 de la sección 'Bosques'.			
<b>a. ÁFRICA</b>				<b>a. ÁFRICA (Continuación)</b>			
<b>País</b>	<b>Volumen (sobre el suelo) m<sup>3</sup> / ha</b>	<b>Biomasa (sobre el suelo) t / ha</b>	<b>Información Fuente</b>	<b>País</b>	<b>Volumen (sobre el suelo) m<sup>3</sup> / ha</b>	<b>Biomasa (sobre el suelo) t / ha</b>	<b>Información Fuente</b>
Argelia	44	75	IN	Madagascar	114	194	IN
Angola	39	54	IN	Malawi	103	143	IN
Benin	140	195	IP	Malí	22	31	IP
Botswana	45	63	IN	Mauritania	4	6	ES
Burkina Faso	10	16	IN	Mauricio	88	95	ES
Burundi	110	187	ES	Marruecos	27	41	IN
Camerún	135	131	IP	Mozambique	25	55	IN
Cabo Verde	83	127	ES	Namibia	7	12	IP
República Centroafricana	85	113	IP/EX	Níger	3	4	IP
Chad	11	16	ES	Nigeria	82	184	ES
Comoras	60	65	ES	Reunión	115	160	ES
Congo	132	213	EX	Rwanda	110	187	ES
Côte d'Ivoire	133	130	IP	Santa Elena			
Rep. Dem. del Congo	133	225	IN	Santo Tomé y Príncipe	108	116	IN
Djibouti	21	46	ES	Senegal	31	30	IN
Egipto	108	106	ES	Seychelles	29	49	ES
Guinea Ecuatorial	93	158	IP	Sierra Leona	143	139	ES
Eritrea	23	32	IN	Somalia	18	26	ES
Etiopía	56	79	IP	Sudáfrica	49	81	EX
Gabón	128	137	ES	Sudán	9	12	ES
Gambia	13	22	IN	Swazilandia	39	115	IN
Ghana	49	88	ES	Togo	92	155	IP
Guinea	117	114	IP	Túnez	18	27	IN
Guinea-Bissau	19	20	IN	Uganda	133	163	IN
Kenya	35	48	ES	República Unida de Tanzania	43	60	IN
Lesotho	34	34	ES	Sahara Occidental	18	59	IN
Liberia	201	196	ES	Zambia	43	104	ES
Jamahiriyá Árabe Libia	14	20	ES	Zimbabwe	40	56	IN
Fuente de información: IN = Inventario nacional; IP = Inventario parcial; ES = Estimación; EX = Datos externos (de otras regiones)				Fuente de información: IN = Inventario nacional; IP = Inventario parcial; ES = Estimación; EX = Datos externos (de otras regiones)			

**Fuente:** IPCC. 2005. *Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura (UTCUTS)*. Capítulo 3: Orientación sobre las buenas prácticas en el sector de CUTS. Cuadro 3A.1.4. [Consultado el 06 de julio de 2023]. [https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf\\_languages.html](https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gpplulucf/gpplulucf_languages.html)

## Anexo 2. Potenciales de calentamiento global

Cuadro A2.1. Potenciales de calentamiento global

Gas	IPCC Segundo Informe	IPCC Cuarto Informe	IPCC quinto Informe	IPCC sexto Informe
	Potencial de calentamiento global (horizonte: 100 años)			
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	1	1	1	1
Metano (CH <sub>4</sub> )	21	25	28	27,9
Óxido nitroso (N <sub>2</sub> O)	310	298	265	273
Halón 1211	-	1 890	1 750	1 930
Halón 1301	5 400	7 140	6 290	7 200
R-12 (CFC)	8 100	10 900	10 200	12 500
R-125 (HFC)	2 800	3 500	3 170	3 740
R-152a (HFC)	140	124	138	164
R-123 (HCFC)	90	77	79	90,4
R-502 (HCFC-CFC)	-	4 657	4 786	5 872
R-507A (HFC)	3 300	3 985	3 985	4 775
R-404A (HCFC)	3 260	3 922	3 943	4 728
R-407A (HFC)	1 770	2 107	1 923	2 262
R-22 (HCFC)	1 500	1 810	1 760	1 960
R-407C (HFC)	1 526	1 774	1 624	1 908
R-134A (HFC)	1 300	1 430	1 300	1 530
R-32 (HFC)	650	675	677	771
R-290 (propano)	-	3	-	0,02
R-600a (n-butano)	-	3	-	0,006
R-1270	-	2	-	-
R-410A (HFC)	1 725	2 088	1 924	2 256

**Fuente:** Adaptado de IPCC. 1995. Segundo Informe de Evaluación del IPCC Síntesis de la Información Científico-técnica Relevante para Interpretar el Artículo 2 de la CMNUCC. <https://www.ipcc.ch/report/ar2/syr/>; IPCC. 2007. Informe de Síntesis del Cuarto Informe de Evaluación. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>; IPCC. 2014. Informe de Síntesis del Quinto Informe de Evaluación. <https://www.ipcc.ch/report/ar5/syr/>; and IPCC. 2023. Informe de Síntesis del Sexto Informe de Evaluación. <https://www.ipcc.ch/report/ar6/syr/>

# Anexo 3. Fichas resumen de impactos en huella de agua

**Cuadro A3.1.** Ficha resumen de la huella de agua por escasez

Huella de agua por escasez (HA <sub>escasez</sub> )	
Tipo de impacto	Consuntivo o por consumo
Definición	<p>El agua es un recurso finito y su disponibilidad para los diferentes usuarios variará según la oferta y demanda en la región. Además, su suministro se ve impactado en la medida en que se afecte su calidad o cantidad*.</p> <p>Para estimar el impacto de escasez se asume que entre menos agua disponible quede por unidad de área en una cuenca, mayor será la potencial privación del recurso a otros usuarios**.</p>
Metodología	AWARE “Available WAter REmaining”
Dato de inventario requerido (VC t)	Volumen de agua en metros cúbicos (m <sup>3</sup> ) que no regresa a la misma cuenca de la que fue extraída por eventos como la evapotranspiración del cultivo, la evaporación, los vertidos en una cuenca diferentes y el agua incorporada a la fruta.
Factor de Caracterización (FC regional)	<p>Factor expresado en metros cúbicos equivalentes de agua por metros cúbicos de agua extraída de la cuenca (m<sup>3</sup>e/m<sup>3</sup>).</p> <p>Es un factor que depende de la ubicación geográfica y época del año.</p> <p>Su valor puede andar en un rango entre 0,1 a 100, y es la cantidad de veces que el agua en la región no está disponible respecto al promedio mundial.</p> <p>Se descarga de la <a href="#">página oficial de la organización Water Use in Life Cycle Assessment (WULCA)</a>, y se instala en la aplicación de <a href="#">Google Earth</a> para su uso.</p>
Resultado (HA escasez)	The water footprint due to scarcity will be the cubic meters of water equivalent (m <sup>3</sup> e) that, due to the activity in question, ceased to be available in the basin for other potential users.
Ecuación	$HA_{escasez} = VCt \times CF_{regional}$ <p>HA escasez : Valor del impacto en escasez (m<sup>3</sup> e)</p> <p>VC t : Volumen total de agua extraída de la cuenca (m<sup>3</sup>)</p> <p>FC regional : Factor de Caracterización dado por AWARE (m<sup>3</sup> e/m<sup>3</sup>)</p>

**Nota:** \*Naciones Unidas. 2023. *Water Scarcity*. UN Water. [www.unwater.org/water-facts/water-scarcity](http://www.unwater.org/water-facts/water-scarcity); \*\* Water Use in Life Cycle Assessment. 2023. *What is AWARE?* En AWARE. <https://wulca-waterlca.org/aware/what-is-aware/>

**Cuadro A3.2** Ficha resumen de la huella de agua por eutrofización en agua dulce

Huella de agua por eutrofización en agua dulce ( $HA_{\text{eutrof-d}}$ )	
Tipo de impacto	Degradativo
Definición	<p>La eutrofización es un fenómeno que se da en los cuerpos de agua dulce, por el aumento extraordinario de nutrientes debido a actividades humanas. Estas provocan un desequilibrio en los ecosistemas acuáticos por el crecimiento desmedido de algas que agotan el oxígeno para otras especies.</p> <p>En agua dulce este fenómeno se da principalmente por cargas altas de fósforo que llegan a los cuerpos de agua.</p>
Metodología	ReCiPe
Dato de inventario requerido ( $m_{p_t}$ )	Cantidad de fósforo que se aplicó en el suelo o fue vertido en el agua dulce en kilogramos de fósforo total (kg P total).
Factor de caracterización (FC)	<p>Factor expresado en kilogramos de fósforo equivalente por kilogramos de fósforo total aplicado en agua o suelo (kg Pe/kg P total).</p> <p>Es un factor que depende de si el fósforo fue aplicado al suelo agrícola o al agua dulce directamente. Además, depende del tipo de molécula en la que se encontraba el fósforo aplicado (fósforo, fosfato, ácido fosfórico, pentóxido de fósforo).</p> <p>Se puede descargar en Excel de la <a href="#">página oficial de la metodología ReCiPe</a>.</p>
Resultado ( $HA_{\text{eutrof-d}}$ )	The water footprint due to eutrophication in fresh water will be the kilograms of phosphorus equivalent (kg Pe) that the activity in question could potentially have caused the eutrophication phenomenon in nearby water bodies.
Ecuación	$HA_{\text{eutrof-d}} = m_{p_t} \times FC$ <p><math>HA_{\text{eutrof-d}}</math> : Valor del impacto en eutrofización de agua dulce (kg Pe)</p> <p><math>m_{p_t}</math> : cantidad de fósforo total emitido en suelo o agua (kg P total)</p> <p>FC : Factor de caracterización dado por ReCiPe (kg Pe/kg P total)</p>

