

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICAS Y AMBIENTALES**

PROYECTO DE TITULACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN CIENCIAS AMBIENTALES”

TEMA:

“CUANTIFICACION DEL DESEMPEÑO AMBIENTAL DE LA
PRODUCCION DE MARACUYA EN UNA FINCA DE SANTA ELENA
DESDE LA PERSPECTIVA DE CICLO DE VIDA”

AUTOR:

BENJAMÍN FRANCISCO MIRANDA RODRÍGUEZ

Guayaquil - Ecuador

2020

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a Dios que fue siempre mi sustento, a mi esposa, que supo llenarse de amor y paciencia, a mis padres, siempre pendientes de mi avance, y a mis hijos, quienes fueron también parte de este logro y para quienes quiero ser ejemplo de superación y progreso.

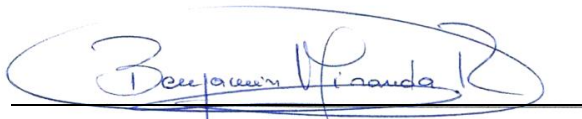
AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, por su apoyo incondicional, a los profesores de la Maestría de Ciencias Ambientales por el conocimiento impartido y a la finca que me apoyó con la información necesaria para poder realizar este proyecto.

Agradezco además a mi tutor de proyecto, Dr. Ángel Ramírez Mosquera, que me guio para la correcta realización y análisis de los temas elaborados, contribuyendo en mi formación académica, profesional y culminación del proyecto de graduación

DECLARACIÓN EXPRESA

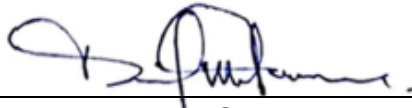
La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Ciencias Químicas y Ambientales** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

A handwritten signature in blue ink, enclosed in a blue oval. The signature reads "Benjamín Francisco Miranda Rodríguez".

Benjamín Francisco Miranda Rodríguez

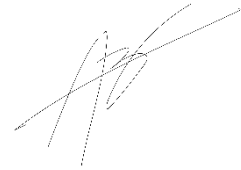
Autor

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



David Matamoros Camposano, Ph. D.

Presidente



Ángel Ramírez Mosquera, Ph. D.

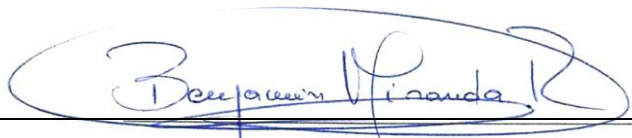
Director



M. Sc. Héctor Apolo Loayza

Vocal

AUTOR DEL PROYECTO



A handwritten signature in blue ink, enclosed within a blue oval. The signature reads "Benjamín Francisco Miranda Rodríguez". Below the signature is a horizontal line.

Benjamín Francisco Miranda Rodríguez

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1	1
1.1. Introducción	1
1.2. Planteamiento del Problema	2
1.3. Justificación	2
1.4. Alcance	3
1.5. Objetivo General	3
1.6. Objetivos Específicos	3
CAPÍTULO 2	5
2.1. Agricultura y producción agrícola.....	5
2.2. Tipos de Producción Agrícola	5
2.2.1. Según dependencia de agua.....	6
2.2.2. Según Magnitud de producción.....	6
2.2.3. De acuerdo al rendimiento	7
2.2.4. Según Metodología	7
2.3. El cultivo de maracuyá	8
2.3.1. Origen.....	8
2.3.2. Clasificación Taxonómica:	8
2.3.3. Características Morfológicas:	8
2.3.3.1. Planta	8
2.3.3.2. Las Hojas	9
2.3.3.3. Las Flores	9
2.3.3.4. El Fruto.....	9
2.3.3.5. Variedades Comerciales.....	10
2.4. Nutrientes necesarios en la agricultura y sus funciones	10
2.5. Fertilizantes	11

2.6. Pesticidas	12
2.7. Emisiones del suelo debido a la aplicación de fertilizantes.....	12
2.7.1. Emisiones de NH ₃	12
2.7.2. Emisiones de N ₂ O	13
2.7.3. Emisiones de NO _x	14
2.7.4. Emisiones de NO ₃	15
2.7.5. Emisiones de fosfatos	15
2.8. Análisis de Ciclo de Vida.....	15
2.8.1. Fases del ACV	16
2.8.1.1. Definición de Objetivos y alcance	16
2.8.1.2. Análisis de Inventario de ciclo de vida.....	16
2.8.1.3. Evaluación de Impacto Ambiental	17
2.8.1.4. Interpretación	17
2.8.2. Ventajas del AVC.....	17
2.8.3. Categorías de impacto.....	17
2.8.3.1. Agotamiento de recursos abióticos	18
2.8.3.2. Calentamiento global	18
2.8.3.3. Acidificación	19
2.8.3.4. Eutrofización	19
2.8.3.5. Agotamiento de capa de ozono	20
2.8.3.6. Formación de oxidación fotoquímica.....	20
2.9. Revisión bibliográfica	20
CAPÍTULO 3.....	23
3.1. Objetivo y alcance.....	23
3.1.1. Objetivos.....	23
3.1.2. Alcance	23
3.1.2.1. Unidad funcional	23

3.1.2.2. Límites del sistema	23
3.1.2.3. Requerimiento de calidad de datos	25
3.2. Descripción de procesos y flujos de materiales en la producción de maracuyá	26
3.2.1. Etapa de Siembra	26
3.2.1.1. Siembra de plantines en vivero	26
3.2.1.2. Preparación de terreno de siembra	26
3.2.1.3. Siembra	27
3.2.2. Etapa de Mantenimiento de Cultivo.....	27
3.2.2.1. Riego	27
3.2.2.2. Fertilización	29
3.2.2.3. Control de plagas	29
3.2.2.4. Control de malezas	30
3.2.3. Etapa de cosecha y distribución	31
3.2.3.1. Cosecha y embarque en camión	31
3.2.3.2. Distribución	31
CAPÍTULO 4.....	32
4.1. Base de datos.....	32
4.2. Elaboración de inventario de ciclo de vida para Etapa de Siembra	32
4.2.1. Semillas.....	33
4.2.2. Fundas	33
4.2.3. Tierra y estiércol para sustrato.....	33
4.2.4. Estacas.....	33
4.2.5. Alambre.....	34
4.3. Elaboración de inventario de ciclo de vida para Etapa de Mantenimiento de Cultivo.....	34
4.3.1. Elaboración de inventario para proceso de Riego	34
4.3.1.1. Agua	34

4.3.1.2. Diésel y gasolina	35
4.3.1.3. Emisiones por combustibles en bombas de riego.....	35
4.3.2. Elaboración de inventario para proceso de Fertilización	36
4.3.3. Elaboración de inventario para proceso de Control de Plagas y para Control de Malezas	38
4.4. Elaboración de inventario de ciclo de vida para Etapa de Cosecha y Distribución.	39
4.5. Elaboración de inventario de emisiones de suelo por uso de fertilizantes	40
4.5.1. Métodos de estimación de emisiones por uso de fertilizantes	41
4.5.1.1. Cálculo de emisiones de N ₂ O.....	41
4.5.1.2. Cálculo de emisiones de NO _x	44
4.5.1.3. Cálculo de emisiones de NH ₃	45
4.5.1.4. Cálculo de emisiones de NO ₃	46
4.5.1.5. Cálculo de emisiones de PO ₄	48
4.6. Inventario de ciclo de vida y procesos en base de datos utilizados.	49
CAPÍTULO 5.....	54
5.1. Método de Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida y categorías de impacto	54
5.2. Resultados de Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida	54
5.2.1. Contribución por etapa de ciclo de vida a los resultados	55
5.2.2. Resultados de caracterización de la Etapa de Siembra y contribución de procesos	57
5.2.3. Resultados de caracterización de la Etapa de Mantenimiento de Cultivo y contribución de procesos	59
5.2.3.1. Contribución al proceso de control de plagas	61
5.2.3.2. Contribución al proceso de riego	62
5.2.3.3. Contribución al proceso de fertilización	63

5.2.4. Resultados de caracterización de la Etapa de Cosecha y Distribución y contribución de procesos	64
5.2.5. Resultados de caracterización de emisiones del suelo de la etapa de siembra y de la etapa de mantenimiento de cultivo.....	65
5.2.5.1. Contribución por tipo de emisión al total de emisiones de suelo	67
5.2.5.2. Contribución de las emisiones al impacto de ciclo de vida total de 1 tonelada de maracuyá.	68
5.3. Posibles mejoras del impacto de ciclo de vida del maracuyá	69
CAPÍTULO 6.....	71
6.1. Conclusiones.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Consumo de combustible (diésel y gasolina) para el año 2017 para el total de área cultivada.....	28
Tabla 2: Datos proporcionados de aplicación de fertilizantes en el cultivo de maracuyá.	29
Tabla 3: Cantidad de agroquímicos y orgánicos aplicados en control de plagas y malezas 2017 año/hectárea.....	31
Tabla 4: Consumo de combustibles por unidad funcional para el riego.	35
Tabla 5: Estimación de emisiones por combustión de diésel y gasolina.	36
Tabla 6: Inventario de uso de fórmulas de fertilizantes.....	37
Tabla 7: Cantidad de fertilizante de N, de fosfato y de potasio por unidad funcional.	38
Tabla 8: Inventario de ciclo de vida de los procesos Control de Plagas y Control de Malezas.	39
Tabla 9: Descripción de emisiones por uso de fertilizantes	41
Tabla 10: Factores de emisión de IPCC para N ₂ O.	42
Tabla 11: Fórmula para calcular emisiones de N ₂ O y cantidad de emisiones estimada.....	44
Tabla 12. Emisiones de NO _x por uso de fertilizantes sintéticos y estiércol. .	45
Tabla 13: Emisiones de NH ₃ por uso de fertilizantes sintéticos y estiércol...	46
Tabla 14: Balance de N y emisiones de NO ₃ por uso de fertilizantes sintéticos y estiércol.....	48
Tabla 15: Inventario de ciclo de vida de la etapa de siembra.....	50
Tabla 16: Inventario de ciclo de vida de la etapa de mantenimiento de cultivo.	52
Tabla 17: Inventario de ciclo de vida de la etapa de cosecha y distribución.	52
Tabla 18: Total de emisiones por combustión en la etapa de riego.	52

Tabla 19: Inventario de ciclo de vida de emisiones del suelo por fertilizantes orgánicos y sintéticos.	53
Tabla 20: Categorías de impacto seleccionadas.....	54
Tabla 21: Resultados totales de caracterización para la unidad funcional, “1 ton de maracuyá”.....	55
Tabla 22: Resultados de caracterización de la etapa de siembra.....	57
<i>Tabla 23: Resultados de caracterización de la etapa de mantenimiento de cultivo.</i>	59
<i>Tabla 24: Resultados de caracterización de la etapa de cosecha y distribución.....</i>	65
<i>Tabla 25: Resultados de caracterización de emisiones de suelo en etapa de siembra y en proceso de fertilización.</i>	66

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Emisiones de N₂O durante la nitrificación y des-nitrificación de fuentes nitrogenadas, incluyendo la mineralización de residuos vegetales y estiércol.</i>	14
Figura 2: Límites del sistema para la producción de 1 tonelada de maracuyá.	25
Figura 3: Descripción de nivel de lluvias en Santa Elena, Ecuador.	29
Figura 4: Contribución de las etapas de ciclo de vida a los resultados totales por categoría de impacto.	56
<i>Figura 5: Contribución al impacto de ciclo de vida de los elementos de la etapa de siembra.</i>	58
Figura 6: Contribución al impacto de ciclo de vida de los procesos que conforman la etapa de mantenimiento de cultivo.	61
Figura 7: Contribución al impacto de ciclo de vida de los plaguicidas utilizados en el proceso de control de plagas.	62
Figura 8: Contribución al impacto de ciclo de vida de los combustibles utilizados para las bombas de riego.	63
Figura 9: Contribución al impacto del proceso de fertilización de los fertilizantes utilizados y de las emisiones de suelo.	64
Figura 10: Contribución de las emisiones de suelo por etapa.	67
Figura 11: Contribución por tipo de emisión al total de emisiones de suelo.	68
Figura 12: Contribución de las emisiones de suelo al total del impacto de ciclo de vida de 1 tonelada de maracuyá.	69

CAPÍTULO 1

1.1. Introducción

La industria agrícola es un pilar fundamental de la economía del Ecuador (Monteros, Sumba, & Salvador, 2014), la cual cobra más importancia debido al descenso del valor referencial del petróleo, y por la búsqueda de nuevas alternativas de ingreso económico, se apuesta en el crecimiento de la agricultura. En el Ecuador los principales productos agrícolas son: banano, cacao, arroz, caña de azúcar, maíz y frutas acidas (limón, piña, naranja, maracuyá, etc.). Estas últimas por su naturaleza exótica y tropical son cotizadas en el mercado internacional, teniendo una aceptación y exigencia en sectores norteamericanos y europeos.

Debido a esto, Ecuador lidera como principal país productor y exportador de estos frutos tropicales en Latinoamérica, seguido por Brasil (INEC, 2014). Las bases de datos del MAGAP indican que, para el año 2013, existieron 3888 hectáreas dedicadas al cultivo de maracuyá (INEC, 2014). En el país, casi la totalidad de la producción de maracuyá se destina a la producción de concentrado de la fruta para exportación (Borrero, 2015).

Para poder intervenir en mercados de EE.UU. y Europa, las exigencias legales y ambientales son sumamente estrictas en la cadena productiva de este sector agrícola (FAO, 2017). Por lo tanto se desea establecer una evaluación de la producción agrícola de maracuyá en una granja de la provincia de Santa Elena, teniendo como eje fundamental la herramienta denominada análisis de ciclo de vida, basado en la normativa ISO 14040-2001 e ISO 14044-2006. Por el creciente daño ambiental por actividades industriales y agrícolas se ha implementado esta

herramienta que colabora con la identificación y evaluaciones entradas y salidas del sistema productivo de una actividad.

Al tener una cantidad sectorial significativa en el Ecuador y una importancia como materia prima para productos de exportación, se procederá a realizar este proyecto para la evaluación del impacto ambiental de la producción de maracuyá en una finca en el sector de Santa Elena. Se cuantificará el impacto ambiental y se identificarán puntos críticos en su proceso de producción.

1.2. Planteamiento del Problema

La variedad de productos en el sector agrícola, además de su crecimiento como fuente de ingreso económico nacional, implica la sobreexplotación del mercado, cuyas acciones obligan al uso de tecnologías agresivas para aumentar el coeficiente de kilogramos de producto/hectárea cultivada, esto direcciona a prácticas agrícolas no amigables para el medio ambiente. Para cuestionar esta hipótesis se propone realizar la cuantificación de impactos ambientales potenciales asociados a la actividad agrícola como lo es la producción agrícola de maracuyá, tomando como un sector referencial la provincia de Santa Elena, ayudados con la herramienta de Análisis de Ciclo de Vida (ACV).

1.3. Justificación

Habiendo identificado la problemática del proyecto y con la información recolectada de la producción agrícola de maracuyá en una finca de la provincia de Santa Elena, se pretende lograr la identificación de entradas y salidas de los procesos de las diferentes etapas de producción agrícola del maracuyá, para así poder evaluar los impactos ambientales, identificar los puntos críticos de cada etapa y entender cómo se pueden establecer mejoras en el desempeño ambiental de este producto.

Siendo ACV una herramienta basada en las Normativas International Organization for Standarization (ISO) 14040-2001 e ISO 14044-2006, de carácter voluntaria, ayuda a la toma de decisiones en lo que respecta calidad, rentabilidad y sostenibilidad de la producción, siendo esto una ventaja para ingresar al mercado Norteamericano y Europeo, los cuales son precursores del cuidado ambiental. La implementación de las normas ISO 14040-2001 e ISO 14044-2006 ayudará al mejoramiento y optimización de recursos, identificando tecnologías agrícolas compatibles con el ambiente.

1.4. Alcance

El presente proyecto tiene como finalidad la identificación de los principales impactos ambientales del sector agrícola referente a la producción de maracuyá en una granja de la Provincia de Santa Elena. Además, su aplicación puede dirigirse a cualquier sector agrícola con la posibilidad de la adaptabilidad que está basada en el eje fundamental de producción agrícola que contempla las siguientes fases comunes: siembra, cosecha, distribución.

1.5. Objetivo General

Cuantificar el desempeño ambiental de la producción agrícola de maracuyá e identificar los procesos con la mayor contribución de impacto ambiental, en una finca de la Provincia de Santa Elena, como herramienta de evaluación del impacto.

1.6. Objetivos Específicos

Identificación de etapas del proceso de la producción agrícola de maracuyá, visitando fincas del sector Santa Elena.

Cuantificar los flujos de inventario representativos de las entradas y salidas a partir de la recopilación de datos para cada etapa de los distintos procesos agrícolas del maracuyá.

Categorizar los impactos ambientales con la utilización de ACV en la producción agrícola de la fruta, y poder determinar los procesos más relevantes.

A través de los resultados de caracterización de impactos ambientales identificar posibles medidas de optimización de uso de recursos e insumos.

CAPÍTULO 2

2.1. Agricultura y producción agrícola

La agricultura es el conjunto de actividades y técnicas que el humano utiliza para transformar el medio ambiente con el objetivo de que este sea más apto para el crecimiento de las siembras. Es el “arte de cultivar la tierra”, e incluye los trabajos hechos para mejorar el suelo y para cultivar y cosechar vegetales. Esta actividad muy importante para el desarrollo y riqueza de las naciones (Sáenz, 2010).

La producción agrícola Se refiere a toda la producción que generan las actividades agrícolas, haciendo referencia a los productos y beneficios obtenidos de esta. Es una de las principales fuentes de ingreso y es la actividad de subsistencia más antigua del planeta tierra para los seres humanos, y una de las actividades fundamentales y sustento de la economía de muchos países de las diferentes regiones del planeta. En el caso de Ecuador, la agricultura es un eje fundamental de la economía (Monteros et al., 2014).

La producción agrícola es un compendio de muchas variables algunas controlables y otras independientes, se tiene que tener en cuenta ciclos vitales del cultivo, también factores climáticos, que la gran mayoría de veces se tiene este factor en contra de la producción agrícola, se tiene que considerar costo-beneficio, espacio físico de almacenamiento, tiempos de maduración o de vida útil del producto, control de plagas locales y propias del cultivo y por último en el balance financiero se refleje el retorno de utilidad de la inversión.

2.2. Tipos de Producción Agrícola

La producción agrícola se realiza de distintas formas, por tal motivo para su mejor estudio se segmentaron de acuerdo a los siguientes criterios (Sáenz, 2010):

- Según dependencia de agua.

- Según magnitud de producción
- De acuerdo al rendimiento
- Según metodología.

2.2.1. Según dependencia de agua

En esta categorización la producción agrícola se subdivide según su disponibilidad de agua por lo tanto se tendría estas dos subcategorías:

- **Secano:** Es donde el agua de riego para cultivos se obtiene de a partir de lluvias o el suelo, sin intervención del agricultor.
- **Regadío:** Es aquella producción agrícola donde el riego para el cultivo es suministrado por el agricultor, es decir que el agua es captada en los cultivos, mediante cauces, canales, naturales o artificiales canalizados por el agricultor.