**Cuadro A3.3.** Ficha resumen de la huella de agua por eutrofización en agua salada

Huella de agua por eutrofización en agua salada ( $HA_{\text{eutrof-s}}$ )	
Tipo de impacto	Degradativo
Definición	<p>La eutrofización es un fenómeno que se puede dar en cuerpos de agua, por el aumento extraordinario de nutrientes debido a causas humanas. Esta provoca un desequilibrio en los ecosistemas acuáticos por el crecimiento desmedido de algas que agotan el oxígeno para otras especies.</p> <p>En agua salada este fenómeno se da principalmente por cargas altas de nitrógeno que llegan a los cuerpos de agua.</p>
Metodología	ReCiPe
Dato de inventario requerido ( $m_{\text{Nt}}$ )	Cantidad de nitrógeno que se aplicó en el suelo o fue vertido en el agua dulce o salada en kilogramos de nitrógeno total (kg N total).
Factor de caracterización (FC)	<p>Factor expresado en kilogramos de nitrógeno equivalente por kilogramos de nitrógeno total aplicado en suelo, agua dulce o agua salada (kg Ne/kg N total).</p> <p>Es un factor que depende de si el nitrógeno fue aplicado al suelo agrícola o al agua dulce o salada directamente. Además, depende del tipo de molécula en la que se encontraba el nitrógeno aplicado (nitrógeno, amonio, amoníaco, óxidos de nitrógeno). Se puede descargar en Excel de la <a href="#">página oficial de la metodología ReCiPe</a></p>
Resultado ( $HA_{\text{eutrof-s}}$ )	La huella de agua por eutrofización en agua salada serán los kilogramos de nitrógeno equivalente (kg Ne) que por la actividad en cuestión potencialmente pudieron haber ocasionado el fenómeno de eutrofización en cuerpos de agua salada cercanos.
Ecuación	$HA_{\text{eutrof-s}} = m_{\text{Nt}} \times FC$ <p><math>HA_{\text{eutrof-s}}</math> : Valor del impacto en eutrofización de agua salada(kg Ne)</p> <p><math>m_{\text{Nt}}</math> : cantidad de nitrógeno total emitido en suelo o agua (kg N total)</p> <p>CF : Factor de caracterización dado por ReCiPe (kg Ne/kg N total)</p>

**Fuente:** Elaboración de los autores.

**Cuadro A3.4.** Ficha resumen de la huella de agua por ecotoxicidad

Huella de agua por ecotoxicidad ( $HA_{ecotox}$ )	
Tipo de impacto	Degradativo
Definición	La ecotoxicidad es definida como la capacidad de una sustancia de provocar daños en el ambiente y los organismos, incluidos los microorganismos, plantas, insectos y cualquier otro animal.*
Metodología	USEtox®
Dato de inventario requerido ( $m_{x,t}$ )	Cantidad de una sustancia “x” que se aplicó en aire, suelo o agua. Generalmente se usa de referencia los ingredientes activos de los productos utilizados.  Se puede seleccionar los más relevantes para el inventario, siempre y cuando queden los criterios de justificación adecuadamente descritos en el alcance del estudio.
Factor de caracterización (FCx)	Factor expresado en la fracción de especies potencialmente afectadas (PAF) por metro cúbico por día, por cada kilogramo emitido de la sustancia “x” (PAF.m <sup>3</sup> . día/kg x). A las unidades de PAF.m <sup>3</sup> . día, también se les llama como Unidades Comparativas Tóxicas de ecotoxicidad (CTUe) para resumirlas.  Es un factor que depende de la sustancia que se emita y el medio natural donde se emite, es decir, si fue liberado en: aire interior de un hogar, aire interior de una industria, aire urbano, aire rural, cuerpo de agua dulce, cuerpo de agua salado, suelo natural o suelo agrícola.  Se descarga en Excel de la <a href="#">página oficial de la metodología USEtox®</a>  Nota: No siempre existen factores desarrollados para la totalidad de los productos utilizados, pero esto no significa que no genera un impacto. Por lo tanto, su exclusión debe estar descrita en el alcance del estudio.
Resultado ( $HA_{ecotox}$ )	La huella de agua por ecotoxicidad en agua resultará en las unidades comparativas tóxicas de ecotoxicidad (CTUe) o la fracción de especies potencialmente afectadas por cada metro cúbico de agua de uso degradativo por día. Esta fracción llega a ser relativamente alta, al estar contemplando la afectación a microorganismos, plantas, insectos y cualquier otro animal.  A partir del resultado de impacto potencial, los factores de caracterización de cada ingrediente activo, así como las dosis aplicadas, se puede realizar un análisis de los productos utilizados y alternativos que puedan utilizarse para reducir el impacto correspondiente.
Equation	$HA_{ecotox} = m_{x,t} \times FCx$ <p><math>HA_{ecotox}</math> : Valor del impacto en ecotoxicidad en agua (CTUe)</p> <p><math>m_{x,t}</math> : cantidad de x sustancia total emitido al aire, suelo o agua (kg x)</p> <p>FC x : Factor de caracterización x sustancia dado por USEtox (CTUe/kg x)</p>

**Source:** Elaboración de los autores, con información de \* Kuldeep, R., Nimeet, D., HariPriya, K., Muktika, T., Mukesh, C. S., Santosh, K. B. y Rakesh, K. T. 2022. *Pharmacokinetics and Toxicokinetic Considerations, Volume 2* In: Advances in Pharmaceutical Product Development and Research, Chapter 14 - In silico methods for the prediction of drug toxicity. 357-383 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-98367-9.00012-3>

**Cuadro A3.5.** Ficha resumen de la huella de agua por toxicidad humana

Huella de agua por toxicidad humana ( $HA_{toxh}$ )	
Tipo de impacto	Degradativo
Definition	The potential human toxicity impact estimates potential harm to human health from the use of substances, with possible carcinogenic and non-carcinogenic impacts.
Metodología	USEtox®
Dato de inventario requerido ( $m_{xt}$ )	Cantidad de una sustancia “x” que se aplicó en aire, suelo o agua. Generalmente se usa de referencia los ingredientes activos de los productos utilizados. Se puede seleccionar los más relevantes para el inventario, siempre y cuando queden los criterios de justificación adecuadamente descritos en el alcance del estudio.
Factor de Caracterización (FCx)	<p>Factor expresado en la cantidad de casos de enfermedades por cada kilogramo emitido de la sustancia “x” (casos/kg x). A las unidades de casos, también se les llama como unidades comparativas tóxicas de toxicidad humana (CTUh).</p> <p>Es un factor que depende de la sustancia que se emita y el medio natural donde se emite, es decir, si fue liberado en: aire interior de un hogar, aire interior de una industria, aire urbano, aire rural, cuerpo de agua dulce, cuerpo de agua salado, suelo natural o suelo agrícola.</p> <p>Se puede descargar en Excel de la <a href="#">página oficial de la metodología USEtox®</a></p> <p>Nota: No necesariamente existen factores desarrollados para la totalidad de los productos utilizados, pero esto no significa que no genera un impacto, y su exclusión debe estar descrita en el alcance del estudio.</p>
Resultado ( $HA_{toxh}$ )	<p>La huella de agua por toxicidad humana resultará en las unidades comparativas tóxicas de toxicidad humana (CTUh) o la cantidad de casos de enfermedades cancerígenas y no cancerígenas que potencialmente se pudieron dar por el uso de los productos.</p> <p>A partir del resultado de impacto potencial, los factores de caracterización de cada ingrediente activo, así como las dosis aplicadas, se puede realizar un análisis de los productos utilizados y alternativos que puedan utilizarse para reducir el impacto correspondiente.</p>
Ecuación	$HA_{toxh} = m_{xt} \times FCx$ <p><math>HA_{toxh}</math> : Valor del impacto en toxicidad humana (CTUh)</p> <p><math>m_{xt}</math> : cantidad de x sustancia total emitido al aire, suelo o agua (kg x)</p> <p>FCx : Factor de caracterización x sustancia dado por USEtox (CTUh/kg x)</p>

**Fuente:** Elaboración de los autores.

## Anexo 4. Herramienta CROPWAT

El software CROPWAT 8.0 fue desarrollado por FAO y es de libre acceso. Por lo anterior, se explicará su uso paso a paso a continuación:

**Paso 1.** Diríjase a la página oficial de descarga del software CROPWAT 8.0 en la siguiente dirección: <https://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/> En el menú derecho puede descargar la aplicación y aceptar su instalación.