2.2.2. Según Magnitud de producción

En la categoría de producción agrícola según magnitud de producción se refiere al mercado que se va a destinar la producción, en este caso se tiene dos subcategorías que son:

- **Producción Subsistencia:** En esta categoría o tipo de producción agrícola tiene como finalidad cubrir las necesidades de grupos de individuos considerados pequeños, por tal motivo la producción va a realizar en pequeñas escalas.
- **Producción Industrial:** La magnitud de cantidades producidas es inmensas debido a que están dirigidas a la comercialización en el sector industrial y a

un mercado de interacción entre importaciones y exportaciones, siendo principal pilar en países que están en la vía del desarrollo industrial agrícola.

2.2.3. De acuerdo al rendimiento

Esta división de producción agrícola se enfoca en la relación del uso del suelo en contraste por las unidades producidas, subdividiendo en dos categorías:

- **Producción Intensiva:** se visualiza más en los países industrializados, tiene como objetivo tener una mayor cantidad de unidades de producción en reducidas áreas de cultivo, teniendo como efecto secundario el desgaste del suelo, y produciendo el deterioro y erosión de este.
- **Producción Extensiva:** Esta práctica de producción agrícola es más amigable con el medio ambiente debido a que se emplean amplias superficies de cultivos para la producción, disminuyendo así el deterioro del suelo, aunque el retorno de utilidades es menor.

2.2.4. Según Metodología

En esta categorización se visualiza los métodos, de acuerdo a la factibilidad tecnológica para la producción del cultivo logrando tres subdivisiones principales:

- **Producción agrícola tradicional:** Es aquella donde su producción es promovida por métodos convencionales propios de lugar, y su tiempo de cosecha son prolongados debido a la metodología utilizada.
- **Producción agrícola industrial:** Este método va de la mano con la producción intensiva, su objetivo es obtener mayor rentabilidad con la utilización de agroquímicos para una mayor eficiencia en las unidades de producción por hectárea cultivada.

- **Producción agrícola ecológica:** El método se refiere a la utilización de productos amigables al ambiente, cuidando la fertilidad del suelo, minimizando el impacto ambiental, y logrando una producción agrícola que no afecte a las zonas ecológicas de la localidad del cultivo.

2.3. El cultivo de maracuyá

El maracuyá proviene de la familia Passiflora, es considerada una fruta tropical y exótica, de la cual existen 400 variedades conocidas. La información detallada de este cultivo que se presenta en esta sección fue tomada del documento “Cultivo de Maracuyá (*Passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa* Deg.)” (Amaya, 2009).

2.3.1. Origen

La planta es originaria del sector amazónico del país Brasil, pasando su distribución a Australia, y teniendo como un segundo sector de transición a Hawai. En el presente los países que cultivan este fruto cítrico tropical son: Australia, Nueva Guinea, Sud-África, India, Taiwan, Hawai, Brasil, Perú, Ecuador, Venezuela y Colombia.

2.3.2. Clasificación Taxonómica:

Viene de la especie *Edulis*, del género *Passiflora*, perteneciente a la familia *Passifloraceae*, siendo plantas angiospermas, de la división *Espermatofita*.

2.3.3. Características Morfológicas:

En la presente sección se procederá a describir las características morfológicas de la planta.

2.3.3.1. Planta

Es una planta trepadora, leñosa, logrando un largo de hasta 20 metros aproximadamente, sus tallos presentan coloración verdosa, presentan colgantes espirales axilares que son envolventes, y su longitud es mayor que de las hojas.

2.3.3.2. Las Hojas

Su coloración verdosa brillante, con tallos lisos marcados en la parte superior, posee 2 productores de néctar en la parte inferior del folio, la lámina foliar es palmípeda y cuenta con 3 lóbulos.

2.3.3.3. Las Flores

Son únicas y axilares, aromáticas y llamativas. Son provistas de cinco pétalos y una corona de filamentos, su combinación de colores distintivos es el purpura en la parte inferior y blanquecina en el ápice, contiene un de 5 estambres y 3 estigmas.

2.3.3.4. El Fruto

Su forma es de una baya abultada o de forma ovalada, cuya coloración se encuentra entre un rojizo fuerte a un amarillo en el caso de llegar a su madurez, posee semillas carnosas con olor característico, su tamaño se encuentra promedio entre 5.80 a 7.2 cm de diámetro y entre 5 a 12.5 cm de longitud. El fruto está identificado bajo 3 partes: exocarpio, mesocarpio y endocarpio.

El exocarpio es la cascara o coraza del fruto, tiene apariencia lisa y su cubita consta de una cera que le ayuda al esplendor de su brillo. Su coloración varía desde el color verdoso, al amarillo en el momento que llega a su maduración.

El mesocarpio es la capa que se encuentra debajo del exocarpio tiene apariencia porosa y suave, de color blanco, su principal componente es la pectina, que ayuda a su estructura sólida, tiene un espesor cercano a los seis milímetros, cuya capa en unión con el agua, se ablanda con mayor facilidad.

El endocarpio es la envoltura de las semillas que presentan una coloración parda oscura. En el mismo se encuentra el jugo que posee un color amarillo débil, su sabor es muy ácido, además de que su olor es fácil identificación y de un sabor atractivo.

2.3.3.5. Variedades Comerciales

Dentro de las divisiones del maracuyá existen algunas especies que son de mayor comercialización, a estas se les denomina variedades comerciales, las cuales pueden desarrollarse hasta los 1200 msnm, siendo Ecuador un país que posee zonas que contemplan este requisito se puede cultivar la especie *Passiflora edulis* var *Flavicarpa*, cuyos frutos son de cascara amarilla, sobre esta variedad se va a enfocar el estudio del presente proyecto.

2.4. Nutrientes necesarios en la agricultura y sus funciones

Las plantas absorben y utilizan diversos nutrientes del suelo. Existen macronutrientes (primarios y secundarios) y micronutrientes (IFA, 2002). Los macronutrientes son requeridos por la planta en grandes cantidades y los micronutrientes en cantidades minúsculas. Los macronutrientes primarios son el nitrógeno, el fósforo y el potasio.

El nitrógeno (N) propicia el crecimiento de la planta, ya que está involucrado en los procesos principales de desarrollo de las plantas y ayuda a la absorción de otros nutrientes. Se absorbe del suelo en sus formas de nitratos (NO_3) y de amonio (NH_4).

El fósforo (P) es esencial para la fotosíntesis y para diversos procesos químico-fisiológicos. Este nutriente juega un papel importante en la transferencia de energía.

El potasio (K) activa las enzimas, que son las sustancias químicas que regulan la vida. Juega un papel vital en la síntesis de carbohidratos y proteínas, y además

mejora la absorción de agua de la planta y su tolerancia al estrés hídrico. (IFA, 2002)

Hay también nutrientes secundarios, como el magnesio (Mg), azufre (S) o calcio (Ca). El Mg es el constituyente principal de la clorofila y es importante en las reacciones enzimáticas de transferencia de energía de la planta. El S es un constituyente importante de las proteínas y tiene que ver con la formación de clorofila. El Ca es importante para el crecimiento de las raíces. La mayoría de los suelos tienen suficiente disponibilidad de este nutriente.

Micronutrientes, como el hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl), y boro (B) son parte de sustancias claves involucradas en el crecimiento de la planta. Sin embargo, son absorbidos en minúsculas cantidades y pueden ser tóxicos en cantidades un poco elevadas (IFA, 2002).

2.5. Fertilizantes

La IFA (IFA, 2002) define al fertilizante, como “cualquier material natural o industrializado, que contenga al menos cinco por ciento o más de los tres nutrientes primarios: N, P₂O₅ y K₂O”. Los fertilizantes elaborados industrialmente se llaman fertilizantes minerales. El uso integrado de fertilizantes proporciona a las plantas la cantidad necesaria de nutrientes y en forma equilibrada. La mejor manera de lograr una correcta nutrición de la planta, suficiente y equilibrada, es mediante el uso de fertilizantes NPK. Estos fertilizantes tienen algunas ventajas notables para el agricultor: facilidad de manipulación, fácil aplicación, fertilización equilibrada, alta eficiencia, distribución uniforme de nutrientes, etc. (IFA, 2002).

Debido al aumento de población y el aumento en la demanda de alimentos, la productividad agrícola debe aumentar consecuentemente. Los fertilizantes se utilizan con el objetivo de tener mayores rendimientos en los cultivos y cubrir la creciente demanda de productos agrícolas. Los fertilizantes se utilizan también cuando, luego de realizar los respectivos análisis de suelo, se determina que los nutrientes disponibles en el suelo no son suficientes (IFA, 2002).

2.6. Pesticidas

Los pesticidas son sustancias utilizadas para combatir plagas o pestes. En este contexto, las plagas son organismos nocivos para cultivos o frutos almacenados que afectan el rendimiento agrícola. Son también llamados plaguicidas, y pueden ser sustancias químicas orgánicas, inorgánicas o microbiológicas, en forma sólida o líquida, y producen efectos tóxicos en los organismos considerados plagas (Bedmar, 2011).

Las principales plagas agrícolas son las malezas que usan nutrientes y disminuyen su disponibilidad para las plantas cultivadas, insectos que se alimentan de los cultivos, y agentes patógenos que producen enfermedades como hongos, virus y bacterias (Bedmar, 2011).

2.7. Emisiones del suelo debido a la aplicación de fertilizantes.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO por sus siglas en inglés) estima que las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes de las actividades agrícolas se han prácticamente duplicado en los últimos cincuenta años, y tienden a ir en aumento en las próximas décadas. Desde el 2001 hasta el 2011, las emisiones agrícolas, han aumentado en un 14%, produciéndose este incremento principalmente en países de desarrollo. Luego de la fermentación del estiércol, las emisiones durante la aplicación de fertilizantes sintéticos son las más importantes dentro de la actividad agrícola (Tubiello, 2014).

Las emisiones debido al uso de fertilizantes nitrogenados comprenden principalmente óxido nitroso (N_2O), amoníaco (NH_3), nitrato (NO_3) y óxidos de nitrógeno (NO_x). Los fertilizantes de fósforo generan también emisiones de fosfatos.

2.7.1. Emisiones de NH_3

Aproximadamente el 90% de las emisiones del gas volátil amoniacó están relacionadas a la agricultura. Entre las fuentes más importantes de emisiones de amoniacó se encuentran los procesos biológicos de descomposición de residuos orgánicos y el uso de fertilizantes nitrogenados en la agricultura. La exposición a altas concentraciones de amoniacó puede causar diversos daños a la salud humana. En lo que respeta al medio ambiente, el amoniacó es biodegradable y las plantas lo absorben sin dificultad del suelo porque es un nutriente importante para su crecimiento, sin embargo, altas concentraciones de amoniacó en aguas superficiales puede ser nociva para los seres vivos porque interfiere en el transporte de oxígeno (PRTR, 2017a). El gas amoniacó volatizado puede tomar varias formas y puede actuar siendo un precursor de N_2O y NO . Este último puede reaccionar en la estratósfera y debilitar la capa de ozono y acidificar el ambiente, por ejemplo mediante la lluvia ácida en forma de ácido nítrico (Garzón & Cárdenas, 2013).

2.7.2. Emisiones de N_2O

El óxido nítrico es el gas de efecto invernadero más importante producido por las actividades agrícolas (Peñaloza, 2017). Este gas tiene un efecto invernadero 265 veces mayor al del dióxido de carbono (CO_2) (Myhre et al., 2013). Esto significa que, a pesar de que el nivel de emisiones de N_2O sea bajo, puede causar grandes efectos de calentamiento global.

Las emisiones de N_2O son parte del ciclo de nitrógeno, ya que se produce naturalmente en suelos mediante los procesos de nitrificación y desnitrificación. La nitrificación es la oxidación aeróbica microbológica del amonio a nitrato, y la desnitrificación es la reducción microbológica anaeróbica del nitrato a gas de nitrógeno (N_2). El óxido nítrico es un intermediario gaseoso en la reacción de desnitrificación y un co-producto de la nitrificación. La disponibilidad de nitrógeno en el suelo es un factor principal en estas reacciones (De Klein et al., 2006). Las fuentes nitrogenadas como el estiércol, la biomasa y fertilizantes nitrogenados sintéticos contribuyen a la emisión de N_2O en la agricultura, ya que en cada aplicación aumentan la disponibilidad de nitrógeno en el suelo. En la figura 1 se

observan los procesos químicos de nitrificación y desnitrificación que generan emisiones de N_2O .

Las emisiones de N_2O se producen de manera directa e indirecta. Las emisiones por vía directa provienen del suelo al que se ha agregado o se ha liberado N. Las emisiones indirectas se producen por dos vías: por volatilización de NH_3 y NO_x del suelo, y por lixiviación y escurrimiento de N, principalmente como NO_3 (De Klein et al., 2006).

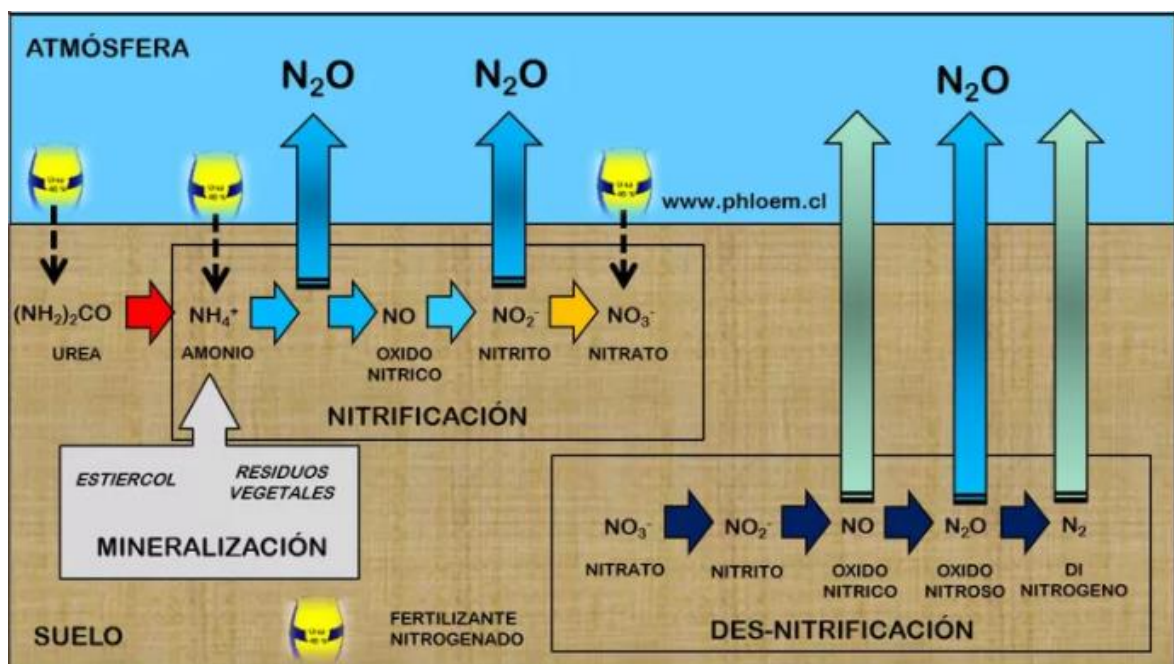


Figura 1: Emisiones de N_2O durante la nitrificación y des-nitrificación de fuentes nitrogenadas, incluyendo la mineralización de residuos vegetales y estiércol.

Tomado de: (Peñaloza, 2017)

2.7.3. Emisiones de NO_x

Los NO_x son combinaciones de óxido nítrico (NO) y dióxido de nitrógeno (NO_2). Son sustancias que con efectos nocivos sobre la salud humana y el medio ambiente. Por ejemplo, la inhalación de grandes concentraciones de NO_x puede causar edemas, y una exposición prolongada puede afectar al sistema inmunológico y al pulmón. En lo que tiene que ver con el medio ambiente, presenta un alto potencial **FCNM**

de formación de smog fotoquímico, el que, al combinarse con contaminantes como los compuestos orgánicos volátiles, participa en la formación de ozono en la tropósfera. El NO_2 tiene una vida corta y se oxida rápidamente a nitratos o ácido nítrico, dando lugar a la acidificación. Algunas fuentes de NO_x son: la combustión de combustibles fósiles y procesos biológicos de los suelos que producen la emisión de NO_2 por parte de los microorganismos (PRTR, 2017b).

2.7.4. Emisiones de NO_3

Es uno de los compuestos nitrogenados más estables en condiciones naturales y en concentraciones elevadas puede causar efectos nocivos en el ser humano y también en el medio ambiente. Este compuesto influye en el efecto de eutrofización (Muñoz, Ruiz, Antigüedad, Martínez, & Uriarte, s/f).

2.7.5. Emisiones de fosfatos

Los cultivos son una fuente importante de emisiones de fosfatos. Estas emisiones pueden recorrer largas distancias y expandirse cuando se encuentran en las superficies de las aguas. Debido a la adición antropocéntrica de fosfatos, el ciclo del fósforo se ve alterado. El incremento de fósforo en cuerpos de agua, aumenta las poblaciones de organismos como las algas, que dependen de la disponibilidad de fósforo. Al crecer estos organismos, necesitan cantidades importantes de oxígeno y no permiten que la luz solar llegue a las profundidades del agua. Esto hace el ecosistema acuático afectado, nocivo para otras formas de vida. Este fenómeno es el conocido como eutrofización (Lenntech, 2018).

2.8. Análisis de Ciclo de Vida

El análisis de ciclo de vida es una técnica para el estudio y evaluación cuantitativa de aspectos e impactos ambientales identificables que están relacionados al ciclo de vida de un producto. El ciclo de vida corresponde a un conjunto de procesos unitarios conectados de forma material y energética, desde la extracción de la materia prima requerida, pasando por la producción, y, en algunos casos llegando

hasta la utilización y disposición final del producto. En esta herramienta se recopila información que permita elaborar el inventario de entradas y salidas del sistema de producción de interés, para luego evaluar los impactos ambientales relacionados al mismo e interpretar los resultados obtenidos. La elaboración del análisis de ciclo de vida se basa en las normativas ISO 14040 y 14044 (ISO 14040, 2006; ISO 14044, 2006).

2.8.1. Fases del ACV

El ACV sigue las siguientes fases:

- Definición de objetivo y alcance
- Inventario de Ciclo de Vida
- Evaluación de Impacto Ambiental
- Interpretación

2.8.1.1. Definición de Objetivos y alcance

Se define el objetivo del ACV y se detalla el sistema evaluado. La definición de los límites del sistema incluye la determinación de los procesos a evaluar y la esquematización de las entradas y salidas de materias primas y energía de cada uno. Se definen los límites temporales y geográficos del estudio, es decir, durante qué periodo de tiempo se recolecta información y en qué lugar se realizan los procesos a evaluar. Durante esta fase de ACV se define también la unidad funcional. La unidad funcional es la unidad referencial en función de la cual se calcula el inventario de ciclo de vida y los impactos ambientales.