**Paso 2.** El primer paso será ingresar los datos climáticos seleccionando “Clima/ETo” en el menú a la izquierda. En recuadro que aparece debe completar los datos de temperatura mínima y máxima promedio mensual (°C), humedad promedio mensual (%), viento (m/s) e insolación (horas). Así mismo, deberá completar datos adicionales como el país, altitud (msnm), latitud de la finca y longitud de la finca, y el nombre de la estación meteorológica.

### Notas:

- Si no se cuenta con la información de insolación, el programa hace una estimación según la ubicación aportada con la latitud y longitud.
- Se llenarán únicamente las celdas en blanco, las amarillas son estimadas por los cálculos del programa.

**Figura A4.1.** Visualización del programa CROPWAT en su sección de clima y evapotranspiración de referencia

CROPWAT - Sesión: untitled - [ETo Penman-Monteith Mensual - untitled]

Archivo Edición Cálculos Gráficos Configuración Ventana Lenguaje Ayuda

Nuevo Abrir Guardar Cerrar Imprimir Gráfico Opciones

País Costa Rica Estación Pocosol

Altitud 340 m. Latitud 10,36 °N Longitud 84,32 °E

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento m/s	Insolación horas	Rad MJ/m <sup>2</sup> /día	ETo mm/día
Enero	19,7	32,1	86	1,8	8,0	19,1	3,97
Febrero	19,4	31,3	83	2,0	7,8	20,1	4,21
Marzo	19,7	31,9	81	2,0	8,1	21,7	4,64
Abril	20,3	32,3	83	2,0	8,2	22,2	4,74
Mayo	21,3	32,3	87	1,7	7,8	21,1	4,45
Junio	22,2	31,9	86	1,7	7,0	19,6	4,21
Julio	21,0	32,0	87	1,7	7,9	21,0	4,39
Agosto	21,7	32,5	86	1,7	7,7	21,1	4,50
Septiembre	21,4	32,6	85	1,9	7,8	21,2	4,55
Octubre	22,3	32,9	83	2,1	7,2	19,4	4,34
Noviembre	21,6	33,5	84	2,0	7,8	19,0	4,21
Diciembre	21,6	32,6	85	2,0	7,2	17,5	3,84
Promedio	21,0	32,3	85	1,9	7,7	20,2	4,34

Clima/ETo

Prec.

Cultivo

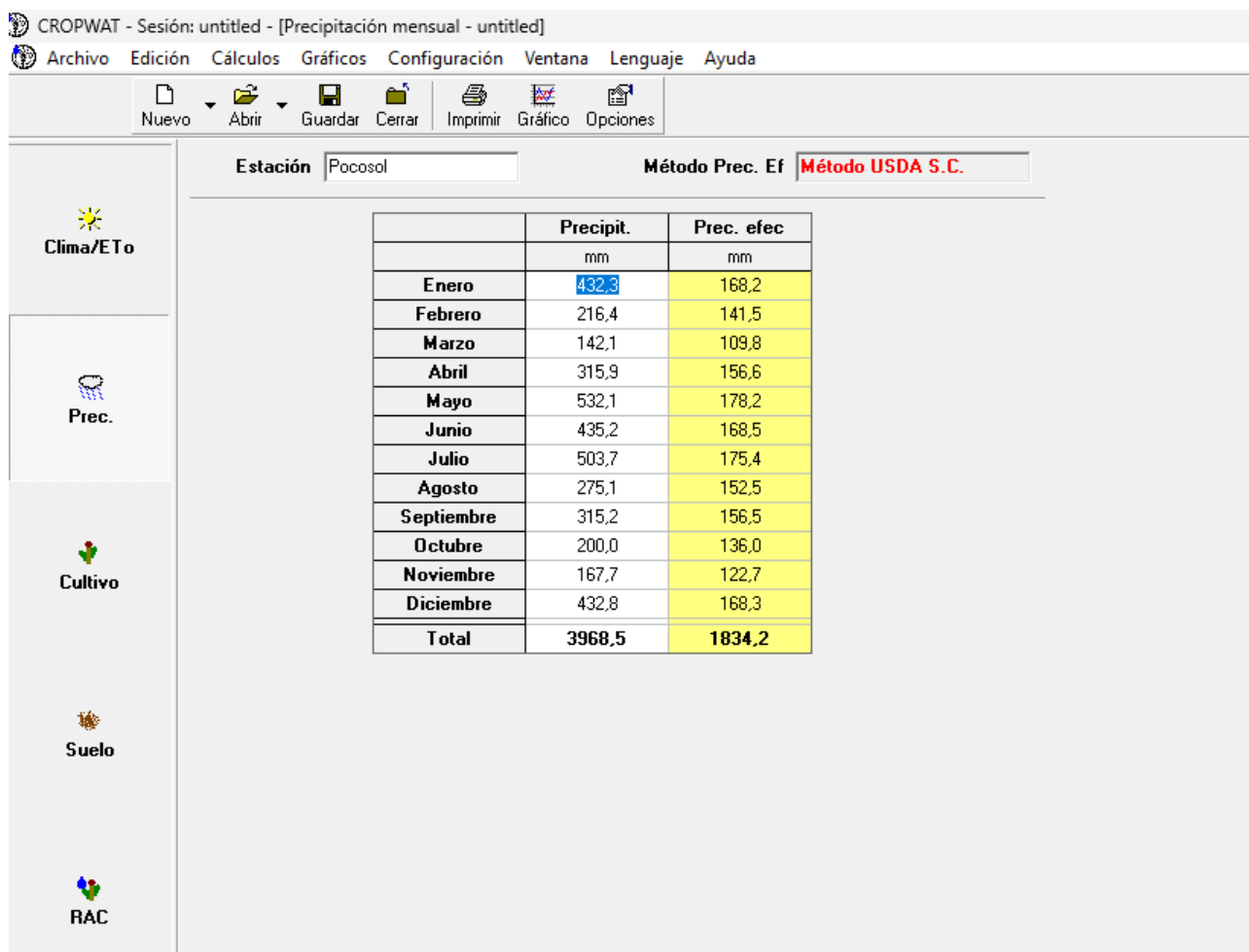
Suelo

RAC

Fuente: Allen, R., Pereira, S., Raes, D., y Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO: Estudios FAO Riego y Drenaje. FAO, Roma. <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>

**Paso 3.** Seguidamente, debe ingresar los datos de precipitación mensual mediante la opción “Prec.” en la columna izquierda de la pantalla (ver figura A4.33.).

**Figura A4.2.** Visualización del programa CROPWAT en su sección de precipitación (Prec.)



Fuente: Allen, R., Pereira, S., Raes, D., y Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO: Estudios FAO Riego y Drenaje. FAO, Roma. [www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm](http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm)

**Paso 4.** En la opción “Cultivo” en la columna izquierda de la pantalla (ver Figura A4.34.), se ingresarán datos asociados con el cultivo de piña. Estos valores podrían ser determinados en campo por la empresa, o bien, se aporta en el cuadro siguiente la información teórica de la publicación de Allen et al. (2006).

**Cuadro A4.1.** Datos teóricos del cultivo de piña para su uso en CROPWAT

Etapa	Inicial	Desarrollo	Medio	Final	Fuente
Kc (uncovered soil)	0,50		0,30	0,30	Cuadro 12, pág. 112.
Kc (soil with grass cover)	0,50		0,50	0,50	
Days	60	120	600	10	Cuadro 11, pág. 107.
Root depth (m)	0,3-0,6		0,3-0,6		Cuadro 22, pág. 165.
Agotamiento crítico (fracción)	0,5		0,5	0,5	Cuadro 22, pág. 165.

Factor de respuesta de rendimiento (Ky)	1	1	1	1	pág. 177.
Altura del cultivo (m)			0,6-1,2		Cuadro 12, pág. 112.