2.8.1.2. Análisis de Inventario de ciclo de vida

En esta segunda fase del ACV se determinan todas las entradas y salidas en cada proceso incluido en el ciclo de vida del producto analizado. Para esto, se realiza el

levantamiento de información de materias primas, energía, residuos y emisiones para cada proceso. La información debe proceder de fuentes confiables.

2.8.1.3. Evaluación de Impacto Ambiental

Para la evaluación de impacto de ciclo de vida se seleccionan categorías de impacto adecuadas al objetivo y alcance del estudio, y mediante un método de cálculo confiable se determinan los impactos ambientales para cada una. A partir de esto se obtienen los resultados del ACV.

2.8.1.4. Interpretación

En esta fase se analizan los resultados y se interpretan en función del objetivo. Se identifican los procesos críticos y se pueden proponer medidas de control para mejorar el desempeño ambiental del producto analizado mediante la optimización de los procesos críticos.

2.8.2. Ventajas del AVC

La aplicación de esta herramienta tiene algunas ventajas, tales como:

- Identificación de las oportunidades de mejora para un desempeño ambiental óptimo en el diseño y elaboración de un producto.
- Obtención de información ambiental importante para la canalización de decisiones que comprometan al producto para su mejor rendimiento.
- Siendo el ACV apoyada bajo las normativas antes mencionadas, se puede utilizar en el marketing para comercializar al producto como un reivindicador ambiental, sumando a la calidad del producto.
- Es una herramienta que se puede integrar a otros subsistemas de calidad como son la ISO 9001, 14001, 18001.

2.8.3. Categorías de impacto

La selección de categorías de impacto es necesaria para la cuantificación de los impactos ambientales de forma consistente. Se recomienda la selección de categorías de impacto que cuenten con un consenso internacional, como las que serán descritas a continuación.

2.8.3.1. Agotamiento de recursos abióticos

El agotamiento de recursos abióticos es la disminución de la disponibilidad de la reserva total de los recursos, lo que compromete el uso potencial de los mismos por parte de futuras generaciones. El agotamiento de recursos abióticos incluye recursos abióticos renovables y no-renovables, pero (Oers, Koning, Ginée, & Huppés, 2002) considera solo a los recursos no-renovables. Esta categoría de impacto tiene que ver con la extracción de recursos minerales de la tierra, tales como el mineral de cobre, de plata, de zinc, etc., y también tiene que ver con la extracción de combustibles fósiles. La extracción de estos recursos disminuye su disponibilidad en depósitos. Se divide esta categoría en dos, debido a: la pérdida de la disponibilidad de elementos naturales y la pérdida de la disponibilidad de energía fósil.

2.8.3.2. Calentamiento global

Se refiere al efecto de incremento de temperatura en la parte baja de la atmósfera, conocido como efecto invernadero. La atmósfera es naturalmente calentada por la radiación que viene del sol. Parte de la radiación solar que llega a la atmósfera es reflejada al espacio, y otra parte es absorbida por gases de efecto invernadero. Algunas posibles consecuencias del calentamiento incluyen el derretimiento de glaciares polares y de montaña, lo que implica un aumento en el nivel del mar, y cambios climáticos regionales. El aumento de temperatura global durante el último siglo es considerado un hecho. Las sustancias que contribuyen a esta categoría de impacto son las que absorben radiación infrarroja, se degradan a CO₂, o tienen un tiempo de vida atmosférico suficiente para generar el efecto de calentamiento global. Entre estas sustancias se encuentran el CO₂, el metano (CH₄), N₂O, los

clorofluorocarbonos (CFCs), monóxido de carbono (CO), etc. Los efectos de todas estas sustancias son expresados relativamente al efecto que genera el CO₂, en unidades de CO₂ equivalentes (Stranddorf, Hoffmann, & Schmidt, 2005).

2.8.3.3. Acidificación

La acidificación es un efecto regional. Es causada por liberación de protones en los ecosistemas y se manifiesta, por ejemplo, a través de las lluvias ácidas y la consiguiente degradación de la vegetación. En sistemas acuáticos se presentan en forma de cuerpos de agua ácidos. Las sustancias principales que contribuyen a la acidificación son: óxidos de azufre (SO_x), NO_x y amoníaco (NH₃). Las sustancias que contribuyen a la acidificación son las que resultan en un suministro de iones de hidrógeno (H⁺) en el ambiente o en el lixiviado de los aniones correspondientes desde el sistema analizado. El potencial de acidificación se mide en función del dióxido de azufre (SO₂) en unidades de SO₂ eq. (Stranddorf et al., 2005).

2.8.3.4. Eutrofización

La eutrofización es el enriquecimiento de ecosistemas acuáticos con nutrientes, lo cual lleva a una sobreproducción de plancton, algas y otras plantas acuáticas. Esto, a su vez, genera una reducción en la calidad del agua. Las algas se hunden hasta el fondo de los cuerpos de agua, y se descomponen consumiendo el oxígeno disponible en la parte profunda. De esta forma, el fondo del agua se queda con una concentración reducida de oxígeno, lo que conlleva a la muerte de los organismos que habitan a esa profundidad. Los efectos nocivos de las altas concentraciones de nutrientes han sido observados en lagos por mucho tiempo.

Los compuestos de nitrógeno y fósforo son los principales factores en la eutrofización, ya que estos son elementos limitantes para el crecimiento de los productores primarios. La mayoría del nitrógeno que ingresa a cuerpos de agua proviene de lixiviados de zonas agrícolas, siendo el uso de fertilizantes nitrogenados y el ganado el principal factor de esta emisión. Por otro lado, la mayoría del fósforo proviene de efluentes industriales y aguas servidas, siendo la

industria de los fertilizantes y otras industrias químicas, contribuyentes principales de esta emisión (Stranddorf et al., 2005).

2.8.3.5. Agotamiento de capa de ozono

Se refiere a la concentración del compuesto de oxígeno reactivo ozono (O_3), la cual es especialmente alta en la estratósfera. Las moléculas de ozono actúan como filtros de radiación, es decir, absorben grandes cantidades de la radiación ultravioleta que la atmósfera recibe del sol, removiendo de esta manera las radiaciones ultravioletas nocivas. La reducción de la concentración de ozono en la estratósfera tendrá probablemente efectos serios en la vida en la superficie del planeta, ya que puede causar daños a plantas, animales y humanos. Algunas de las sustancias que participan en la descomposición del ozono, disminuyendo su concentración en la estratósfera, son: compuestos de cloro y bromo, CH_4 , N_2O , vapor de agua, etc. El agotamiento de la capa de ozono se describe relativamente al efecto de agotamiento de ozono causado por el CFC-11 (Stranddorf et al., 2005).

2.8.3.6. Formación de oxidación fotoquímica

El ozono se forma en la tropósfera mediante la influencia de la luz solar cuando óxidos de nitrógeno se encuentran presentes. El ozono presente en la tropósfera, es decir a nivel de superficie terrestre, es reconocido como un peligro ambiental a nivel regional. En altas concentraciones es peligrosos para la salud humana, pero a bajas concentraciones ya causa daños a la vegetación, por lo que es una amenaza a la producción agrícola, que afectaría incluso a la economía. Las sustancias precursoras del ozono en la tropósfera son NO_x , químicos orgánicos volátiles y el CO_2 . El potencial de formación de oxidación fotoquímica se mide en cantidad de etileno equivalente (C_2H_4 eq.) (Stranddorf et al., 2005).

2.9. Revisión bibliográfica

El análisis de ciclo de vida de girasol y canola como fuente de energía fue elaborado para las condiciones de Chile. Este análisis incluyó la preparación del terreno, la

siembra y mantenimiento y la cosecha. También fueron incluidas las emisiones de suelo de N_2O , NO_x , NH_3 , NO_3 y PO_4 por aplicación de fertilizantes, para las que se utilizaron varios métodos de cálculo. El estudio analizó también la demanda de energía y agua para la producción de estos cultivos. Se concluyó que las emisiones debido al uso de fertilizantes causan la mayor contribución en las categorías de acidificación, eutrofización y calentamiento global y que el impacto ambiental en el calentamiento global es sensitivo a la variación de las emisiones de N_2O (Iriarte, Rieradevall, & Gabarrell, 2010).

En el estudio (Brentrup, Küsters, Lammel, & Kuhlmann, 2000) se estudiaron algunos métodos para la estimación de emisiones de suelo de nitrógeno provenientes de los cultivos en el sector agrícola. Las emisiones incluidas en este estudio son las de NO_3 , NH_3 y N_2O .

En el estudio de (Roy et al., 2009), se concluye que la herramienta análisis de ciclo de vida es muy útil para evaluar los impactos ambientales y la seguridad alimentaria de los productos alimenticios. También recomienda que, aparte de la aplicación de análisis de ciclo de vida, se estandarice un índice específico para productos alimentarios que permita la comparación directa de varios casos de estudio.

El estudio de (Meisterling, Samaras, & Schweizer, 2009) se comparó el potencial de calentamiento global y el uso de energía del cultivo convencional de trigo y el cultivo orgánico del mismo. El calentamiento global de 1 kg de barra de pan de trigo orgánico resultó ser 30 g CO_2 eq. menor que el de trigo convencional. La mejora en el impacto ambiental del cultivo orgánico también dependió de la distancia de distribución, ya que, si el trigo orgánico es transportado 420 km más lejos que el convencional, ambos tendrían similares impactos de calentamiento global. También se reportó que los resultados pueden cambiar dependiendo de las emisiones de N_2O de ambos sistemas. La incertidumbre ligada a las emisiones de N_2O y captación de carbono en el suelo hace difícil determinar definitivamente cual es mejor en cuestión de emisiones de CO_2 .

En el estudio de (Romero-Gómez, Audsley, & Suárez-Rey, 2014) se hizo el análisis de ciclo de vida del cultivo de lechuga la escarola, ambas hortalizas, en España. El cultivo de escarola tuvo impactos más altos debido a que para este cultivo hubo menos rendimiento comercial. Los resultados mostraron que los impactos ambientales principales fueron debido a las estructuras, equipos auxiliares y fertilizantes. Los invernaderos fueron los que más impacto ambiental presentaron en todas las categorías en ambos cultivos, debido a la estructura del invernadero. Por esto, la mejora en el diseño de esta estructura y del sistema de riego podría mejorar el desempeño ambiental de los cultivos. Sin embargo, la reducción y optimización del uso de fertilizantes nitrogenados fue considerada la forma más efectiva de disminuir los impactos ambientales de los cultivos, y lo tanto se debería considerar una prioridad.

CAPÍTULO 3

En el presente capítulo se define el objetivo y alcance del análisis de ciclo de vida, se explica detalladamente el funcionamiento del sistema a analizar y la forma de obtención de datos y se muestran los datos brutos obtenidos para para proceso.

3.1. Objetivo y alcance

3.1.1. Objetivos

Cuantificar el impacto de ciclo de vida de la producción de maracuyá en la provincia de Santa Elena, Ecuador.

Identificar las etapas y procesos que presentan una mayor contribución al impacto ambiental del maracuyá.

3.1.2. Alcance

3.1.2.1. Unidad funcional

La unidad funcional se define como “1 tonelada de maracuyá”. Este maracuyá es producido en la parroquia Julio Moreno, de la provincia de Santa Elena, en Ecuador.

La finca donde se produce es de aproximadamente 200 hectáreas en total, de las cuales aproximadamente 100 hectáreas son las dedicadas al cultivo del maracuyá.

La finca reporta una producción por hectárea de entre 18 a 20 toneladas de maracuyá cada año, por lo que se define que la cantidad producida es 19 t/ha de maracuyás cada año.

3.1.2.2. Límites del sistema

Los límites del sistema indican las etapas del ciclo vida y los procesos que son incluidos en el cálculo de impactos ambientales. Para el análisis de ciclo de vida del maracuyá se considerarán 3 etapas, las cuales son: Etapa de Siembra, Etapa de Mantenimiento de Cultivo, Etapa de Cosecha y Distribución. Cada una de estas etapas contiene varios procesos. Esto se encuentra en la Figura 2.

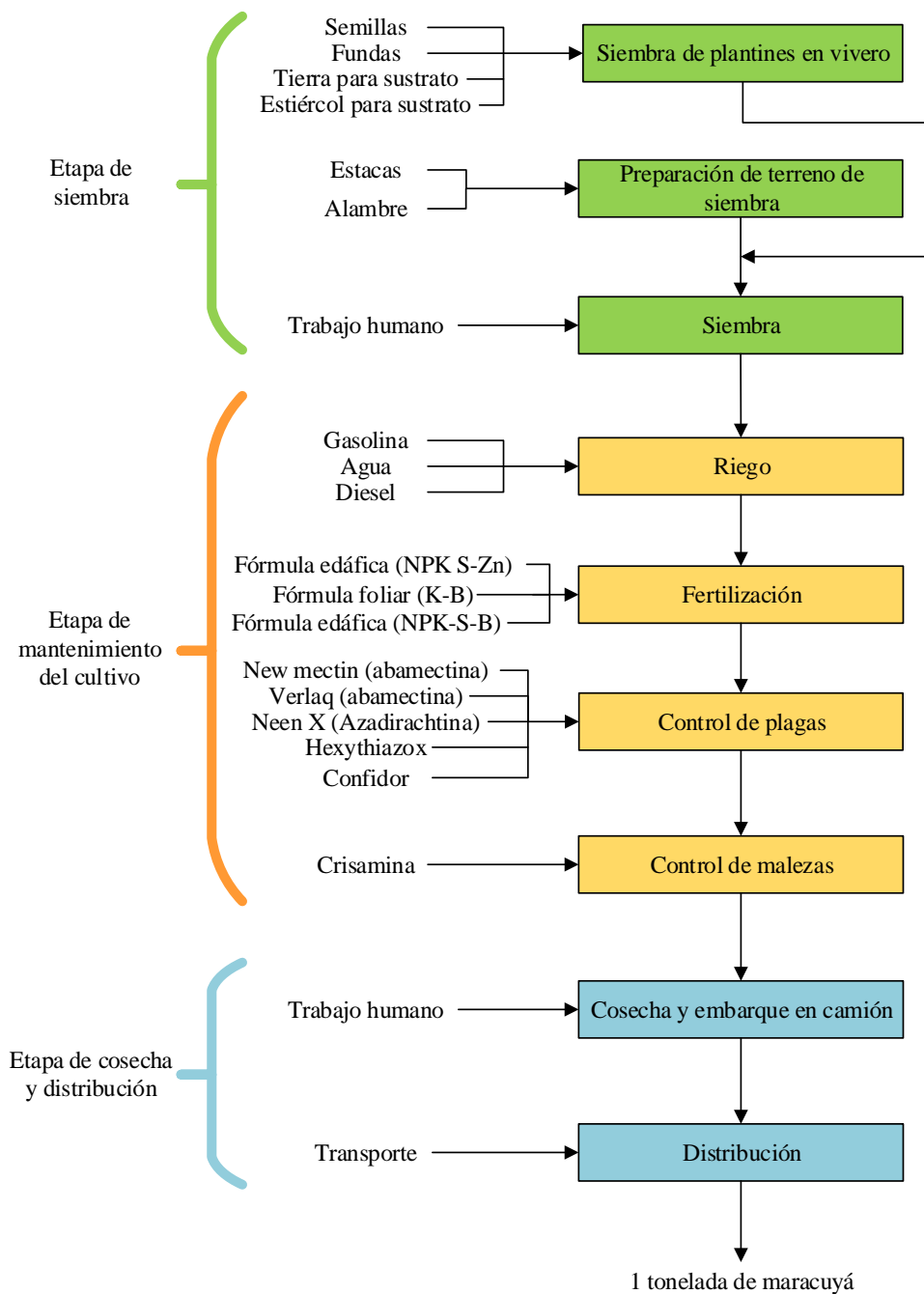


Figura 2: Límites del sistema para la producción de maracuyá.

Fuente: Finca

Elaborado por autor

3.1.2.3. Requerimiento de calidad de datos

Los procesos considerados para la producción de maracuyá corresponden a los procesos utilizados en la finca y se explican a continuación. Todos los datos de producción para cada proceso fueron provistos por la finca. Las plantas de maracuyá tienen una vida productiva de aproximadamente 3 años.

3.2. Descripción de procesos y flujos de materiales en la producción de maracuyá

3.2.1. Etapa de Siembra

3.2.1.1. Siembra de plántines en vivero

Este proceso incluye la preparación del sustrato para los semilleros y plántines, llenar las fundas con sustrato y colocar las semillas. El sustrato está compuesto por 70% de tierra y 30% de estiércol de vaca. Para una hectárea se utilizan 667 fundas y 3 semillas se colocan en cada una de ellas, para asegurar su debida germinación.

Luego de eso, viene el primer periodo de crecimiento, de 40 a 60 días, hasta ser sembradas en su lugar definitivo.

3.2.1.2. Preparación de terreno de siembra

Incluye la limpieza del terreno a cultivar, el desbroce del área, señalar los lugares de colocación de estacas, hacer huecos para colocar estacas, colocación y templado de alambre. Se colocan las estacas y alambres porque el maracuyá es una planta trepadora. Para una hectárea se requieren 667 estacas y alrededor de 33 anclas. La siembra se hace en una distribución de 3 x 5 metros.

3.2.1.3. Siembra

Incluye hacer huecos en el suelo y la siembra de cada planta. Este trabajo es hecho por obreros, sin utilizar ningún tipo de maquinaria. Es decir, la única entrada en este proceso es el trabajo humano.

3.2.2. Etapa de Mantenimiento de Cultivo

3.2.2.1. Riego

El riego es importante, ya que el cultivo aquí descrito se encuentra en un área de clima seco. Las precipitaciones promedio en Santa Elena son de 155mm por año (Climate Data, 2018), lo que es un valor muy bajo.

Se utiliza un sistema de riego por goteo y la cantidad de agua utilizada es de alrededor de 1,2 m³ por hectárea al mes.

El agua utilizada proviene del Rio Cachul, por medio del trasvase de la represa Chongón al embalse el Azúcar. La distancia por la que el agua es bombeada es de aproximadamente 2,5 km.

Debido al bombeo, el proceso de riego requiere el uso de combustibles, como el diésel y la gasolina. El contacto de la finca proporcionó los datos promedio de uso de combustible para cada mes del año 2017. Estos valores corresponden al requerimiento de riego para toda el área cultivada, es decir, para 100 hectáreas. Dicha información se muestra en la tabla 1.

En la tabla 1 se puede ver una variación en la cantidad de diésel. Los 4 primeros meses del año se utilizan en promedio 100 galones al mes, mientras que el resto del año se reportan 1000 galones al mes. Esto es porque los 4 primeros meses del año son los que reciben casi la totalidad de lluvias anuales, como se muestra en la figura 3.