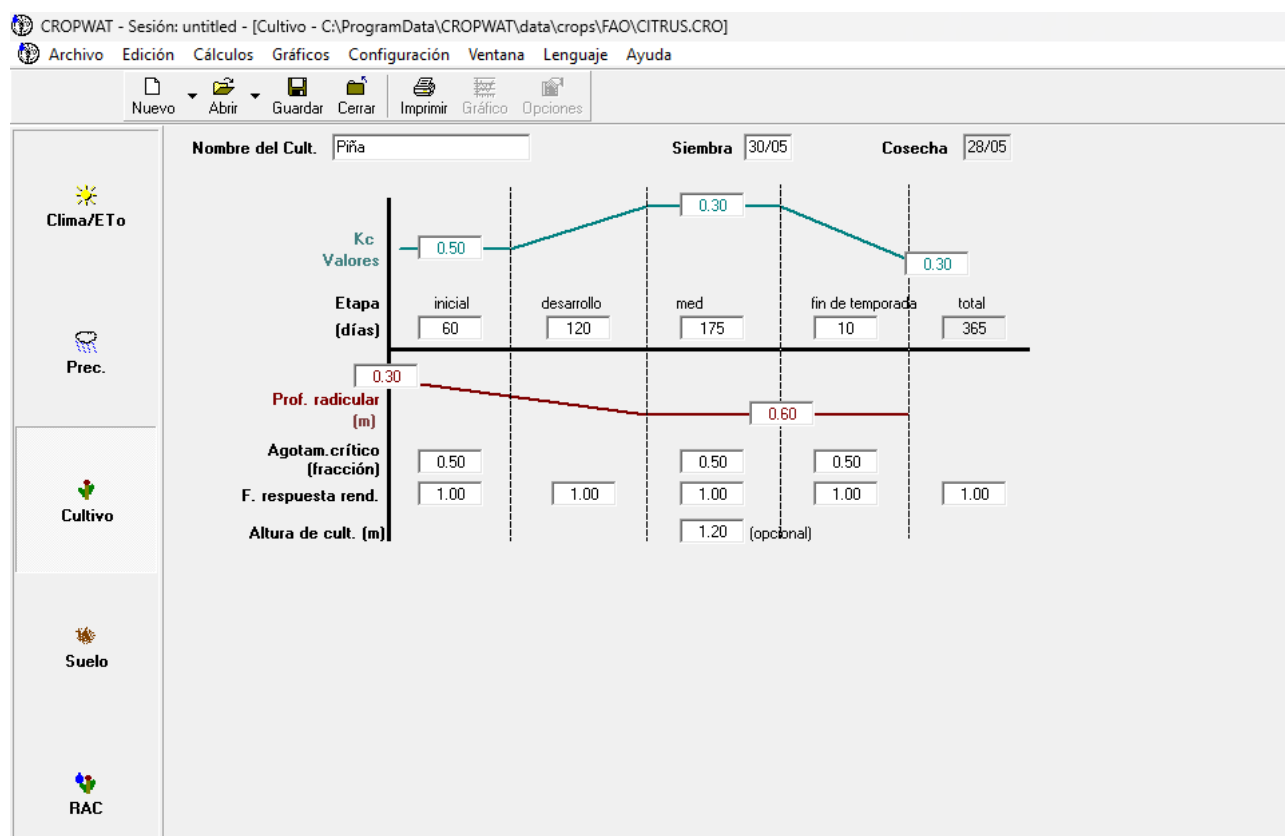
**Nota:** Conforme indica Allen *et al.* (2006):

“La planta de piña posee una muy baja transpiración debido a que la misma cierra sus estomas durante el día y los abre durante la noche. Por lo tanto, la mayor parte de la ETC en la piña está constituida por la evaporación que ocurre en el suelo. El valor de  $K_c$  med <  $K_c$  ini debido a que  $K_c$  med ocurre en condiciones de completa cobertura del suelo, por lo que la evaporación en el suelo será menor. Los valores indicados asumen que un 50% de la superficie del suelo se encuentra cubierta por una cobertura de plástico negro y que el cultivo es regado a través de riego por aspersión. En el caso de riego por goteo por debajo de la cubierta plástica, los valores de  $K_c$  pueden ser reducidos a 0,10.” (p. 112)

“Para una gran cantidad de cultivos, el valor de  $K_y$  es alrededor de 1. Para cultivos donde se desconozca el valor de  $K_y$ , el usuario puede utilizar  $K_y = 1$ ” (pág.177).

**Fuente:** Allen, R., Pereira, S., Raes, D., y Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO: Estudios FAO Riego y Drenaje. Fao, Roma. <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>

**Figura A4.3.** Visualización del programa CROPWAT en su sección de cultivo



**Fuente:** Allen, R., Pereira, S., Raes, D., y Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO: Estudios FAO Riego y Drenaje. Fao, Roma. <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>

**Paso 5.** En la opción “Suelo” de la columna izquierda (ver figura 35A.4) se deben anotar las características del suelo de la región, las cuales en primera instancia se recomienda que sean determinadas por la empresa mediante estudio de suelos.

En caso de que esto no sea posible, mediante referencias de literatura adecuadamente respaldadas y justificadas, se debe investigar la textura del suelo, y con base en esta, los valores podrían aproximarse. Así mismo, el software contiene datos preestablecidos de los valores según algunos tipos de suelos, para lo cual se puede usar de referencia cargando la información desde el ícono “Abrir” en el menú superior.

## Cuadro A4.2. Parámetros relacionados al suelo a ingresar en CROPWAT

Parámetro	Descripción
Humedad del suelo disponible inicialmente (humedad aprovechable)	Es el contenido de humedad del suelo al inicio de la temporada del cultivo. Se estima cómo el producto del agua disponible total por el Agotamiento inicial de humedad del suelo, expresado en milímetros por metro de profundidad del suelo (mm/m). El agua disponible total es la cantidad total de agua disponible para el cultivo, la cual se estima mediante la resta del contenido de humedad del suelo entre la capacidad de campo y el punto de marchitez permanente.
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	La Tasa máxima de infiltración, expresada en mm por día, representa la lámina de agua que pueden infiltrar en el suelo en un período de 24 horas, en función del tipo de suelo, pendiente y la intensidad de la precipitación o del riego. La tasa máxima de infiltración tiene el mismo valor que la conductividad hidráulica del suelo a saturación. Para su medición se puede hacer uso de resultados de laboratorio, o bien, del método de doble cilindro (Centro AGUA-UMSS, 2022), que puede resultar útil in situ para determinar necesidades de riego.
Agotamiento inicial de la humedad del suelo	El agotamiento inicial de la humedad del suelo indica la sequedad del suelo al inicio de la época de cultivo (siembra). El agotamiento inicial de la humedad del suelo se expresa como un porcentaje del agua disponible total, en términos del agotamiento de la capacidad de campo. El valor por defecto de 0% representa un perfil de suelo húmedo a capacidad de campo y 100 % es un suelo en punto de marchitez permanente.

**Nota:** Para ampliar información sobre cada parámetro, se recomienda revisar la sección de Ayuda – Tópicos de Ayuda del CROPWAT 8.0.

**Figura A4.4.** Visualización del programa CROPWAT en su sección de suelo

CROPWAT - Sesión: untitled - [Suelo - C:\ProgramData\CROPWAT\data\soils\FAO\MEDIUM.SOI]

Archivo Edición Cálculos Gráficos Configuración Ventana Lenguaje Ayuda

Nuevo Abrir Guardar Cerrar Imprimir Gráfico Opciones

Nombre del suelo Franco arcilloso

Datos generales de suelo

Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	290.0	mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	40	mm/día
Profundidad radicular máxima	600	centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0	%
Humedad de suelo inicialmente disponible	290.0	mm/metro

Clima/ETo  
Prec.  
Cultivo  
Suelo  
RAC

**Fuente:** Allen, R., Pereira, S., Raes, D., y Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO: Estudios FAO Riego y Drenaje. Fao, Roma. <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>

**Paso 6.** En la opción “RAC” se podrán observar los resultados obtenidos de evapotranspiración (ET<sub>c</sub>), los cuales se brindan en milímetros por día por metro cuadrado (mm/día/m<sup>2</sup>), (ver figura A4.36.). Por lo tanto, se debe aplicar la ecuación mostrada a continuación para obtener la evapotranspiración total del cultivo por mes (ETM) (Vallejo *et al.*, 2017).

$$\text{Evapotranspiración mensual (ET}_M) = \text{ET}_c \times D \times 10 \times A$$

$$\text{ET}_M : \text{Evapotranspiración mensual (} \frac{\text{m}^3}{\text{mes}} \text{)}$$

$$\text{ET}_c : \text{Evapotranspiración diaria del cultivo en el mes (} \frac{\text{mm}^3}{\text{day}} \text{)}$$

D: Días del mes (días)

10: Factor de conversión a metros cúbicos

A: Área sembrada en la finca (ha)

**Figura A4.5.** Visualización del programa CROPWAT en su sección de requerimientos de agua del cultivo (RAC) y resultados de evapotranspiración.

CROPWAT - Sesión: untitled - [Requerimiento de Agua del Cultivo]

Archivo Edición Cálculos Gráficos Configuración Ventana Lenguaje Ayuda

Nuevo Abrir Guardar Cerrar Imprimir Gráfico Opciones

Estación ETo Pocosol

Est. de lluvia Pocosol

Mes	Decada	Etapa	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req.Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
May	3	Inic	0.30	1.31	2.6	10.8	0.0
Jun	1	Inic	0.50	2.14	21.4	56.8	0.0
Jun	2	Inic	0.50	2.11	21.1	55.4	0.0
Jun	3	Inic	0.50	2.14	21.4	56.4	0.0
Jul	1	Inic	0.50	2.17	21.7	58.6	0.0
Jul	2	Inic	0.50	2.20	22.0	59.9	0.0
Jul	3	Des	0.50	2.21	24.3	56.8	0.0
Ago	1	Des	0.48	2.16	21.6	52.5	0.0
Ago	2	Des	0.47	2.10	21.0	49.6	0.0
Ago	3	Des	0.45	2.02	22.2	50.4	0.0
Sep	1	Des	0.43	1.94	19.4	52.5	0.0
Sep	2	Des	0.41	1.87	18.7	53.3	0.0
Sep	3	Des	0.39	1.76	17.6	50.7	0.0
Oct	1	Des	0.37	1.65	16.5	47.4	0.0
Oct	2	Des	0.36	1.55	15.5	45.0	0.0
Oct	3	Des	0.34	1.45	16.0	43.7	0.0
Nov	1	Des	0.32	1.36	13.6	40.5	0.0
Nov	2	Des	0.30	1.27	12.7	38.2	0.0
Nov	3	Med	0.29	1.17	11.7	44.1	0.0
Dic	1	Med	0.28	1.13	11.3	52.5	0.0
Dic	2	Med	0.28	1.09	10.9	58.2	0.0
Dic	3	Med	0.28	1.10	12.1	57.5	0.0
Ene	1	Med	0.28	1.12	11.2	56.9	0.0
Ene	2	Med	0.28	1.13	11.3	57.3	0.0
Ene	3	Med	0.28	1.15	12.7	53.9	0.0
Feb	1	Med	0.28	1.17	11.7	50.3	0.0
Feb	2	Med	0.28	1.20	12.0	47.4	0.0
Feb	3	Med	0.28	1.24	9.9	43.8	0.0
Mar	1	Med	0.28	1.28	12.8	37.7	0.0
Mar	2	Med	0.28	1.32	13.2	32.9	0.0
Mar	3	Med	0.28	1.33	14.6	39.3	0.0
Abr	1	Med	0.28	1.34	13.4	47.8	0.0
Abr	2	Med	0.28	1.35	13.5	53.3	0.0
Abr	3	Med	0.28	1.32	13.2	55.4	0.0
May	1	Med	0.28	1.29	12.9	58.0	0.0
May	2	Fin	0.29	1.27	12.7	60.9	0.0
May	3	Fin	0.30	1.31	11.8	48.5	0.0
					<b>561.7</b>	<b>1834.2</b>	<b>0.0</b>

Fuente: Allen, R., Pereira, S., Raes, D., y Smith, M. 2006. *Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos*. FAO: Estudios FAO Riego y Drenaje. Fao, Roma. <http://www.fao.org/docrep/009/x0490s/x0490s00.htm>

# Anexo 5. Factores de caracterización por impacto para la huella de agua

## 1. Factor de caracterización para impacto de escasez

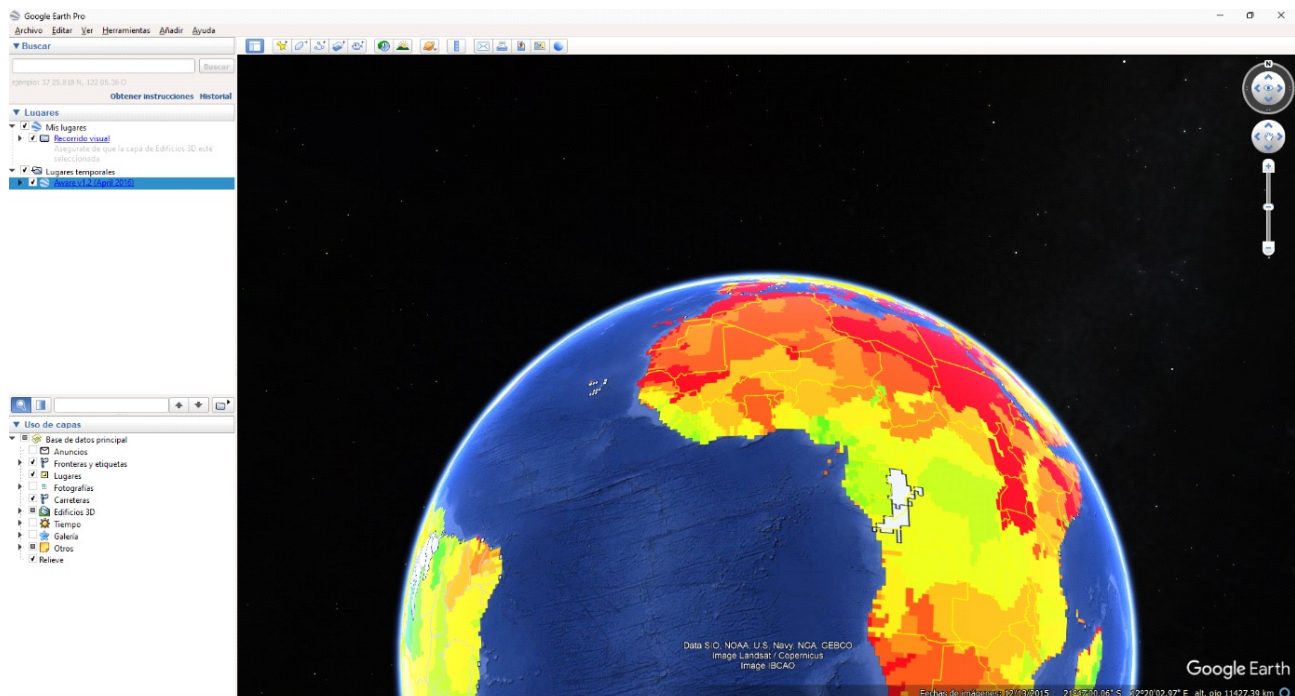
Paso a paso de la instalación y determinación del factor de caracterización (FC regional) dado por AWARE

**Paso 1.** Descargar el programa de Google Earth en la computadora, ingresando en el siguiente enlace: <https://www.google.com/intl/es/earth/versions/#earth-pro>, haciendo click en “Descargar Earth Pro para ordenadores”, “Aceptar y descargar” y aceptar su instalación.

**Paso 2.** Ingresar a la página oficial de WULCA y descargar los factores de caracterización de AWARE, en el siguiente enlace: <https://wulca-waterlca.org/aware/download-aware-factors/>, en la sección de “Descargar (Sub) valores de nivel de cuenca hidrográfica (anual y mensual)” en inglés “Download (Sub) Watershed level values (annual and monthly)”, dar click a “Descargar la capa de Google Earth” (en inglés “Download Google Layer Document”).

**Paso 3.** Hacer doble click al archivo descargado denominado “AWARE\_v1\_2April\_7th.kmz”, y la capa se abrirá directamente en la aplicación de Google Earth (ver Figura A5.37.). Las cuadrículas señaladas en rojo son las regiones de mayor escasez, y las señaladas en verde son las de menor escasez.