Mes (año 2017)	Cantidad Diésel	Cantidad gasolina
Enero	100 gal	12 gal
Febrero	100 gal	12 gal
Marzo	100 gal	12 gal
Abril	100 gal	12 gal
Mayo	1000 gal	12 gal
Junio	1000 gal	12 gal
Julio	1000 gal	12 gal
Agosto	1000 gal	12 gal
Septiembre	1000 gal	12 gal
Octubre	1000 gal	12 gal
Noviembre	1000 gal	12 gal
Diciembre	1000 gal	12 gal

Tabla 1: Consumo de combustible (diésel y gasolina) para el año 2017 para el total de área cultivada.

Fuente: Finca

Elaborado por autor

La aplicación de nutrientes para fertilizar depende de los requerimientos del cultivo, de la remoción de nutrientes y de la disponibilidad de nutrientes en el suelo. En este caso, se aplican 3 fórmulas de fertilizantes en distintas etapas de cultivo. Se realiza una aplicación edáfica de tipo nitrógeno-fósforo-potasio (NPK) con micronutrientes (azufre y zinc) al momento del trasplante (F1), una sola vez durante la vida de la planta. Luego, a partir del segundo año, es decir durante el año 2 y el año 3, se realizan aplicaciones edáficas y foliares periódicas cada 3 meses. Las aplicaciones foliares son de potasio y boro (F2) y las aplicaciones edáficas son NPK con micronutrientes (F3). La descripción de las aplicaciones de fertilizantes se muestra en la tabla 2.

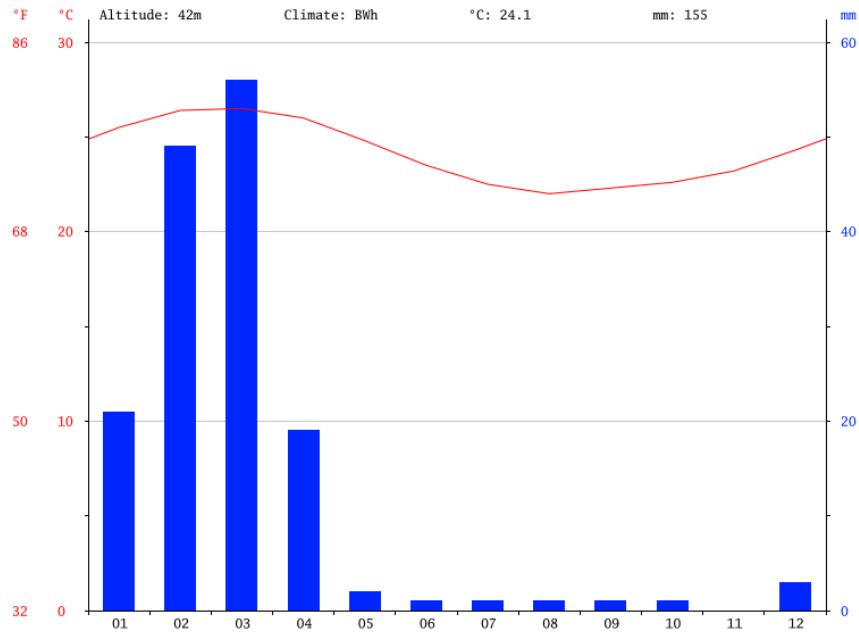


Figura 3: Descripción de nivel de lluvias en Santa Elena, Ecuador.

Fuente: (Climate Data, 2018)

3.2.2.2. Fertilización

Tipo	Fórmula	Aplicación	Cantidad
Edáfica	F1: NPK-Zn-S	Una sola vez al momento del trasplante	400 Kg/ha
Foliar	F2: K-B	Durante el 2do y 3er año, una vez cada 3 meses	1 Kg/ha cada 3 meses
Edáfica	F3: NPK-S-B	3 meses, es decir 4 veces al año	200 Kg/ha cada 3 meses

Tabla 2: Datos proporcionados de aplicación de fertilizantes en el cultivo de maracuyá.

Fuente: Finca

Elaborado por autor

3.2.2.3. Control de plagas

Para el control de plagas se utilizan algunas sustancias, tanto inorgánicas (agroquímicos) como orgánicas. Las aplicaciones para control de plagas se realizan a lo largo del año, dependiendo de los requerimientos del cultivo. Para el control de plagas se utilizan los siguientes agroquímicos: abamectina (nombres comerciales: New Mectin y Verlaq), hexythiazox e imidacloprid (nombre comercial: Confidor). También se aplica un insecticida de origen natural: azadirachtina, cuyo nombre comercial es Neem X. La cantidad de insecticidas aplicados a lo largo del año 2017 por cada hectárea se muestra en la tabla 3.

3.2.2.4. Control de malezas

Para el control de malezas se utiliza el herbicida agroquímico Crisamina. La cantidad aplicada para el año 2017 por cada hectárea se muestra en la tabla 3. Se observa que este agroquímico es aplicado desde enero, es decir coincidiendo con la época de lluvias, en la cual el crecimiento de la maleza es importante.

Mes (año 2017)	Sustancia	Cantidad
Enero	Crisamina	500 lts/ha
Febrero	Neem X – Azadirachtina	30 lts/ha
Marzo		
Abril		
Mayo		
Junio	Confidor – imidacloprid	10 lts/ha
Julio		
Agosto		
Septiembre	Verlaq – abamectina	10 lts/ha
Octubre	New mectin – abamectina	10 lts/ha
Noviembre	Hexythiazox	5 kg/ha

Diciembre

Tabla 3: Cantidad de agroquímicos y orgánicos aplicados en control de plagas y malezas 2017 año/hectárea.

Fuente: Finca

Elaborado por autor

3.2.3. Etapa de cosecha y distribución

3.2.3.1. Cosecha y embarque en camión

La cosecha y embarque del maracuyá es realizado por obreros sin utilizar ningún tipo de maquinaria. Por lo tanto, la única entrada en este proceso es el trabajo humano.

3.2.3.2. Distribución

La distribución se considera como el transporte de los maracuyás desde la finca donde se producen, hasta la fábrica en donde se procesa. Dicha fábrica es el destino de toda la producción de la finca. Las instalaciones de la fábrica se encuentran en el Km 4 vía a Daule. Con esta ubicación, se estimó la distancia desde la finca a la fábrica, como aproximadamente 100 km. La fruta es transportada en un camión pequeño.

CAPÍTULO 4

Para el cálculo de los impactos ambientales, se debe obtener el valor de las entradas de cada material y de las emisiones debido a la aplicación de fertilizantes en función de la producción de 1 tonelada de maracuyá, es decir, la unidad funcional. La determinación del valor de los flujos y emisiones por unidad funcional se describe en esta sección.

Para la elaboración el inventario de ciclo de vida, la Etapa de Siembra será considerada un solo proceso. También así la Etapa de Cosecha y Distribución. La Etapa de Mantenimiento de Cultivo estará compuesta de los siguientes procesos: Riego, Fertilización, Control de Plagas y Control de Malezas.

4.1. Base de datos

Las bases de datos utilizadas para el inventario de ciclo de vida son Ecoinvent 3 (Wenet et al., 2016), Agri-footprint (Agri-footprint, 2014) y USLCI (NREL, 2012).

4.2. Elaboración de inventario de ciclo de vida para Etapa de Siembra

Las entradas para esta etapa corresponden a: semillas, fundas, tierra, excremento de vaca, estacas, alambre y trabajo humano. El trabajo humano no será considerado como una entrada de inventario porque no generará impacto según los parámetros analizados en este estudio. Además, en esta etapa se considera ocupación de suelo en función de las toneladas producidas por hectárea. Siendo $1\text{ha}=10,000\text{ m}^2$, la ocupación de suelo es $526\text{ m}^2/\text{UF}$.

4.2.1. Semillas

Se reportan que se utilizan 3 semillas en cada funda. Teniendo 667 fundas, en total son 2001 semillas/ha, lo que equivale a 105 semillas/UF.

En las bases de datos no se encontraron semillas de maracuyá, por lo que se consideraron semillas de maíz. Se estimó que 105 semillas tienen un peso de aproximadamente 50 gramos.

4.2.2. Fundas

Se utilizan 667 fundas por hectárea, y teniendo en cuenta la producción por hectárea de maracuyá, equivale a 35 fundas/UF. Se asume que las fundas están hechas de plástico PVC, y que cada una tiene un peso de 10 g cuando se encuentran vacías. En total son 350 g/UF de plástico PVC.

4.2.3. Tierra y estiércol para sustrato

Se utilizan 2 lb de sustrato por cada funda. Teniendo en cuenta la cantidad de fundas por unidad funcional (35 fundas/UF) se obtienen 70 lb/UF de sustrato. De este sustrato, el 70% corresponde a tierra y el 30% a estiércol de vaca, es decir, 49 lb/UF de tierra y 21 lb/UF de estiércol.

4.2.4. Estacas

Se asumen estacas de 1,5 m de altura y de 7 cm de diámetro. Esto corresponde aproximadamente con las características de las estacas observadas en la finca. Para calcular la cantidad de estacas por unidad funcional se consideró la cantidad de estacas por hectárea (667 estacas/ha) y la producción anual por hectárea de 19 toneladas de maracuyá: 35 estacas/UF.

Considerando la densidad de la madera de 450 Kg/m^3 , se calcula el volumen de cada estaca ($0,00577 \text{ m}^3$). Además, se asume que las estacas tienen una duración de 3 años. Con esto se obtiene la cantidad de madera por unidad funcional: 30 Kg/UF de madera.