Figura A5.1. Visualización inicial del Google Earth con la capa del AWARE

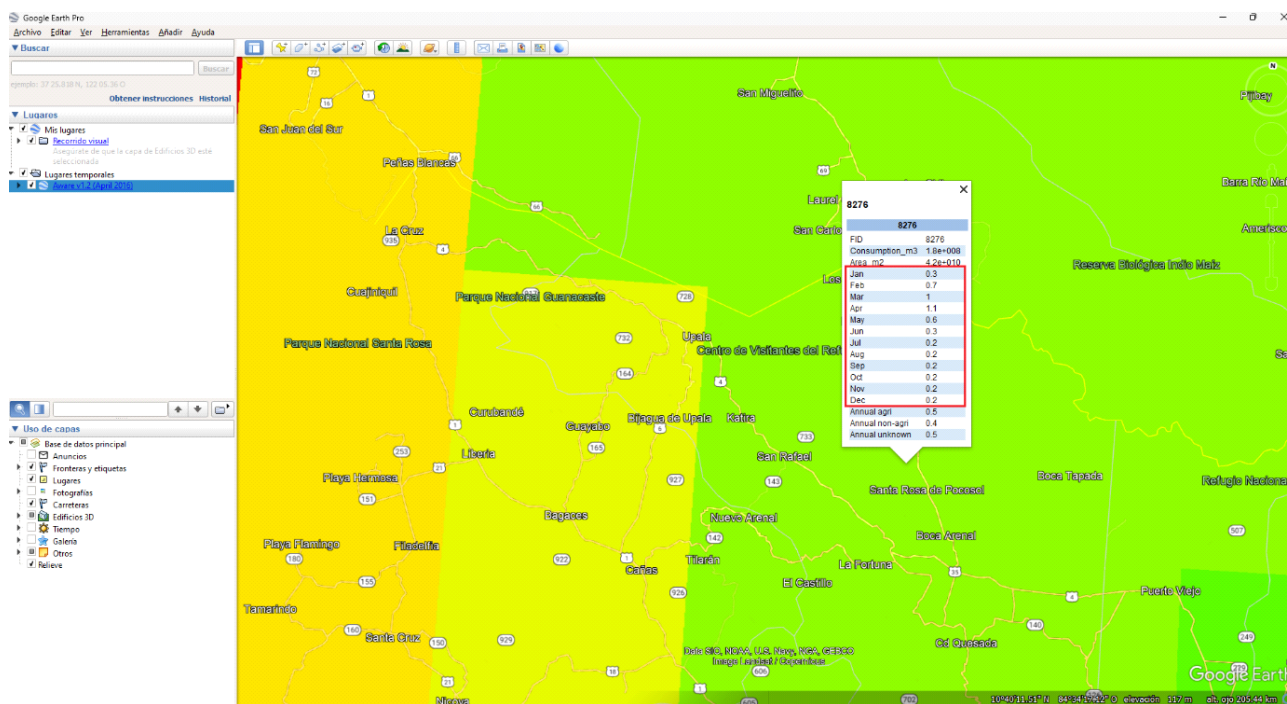


Fuente: Google Earth, 2023. Google Earth. [Consultado el 29 de mayo de 2023] <https://earth.google.com/web>

**Paso 4.** Con el fin de identificar los FC específicos de la región en estudio, se deberá buscar la ubicación y hacer click en esta. Aparecerá de inmediato un cuadro con el desglose mensual de los FC para dicha zona (ver Figura A5.38.), así como la opción de un FC anual para usos agrícolas y no agrícolas. Se

recomienda hacer uso de los FC mensuales, que están expresados en metros cúbicos equivalentes por metro cúbico que se perdió de la cuenca.

**Figura A5.2.** Información del FC que corresponderá a la ubicación geográfica seleccionada



Fuente: Google Earth, 2023. Google Earth. [Consultado el 29 de mayo de 2023] <https://earth.google.com/>

## 2. Determinación del factor de caracterización (FC) dado por ReCiPe por eutrofización en agua dulce.

Se presenta a continuación los FC aportados por ReCiPe según el tipo de presentación del fósforo y el medio natural donde se emite.

**Cuadro A5.1.** Factores de caracterización para estimar la huella de agua por eutrofización en agua dulce

Presentación del fósforo aplicado	Medio natural de emisión	FC (kg Pe /kg P total)
Fósforo (P)	Agua dulce	1
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Agua dulce	0,33
Ácido fosfórico	Agua dulce	0,32
Pentóxido de fósforo	Agua dulce	0,22
Fósforo (P)	Suelo agrícola	0,1
Fosfato (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	Suelo agrícola	0,033
Ácido fosfórico	Suelo agrícola	0,032
Pentóxido de fósforo	Suelo agrícola	0,022

Fuente: Adaptado del Instituto Nacional Holandés de Salud Pública y Medio Ambiente.2016. Excel factores de caracterización, pesaña de Eutrofización en agua dulce, escenario de modelación jerárquica. [Consultado el 29 de mayo de 2023] <https://www.rivm.nl/docu-menten/recipe2016cfsv1120180117>

### 3. Determinación del factor de caracterización (FC) dado por ReCiPe por eutrofización en agua salada.

Se presenta a continuación los FC aportados por ReCiPe según el tipo de presentación del nitrógeno y el medio natural donde se emite.

**Cuadro A5.2.** Factores de Caracterización para estimar la huella de agua por eutrofización en agua salada

Presentación del nitrógeno aplicado	Medio natural de emisión	FC (kg Ne /kg N total)
Nitrógeno (N)	Agua dulce	0,30
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Agua dulce	0,23
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Agua dulce	0,24
NO	Agua dulce	0,14
NO <sub>2</sub>	Agua dulce	0,09
NO <sub>3</sub>	Agua dulce	0,07
NO <sub>x</sub>	Agua dulce	0,09
Nitrógeno (N)	Suelo agrícola	0,13
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Suelo agrícola	0,10
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Suelo agrícola	0,10
NO	Suelo agrícola	0,06
NO <sub>2</sub>	Suelo agrícola	0,04
NO <sub>3</sub>	Suelo agrícola	0,03
NO <sub>x</sub>	Suelo agrícola	0,04
Nitrógeno (N)	Agua salada	1
Amonio (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Agua salada	0,78
Amoniaco (NH <sub>3</sub> )	Agua salada	0,82
NO	Agua salada	0,47
NO <sub>2</sub>	Agua salada	0,30
NO <sub>3</sub>	Agua salada	0,23
NO <sub>x</sub>	Agua salada	0,30

**Fuente:** Adaptado del Instituto Nacional Holandés de Salud Pública y Medio Ambiente (RIVM, 2016), *Excel Factores de Caracterización, pestaña de Eutrofización en agua salada, escenario de modelación para todas las perspectivas*. [Consultado el 29 de mayo de 2023] .  
<https://www.rivm.nl/documenten/recipe2016cfsv1120180117>

#### 4. Determinación del factor de caracterización (FC) dado por USEtox® por ecotoxicidad.

Se presenta a continuación los FC de ecotoxicidad aportados por USEtox según diferentes sustancias encontradas comúnmente en la producción de piña.

**Cuadro A5.3.** Factores de caracterización de punto medio para el impacto de ecotoxicidad en agua dulce para los ingredientes activos comúnmente encontrados en la producción de piña

Número de CAS	Nombre del ingrediente activo	Medio natural de emisión:	Factor de caracterización (CF) de punto medio en ecotoxicidad [PAF·m3.día/kg emitido]											
			Emisión al aire interior vivienda	Emisión al aire interior industrial	Emisión al aire urbano	Emisión aire rural	Emisión agua dulce	Emisión agua salada	Emisión suelo natural	Emisión suelo agrícola				
98886-44-3	Fostiazato	Insecticida / nematocida	agua dulce	agua dulce	agua dulce	agua dulce	agua dulce	agua dulce	agua dulce	agua dulce	agua dulce	agua dulce	agua dulce	agua dulce
69327-76-0	Buprofezin	Insecticida / nematocida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
121-75-5	Malathion	Insecticida / nematocida	10,17222456	14,11981921	16,75154898	3,592900129	894,4424472	0,039601486	4,183080454	0,039601486	4,183080454	4,979534052	4,979534052	4,979534052
52315-07-8	Cypermethrin	Insecticida	6979,448534	10423,17426	12718,9914	1239,905666	62163,05441	0,007426976	69,79832407	0,007426976	69,79832407	69,79796065	69,79796065	69,79796065
108-94-1	Cyclohexanone	Insecticida	770038,7063	1004380,309	1160608,044	379469,3688	50264426,19	1040,338526	13442,80512	1040,338526	13442,80512	13442,71516	13442,71516	13442,71516
1330-20-7	Xylene	Insecticida	1,350384667	1,356442276	1,360480681	1,340288652	66,42535552	0,018940529	13,24326815	0,018940529	13,24326815	13,24326671	13,24326671	13,24326671
52918-63-5	Deltamethrin	Insecticida	0,010065682	0,010446432	0,010700265	0,009431099	77,42689879	0,000852843	0,862449519	0,000852843	0,862449519	0,862460306	0,862460306	0,862460306
82560-54-1	Benfuracarb	Insecticida	23957,33771	30409,57691	34711,06971	13203,60572	3430135,176	197,4873177	795,9438513	197,4873177	795,9438513	795,9373957	795,9373957	795,9373957
333-41-5	Diazinon	Insecticida	17427,96761	25737,22716	31276,73352	3579,201692	210238,9723	0,18943943	140,8672743	0,18943943	140,8672743	140,8608272	140,8608272	140,8608272
2921-88-2	Chlorpyrifos	Insecticida	3745,43742	5433,510128	6558,891932	931,9829087	185211,2189	0,308912314	1612,544632	0,308912314	1612,544632	1566,111653	1566,111653	1566,111653
60-51-5	Dimethoate	Insecticida	23836,2299	33103,11877	39281,04469	8391,415119	6230276,073	222,876553	7087,946472	222,876553	7087,946472	7088,054959	7088,054959	7088,054959
935545-74-7	Spinetoram	Insecticida	3139,659894	4213,483112	4929,365257	1349,954532	17905,29326	0,000454024	1253,237448	0,000454024	1253,237448	1253,246468	1253,246468	1253,246468
63-25-2	Carbaryl	Insecticida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
			6317,577841	9093,974505	10944,90561	1690,250067	45855,36751	0,018518106	731,11175	0,018518106	731,11175	731,1687844	731,1687844	731,1687844

68038-71-1	Bacillus thuringiensis	Insecticida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
110488-70-5	Dimethomorph	Fungicida	450,8366947	621,8249385	735,8171011	165,8562882	2742,43128	0,000132897	147,525804	147,525804	147,525804	147,525804	147,5258041
57837-19-1	Metalaxyl	Fungicida	209,8420557	242,7480398	264,6853625	154,9987489	955,8209987	0,001372589	168,7539613	168,7539613	168,7539613	168,7539613	168,7537276
77732-09-3	Oxadixil	Fungicida	52,03325428	51,85468765	51,73564324	52,33086533	158,5946632	4,19431E-07	59,48441786	59,48441786	59,48441786	59,48441786	59,48441786
17804-35-2	Benomyl	Fungicida	3511,741966	5001,272979	5994,293655	1029,190278	24072,71466	1,08447E-06	776,6166022	776,6166022	776,6166022	776,6166022	1060,226557
60207-90-1	Propiconazole	Fungicida	3339,657403	4766,707658	5718,074495	961,2403104	22239,62311	0,006906825	496,9268247	496,9268247	496,9268247	496,9268247	496,8909023
67747-09-5	Prochloraz	Fungicida	28525,52551	42189,41997	51298,68294	5752,368078	391374,2504	0,841721376	988,2570677	988,2570677	988,2570677	988,2570677	977,4887111
131341-86-1	Fludioxonil	Fungicida	13795,73395	20543,759	25042,44236	2549,025537	98718,0998	0,006280178	249,3685721	249,3685721	249,3685721	249,3685721	249,3664887
57966-95-7	Cymoxanil	Fungicida	1611,069205	2362,691533	2863,773085	358,3653248	10896,54867	5,73978E-05	76,6615977	76,6615977	76,6615977	76,6615977	81,56948469
12071-83-9	Propineb	Fungicida	755,024429	1110,383526	1347,289591	162,7592675	4945,389344	3,17463E-05	58,04146351	58,04146351	58,04146351	58,04146351	58,04146351
8018-01-7	Mancozeb	Fungicida	8040,154439	11308,86306	13488,00214	2592,306738	52647,33107	1,00527E-09	982,9896617	982,9896617	982,9896617	982,9896617	4128,636841
39148-24-8	Fosetyl aluminium	Fungicida	223,3260629	334,6138042	408,8056317	37,84649409	1490,552565	9,00067E-10	2,052606972	2,052606972	2,052606972	2,052606972	2,052606972
119446-68-3	Difenoconazole	Fungicida	8101,527309	10422,66212	11970,08533	4232,96929	128639,7566	0,000354436	1462,125529	1462,125529	1462,125529	1462,125529	1462,000442
43121-43-3	Triadimefon	Fungicida	911,437564	1329,684039	1608,515023	214,3601051	5785,838939	7,68807E-05	75,0756325	75,0756325	75,0756325	75,0756325	75,07523137
133-06-2	Captan	Fungicida	8609,831904	12772,90776	15548,29166	1671,372145	84839,16389	0,05094353	399,8088508	399,8088508	399,8088508	399,8088508	399,8094889
5234-68-4	Carboxin	Fungicida	3463,025257	5193,179163	6346,6151	579,4354143	24613,87962	0,000587619	81,20045228	81,20045228	81,20045228	81,20045228	81,1998791
10605-21-7	Carbendazim	Fungicida	107189,3872	156015,2784	188565,8726	25812,90179	739596,1398	0,001807334	18449,08061	18449,08061	18449,08061	18449,08061	17856,65735
84696-15-1	Extracto de jengibre	Fungicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
131860-33-8	Azoxystrobin	Fungicida	14038,19787	14558,91765	14906,06418	13170,33157	77028,28406	3,91764E-06	15613,74014	15613,74014	15613,74014	15613,74014	15613,74014

81412-43-3	Tridemorph (technical)	Fungicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
24602-86-6	Tridemorph	Fungicida	49,32405686	67,98495403	80,42555214	18,22256158	53119,03888	1,548655149	54,95993319	5,620878826	11,83557927	30,56499174	N/AV
23564-05-8	Thiophanate methyl	Fungicida	1019,654878	1528,173456	1867,185841	172,1239159	7409,131722	6,53436E-05	5,620878826				N/AV
7558-80-7	Fosfito Monobásico de Na y K		N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
7558-79-4	Fosfito Dibásico de Na y K		N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
68647-73-4	Aceite del arbol del te (melaleuca alternifolia)	Fungicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
1071-83-6	Glyphosate	Herbicida	78,49976193	88,60230014	95,33732561	61,66219825	320,7852096	1,98344E-07	71,72423705			71,8334829	
834-12-8	Ametryn	Herbicida	11095,44344	15784,57111	18910,65622	3280,230661	75920,76885	0,038233775	1814,707026			1798,494328	
330-54-1	Diuron	Herbicida	11331,78049	14822,87294	17150,26791	5513,293076	59976,6839	0,008900192	4643,010627			4642,988447	
314-40-9	Bromacil	Herbicida	973,0047157	1105,812143	1194,350428	751,6590031	3903,812628	0,000171476	784,5913597			771,8091832	
100646-51-3	Quizalofop - P- ethyl	Herbicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
69806-34-4	Haloxifop-r methyl ester	Herbicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
42874-03-3	Oxyfluorfen	Herbicida	948,7473539	1156,468856	1294,949857	602,5448507	63827,79542	4,323144549	18,26993829			18,26982766	
1912-24-9	Atrazine	Herbicida	13496,05218	18680,54474	22136,87311	4855,231247	87360,96299	0,055944615	3427,168517			3426,709295	
1910-42-5	Paraquat dichloride	Herbicida	821,3026937	1215,396686	1478,126015	164,4793724	5259,794096	2,46398E-08	33,3461264			33,34582563	
16672-87-0	Ethephon (Ethylene)	Regulador fisiológico	262,1744611	344,3985733	399,214648	125,1342742	1359,828738	2,14659E-14	102,0002077			101,8373734	
86-87-3	Alpha naphthylacetic acid	Regulador fisiológico	25,81781689	32,57494349	37,07969456	14,55593923	128,6196661	2,41074E-08	12,42804447			15,71545304	
68157-60-8	Forchlorfenuron	Regulador fisiológico	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
133-32-4	Indolylbutyric acid	Regulador fisiológico	28,60417562	38,99217448	45,91750705	11,29084419	181,0749643	2,32478E-08	9,33030046			16,629998	
50-65-7	Niclosamide	Molusquicida	21244,75795	25374,74388	28128,06783	14361,44806	434951,6669	0,000165898	6073,671906			6353,257721	

108-62-3	Metaldehído	Molusquicida	3,891749332	4,385018627	4,713864823	3,069633842	245,9221306	0,003257538	25,26622007	25,26621151
39121-37-4	5-Hydroxy-5-methylheptan-3-one		N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
21570-35-4	2-metil-4-heptanol		N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
154170-44-2	4-metil-5-nonanol		N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
32723-67-4	4-methoxy-3-methylbenzaldehyde		N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
1405-41-0	Sulfato de gentamicina	Bactericida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
2058-46-0	Clorhidrato de oxitetraciclina	Bactericida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
99129-21-2	Clethodim	Herbicida	490,3497048	739,0542477	904,8572763	75,84213337	3734,075794	4,8723E-06	1,91048443	7,085067594
71626-11-4	Benalaxil	Fungicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
1897-45-6	Clorotalonil	Fungicida	42742,77915	44743,64147	46077,54969	39408,00861	1143877,45	814,7741465	8259,067954	8259,01547
51235-04-2	Hexazinone	Herbicida	23625,84055	28888,60981	32397,12265	14854,55846	118114,9574	0,000103887	6560,191197	26229,35444
57764-08-6	Furalaxyl - M	Herbicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
24579-73-5	Propamocarb	Fungicida	24,06148012	36,23275607	44,34694005	3,776020188	165,4873463	2,2054E-06	0,012763654	0,012898493
25606-41-1	Propamocarb HCL	Fungicida	17,69612673	25,71905599	31,0676755	4,32457797	111,6399835	1,19712E-09	1,817364422	1,817347665
135410-20-7	Acetamiprid	Insecticida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
116714-46-6	Novaluron	Insecticida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
138261-41-3	Imidacloprid	Insecticida	891,4342613	898,5634912	903,3163112	879,5522114	3196,828241	6,81656E-09	1223,18985	1223,161488
82657-04-3	Bifentrina	Insecticida	115147,0887	147455,6963	168994,768	61299,40933	6578908,376	147,9796931	1378,994364	1379,142281
12057-74-8	Fosforo de magnesio	Insecticida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV

53112-28-0	Pirimetanil / Pyrimethanil	Fungicida	122,7646303	182,6326112	222,5445985	22,98466219	3406,790832	0,002772443	47,00057772	45,66154461
76674-21-0	Flutriafol	Fungicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
946578-00-3	Sulfoxaflor	Insecticida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
77182-82-2	Glufosinato de amonio / Glufosinate ammonium	Herbicida	88,65740981	130,978146	159,1919701	18,12284956	577,8562139	4,59802E-14	4,103288242	4,10324982
153719-23-4	Thiamethoxam	Insecticida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
91465-08-6	Lambda-cyhalotrina / Lambda-Cyhalothrin	Insecticida	1188545,518	1568289,94	1821452,889	555638,1466	138627257	3682,903272	9289,573091	9289,523534
100646-51-3	Quizalofop-ethyl	Herbicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
7758-99-8	Sulfato de cobre pentahidratado	Fungicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
99129-21-2	Clethodim	Herbicida	490,3497048	739,0542477	904,8572763	75,84213337	3734,075794	4,8723E-06	1,91048443	7,085067594
69806-40-2	Haloxypop-P-Methyl	Herbicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
56073-10-0	Brodifacoum	Rodenticida	108,692184	130,2285614	144,5861463	72,79822156	3535,737457	6,36006E-14	0,99413839	5,060536691
148-24-3	8-Hidroxiquinoleina	Fungicida y bactericida	6,684146642	9,827404564	11,92290985	1,445383437	1258,950085	0,001298924	0,456494255	0,789873862
211867-47-9	Flumorph	Fungicida	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV

**Nota:** N/D: Factores de caracterización aún no disponibles; N/A: Factores de caracterización que no aplican.

**Fuente:** Adaptado de **USEtox**. 2023. Excel "USEtox Results organics", pestaña "Ecotox CF", impactos de punto medio. [Consultado el (7 de marzo 2023)] <https://usetox.org/model/download>

## 5. Determinación del factor de caracterización (FC) dado por USEtox® por toxicidad humana

Se presenta a continuación los FC de toxicidad humana aportados por USEtox según diferentes sustancias encontradas comúnmente en la producción de piña.

**Cuadro A5.4.** Factores de caracterización de punto medio para el impacto de toxicidad humana para los ingredientes activos comúnmente encontrados en la producción de piña

		Factor de caracterización (CF) de punto medio en toxicidad humana [casos/kg emitido]																							
		Emisión al aire interior de la vivienda			Emisión al aire interior industrial			Emisión al aire urbano			Emisión al aire rural			Emisión a agua dulce			Emisión a agua de mar			Emisión a suelo natural			Emisión a suelo agrícola		
Número de CAS	Nombre del ingrediente activo	Emisión al aire interior de la vivienda			Emisión al aire interior industrial			Emisión al aire urbano			Emisión al aire rural			Emisión a agua dulce			Emisión a agua de mar			Emisión a suelo natural			Emisión a suelo agrícola		
		Cancer	Non-canc.	Total	Cancer	Non-canc.	Total	Cancer	Non-canc.	Total	Cancer	Non-canc.	Total	Cancer	Non-canc.	Total	Cancer	Non-canc.	Total	Cancer	Non-canc.	Total	Cancer	Non-canc.	Total
98886-44-3	Fostiazato	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV	N/AV
69327-76-0	Buprofezin	N/A	0.000 6019	0.00 06019	N/A	2.095 E-05	2.095 E-05	N/A	4.6488 5E-06	4.648 85E-06	N/A	2.140 6E-06	2.140 6E-06	N/A	1.142 E-05	1.142 E-05	N/A	1.011 3E-07	1.011 3E-07	N/A	5.6995 1E-08	5.6995 1E-08	N/A	5.2105 2E-06	
121-75-5	Malathion	0	1.86 2E-05	1.862 E-05	0	5.885 E-07	5.885 E-07	0	8.0476 8E-08	8.047 68E-08	0	1.2553 7E-08	1.2553 7E-08	0	2.144 E-07	2.144 E-07	0	1.08 37E-09	1.083 7E-09	0	2.4095 9E-10	2.4095 9E-10	0	1.8458 4E-09	
52315-07-8	Cypermethrin	N/A	0.000 1089	0.000 1089	N/A	4.38 2E-06	4.382 E-06	N/A	1.4590 1E-06	1.4590 1E-06	N/A	9.4469 3E-07	9.4469 3E-07	N/A	4.108 E-06	4.10 8E-06	N/A	2.805 9E-07	2.805 9E-07	N/A	1.369 2E-09	1.369 2E-09	N/A	1.235 79E-07	
108-94-1	Cylohexanone	0	1.17E-06	1.17 E-06	0	3.879 E-08	3.879 E-08	0	7.3528 1E-09	7.3528 1E-09	0	8.5041 7E-10	8.5041 7E-10	0	7.383 E-09	7.383 E-09	0	1.471 8E-11	1.471 8E-11	0	1.6739 7E-09	1.6739 7E-09	0	7.0502 5E-09	
1330-20-7	Xylene	1.56 7E-06	3.64 7E-05	3.804 E-05	5.1137 2E-08	1.19 E-06	1.241 E-06	8.96 542E-09	2.085 2E-07	2.1748 5E-07	4.4521 3E-10	1.0223 5E-08	1.0223 5E-08	3. 8E-09	1.467 E-08	1.847 E-08	7.5319 3E-11	9.868 9E-10	1.062 2E-09	1.062 2E-09	3.626 16E-10	7.5246 6E-09	7.8872 8E-09	4.0295 6E-09	1.86 17E-08
52918-63-5	Deltamethrin	0	0.000 1953	0.000 1953	0	7.491 E-06	7.491 E-06	0	2.2426 3E-06	2.2426 3E-06	0	1.3110 6E-06	1.3110 6E-06	0	7.519 E-06	7.51 E-06	0	3.401 1E-07	3.40 11E-07	0	6.2097 2E-09	6.2097 2E-09	0	2.007 19E-07	
82560-54-1	Benturacarb	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
333-41-5	Diazinon	0	0.005 2862	0.005 2862	0	1.734 1734	0.000 1734	0	3.0103 6E-05	3.0103 6E-05	0	7.004 1E-06	7.004 1E-06	0	0.000 1551	0.000 1551	0	1.526 3E-06	1.526 3E-06	0	1.3716 9E-06	1.3716 9E-06	0	3.1227 1E-05	
2921-88-2	Chlorpyrifos	0	0.001 3236	0.001 3236	0	4.584 E-05	4.584 E-05	0	1.0313 4E-05	1.0313 4E-05	0	3.031 9E-06	3.031 9E-06	0	0.000 4578	0.000 4578	0	2.537 8E-05	2.537 8E-05	0	5.4523 5E-07	5.4523 5E-07	0	7.809 19E-06	
60-51-5	Dimethoate	0	0.00 04501	0.000 4501	0	1.409 E-05	1.409 E-05	0	1.6519 5E-06	1.6519 5E-06	0	7.9568 9E-07	7.9568 9E-07	0	4.16 E-06	4.16 E-06	0	1.2624 E-09	1.262 4E-09	0	2.9121 1E-07	2.9121 1E-07	0	1.2524 8E-06	









		Factor de caracterización (CF) de punto medio en toxicidad humana [casos/kg emitido]																		
211867-47-9	Flumorph	Medio natural de emisión:		Emisión al aire interior de la vivienda		Emisión al aire interior industrial		Emisión al aire urbano		Emisión a aire rural		Emisión a agua dulce		Emisión a agua de mar		Emisión a suelo natural		Emisión a suelo agrícola		
		Fungi-cida	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V	N/A/V

**Nota:** N/D: Factores de caracterización aún no disponibles; N/A: Factores de caracterización no aplican.

**Fuente:** Adaptado **USEtox**. 2023. Excel "USEtox Results organics", pestaña "Human tox CF", impactos de punto medio. [Consultado el 7 de marzo 2023] <https://usetox.org/model/download>



# CREANDO CADENAS DE VALOR MUNDIALES RESPONSABLES PARA FRUTAS TROPICALES SOSTENIBLES

## CONTÁCTENOS

Responsible Fruits Project

[Responsible-Fruits@fao.org](mailto:Responsible-Fruits@fao.org)

<https://bit.ly/responsible-fruits>

División de Mercados y Comercio

Línea de trabajo sobre Desarrollo económico y social

[www.fao.org/markets-and-trade](http://www.fao.org/markets-and-trade)

**Organización de las Naciones Unidas  
para la Alimentación y la Agricultura**

Roma, Italia

Con el apoyo de:



**Ministerio Federal  
de Alimentación  
y Agricultura**

ISBN 978-92-5-139030-6



9 789251 390306

CD1688ES/1/08.24