4.2.5. Alambre

Se considera el uso de alambre de aluminio. Para calcular la cantidad de alambre de aluminio por unidad funcional, se calculó primero la longitud total de alambre por unidad funcional, teniendo en cuenta la distribución de cultivo de $3 \times 5 \text{ m}$. La siembra se hace en hileras separadas 5 m entre sí, y en las hileras las plantas se siembran con una separación de 3 m . Se considera el cálculo para una hectárea cuadrada de 100 m de lado. En total esto equivale a 105 m/UF de alambre.

Para calcular la cantidad de aluminio, se asume un diámetro de $1,5 \text{ mm}$. Además, se asume que los alambres son utilizados 3 años seguidos. Con esto se calcula el volumen total por unidad funcional (0.0000618 m^3). Teniendo el aluminio una densidad de 2700 Kg/m^3 , la cantidad de aluminio por unidad funcional es: 0.17 Kg/UF .

4.3. Elaboración de inventario de ciclo de vida para Etapa de Mantenimiento de Cultivo.

4.3.1. Elaboración de inventario para proceso de Riego

Las entradas para este proceso son: agua, diésel, gasolina y las emisiones por combustión de diésel y gasolina.

4.3.1.1. Agua

Teniendo en cuenta el dato de 1.2 m³/ha mensual y la producción de 19 t/ha anual, se requiere la transformación del valor a la unidad funcional, lo que da como resultado: 0.76 m³/UF.

4.3.1.2. Diésel y gasolina

En la tabla 1 se muestra el consumo mensual de diésel y gasolina por el año 2017 para toda el área cultivada. A partir de estos valores se calcula el consumo por unidad funcional. Ya que los datos fueron proporcionados en galones, se realiza una conversión, primero a m³, luego a Kg utilizando el dato de densidad de cada combustible. Esto se muestra en la tabla 4.

Combustible	Consumo por año por 100 Ha (gal/año)	Consumo por Ha (gal)	Consumo por unidad funcional (gal/UF)	Conversión a m³	Densidad (Kg/m³)	Consumo por UF (Kg/UF)
Diésel	8400	84	4,42	1 gal=	832	13.92
Gasolina	144	1.44	0.076	0.00379m ³	680	0.195

Tabla 4: Consumo de combustibles por unidad funcional para el riego.

Fuente: Finca

Elaborado por autor

4.3.1.3. Emisiones por combustibles en bombas de riego

Al momento de la combustión del diésel y gasolina para bombear el agua desde la fuente hasta el área cultivada para el riego, se generan emisiones de gases de efecto invernadero. Las emisiones consideradas, según (Gómez et al., 2006), son CO₂, CH₄ y N₂O. El método de estimar estas emisiones consiste en los factores de emisión propuestos por la IPCC, los cuales se muestran en la tabla 5 (Gómez et al., 2006). Los factores de emisión se encuentran en unidades de Kg de emisión por TJ de energía generada por el combustible (Kg/TJ). Por lo tanto, se debe

transformar la cantidad de combustibles, mostrada en la tabla 4, a la energía equivalente. Para esto se utiliza el valor del poder calorífico inferior del combustible, que es la cantidad de energía que puede entregar la combustión de cada uno. Para el diésel el poder calorífico es 43 MJ/Kg, y para la gasolina es 42.5 MJ/Kg (antoniolima.com, 2018). Multiplicando esto por la cantidad de combustible se tiene la cantidad de energía en MJ. Teniendo en cuenta que 1TJ es igual a 1×10^6 MJ, se realizan los cálculos. En la tabla 5 se muestran también las emisiones por la combustión de diésel y gasolina.

Combustible	Energía (MJ)	Gas de efecto invernadero	Factor de emisión (Kg/TJ)	Emisión por combustión por unidad funcional	Unidad
		CO ₂	74,100.00	44.37	Kg CO ₂ /UF
Diésel	598.70	CH ₄	10.00	5.99E-03	Kg CH ₄ /UF
		N ₂ O	0.60	3.59E-04	Kg N ₂ O/UF
		CO ₂	69,300.00	0.57	Kg CO ₂ /UF
Gasolina	8.30	CH ₄	10.00	8.29E-05	Kg CH ₄ /UF
		N ₂ O	0.60	4.97E-06	Kg N ₂ O/UF

Tabla 5: Estimación de emisiones por combustión de diésel y gasolina.

Fuente: (Gómez et al., 2006)

Elaborado por autor

4.3.2. Elaboración de inventario para proceso de Fertilización

Para el cálculo de la cantidad de fertilizantes se toma en cuenta la cantidad aplicada por hectárea, cada cuanto tiempo se aplica, el tiempo de vida productiva de las plantas (3 años), durante cuánto tiempo se aplica y la producción por hectárea (19 t/ha). F1 se aplica una sola vez durante la vida productiva de la planta y F2 y F3 se aplican 4 veces al año durante el segundo y tercer año de vida productiva de la planta. El cálculo por unidad funcional de las fórmulas fertilizantes está en la tabla 6.

Fórmula	Aplicación		
F1: NPK-Zn-S	Aplicación total	400.00	Kg/ha
	Por UF	7.02	Kg/UF
	Aplicación 4 veces al año, durante 2 años	1.00	lt/ha
F2: K-B	Aplicación total	8.00	lt/ha
	Por UF	0.14	Kg/UF
	Aplicación 4 veces al año, durante 2 años	200.00	Kg/ha
F3: NPK-S-B	Aplicación total	1,600.00	Kg/ha
	Por UF	28.07	Kg/UF

Tabla 6: Inventario de uso de fórmulas de fertilizantes.

Fuente: Finca
 Elaborado por autor

En los fertilizantes F1 y F3, de tipo NPK, y el F2 de potasio, no se consideran los micronutrientes Zn, S, y B, ya que estos se aplican en cantidades y concentraciones muy bajas y no son considerados en la base de datos utilizada (Nemecek et al., 2007).

Para los fertilizantes NPK, se consideran cantidades iguales de N, P y K. Es decir, tomando en cuenta las cantidades de cada fórmula por unidad funcional, se determina la cantidad de fertilizante de N, fertilizante de P y fertilizante de K para este proceso. Esto es lo que se ingresará en el programa para la evaluación de

ciclo de vida. La cantidad de fertilizantes de N, de fosfato y de potasio se observa en la tabla 7.

Fórmula fertilizante	Cantidad de fórmula por UF	Cantidad de fertilizante de N (Kg/UF)	Cantidad de fertilizante de fosfato (Kg/UF)	Cantidad de fertilizante de potasio (Kg/UF)
F1: NPK	7.02 Kg/UF	2.34	2.34	2.34
F2: K	0.14 Kg/UF	-	-	0.14
F3: NPK	28.07 Kg/UF	9.36	9.36	9.36
Total		11.70 Kg/UF	11.70 Kg/UF	11.84 kg/UF

*Tabla 7: Cantidad de fertilizante de N, de fosfato y de potasio por unidad funcional.
 Fuente: Finca
 Elaborado por autor*

4.3.3. Elaboración de inventario para proceso de Control de Plagas y para Control de Malezas

Los valores proporcionados de uso de insecticidas y herbicidas deben ser transformados a la unidad funcional. Además, los valores proporcionados para casi todas estas sustancias se encuentran en unidad de volumen (litros), sin embargo, para realizar los cálculos se necesita convertir estos valores a kg. Para esto se buscó la densidad de cada sustancia y se realizó la conversión.

Teniendo en cuenta los datos proporcionados, la producción por hectárea y la densidad de cada sustancia, se muestra la conversión a unidades de masa por unidad funcional en la tabla 8.

Proceso	Sustancia	Cantidad por UF (lts/UF)	Densidad (Kg/m³)	En unidad de masa (Kg/UF)
Control de plagas	New mectin (abamectina)	0.53	965	0.48
	Verlaq (abamectina)	0.53	965	0.48
	Neem X (Azadirachtina)	1.58	842	1.35
	Hexythiazox	-	-	0.26
Control de malezas	Confidor (Imidacloprid)	0.53	1540	0.77
	Crisamina	26.30	600	15.78

Tabla 8: Inventario de ciclo de vida de los procesos Control de Plagas y Control de Malezas.

Fuente: Finca
Elaborado por autor

4.4. Elaboración de inventario de ciclo de vida para Etapa de Cosecha y Distribución.

Las entradas para esta etapa corresponden al trabajo humano para cosechar las frutas y luego embarcarlas a un camión, y su posterior transporte al lugar donde la producción es distribuida. El trabajo humano no es considerado para el cálculo de impacto ambiental, por lo que el único proceso en esta etapa es la distribución.

La distancia estimada de transporte es de 100 km. Para calcular el impacto ambiental, se debe expresar en unidades de transporte, como toneladas kilómetros (tkm). Por lo tanto, la distribución de 1 tonelada de maracuyá a una distancia de 100 km, equivale a 100 tkm de transporte. Para la distribución de maracuyá se utilizan camiones de 4,5 toneladas de capacidad.

4.5. Elaboración de inventario de emisiones de suelo por uso de fertilizantes

La aplicación de fertilizantes se realiza en la etapa de siembra y en el proceso de fertilización. En la etapa de siembra se utiliza el estiércol de vaca para la germinación de las semillas y la nutrición de la planta durante las primeras semanas de desarrollo.

En el proceso de fertilización en la etapa de mantenimiento de cultivo se aplican fertilizantes sintéticos NPK y K para la nutrición de la planta durante la vida productiva. Las emisiones de suelo a considerarse son: N₂O, NO_x, NH₃, NO₃ y PO₄. Estas emisiones se describen en la tabla 9.

Emisión	Descripción
N ₂ O	Directa Desde el suelo por nitrificación y desnitrificación.
	Indirecta Derivada de la deposición atmosférica por volatización de NH ₃ y NO _x .
	Indirecta Derivada de la lixiviación y escurrimiento de NO ₃ principalmente.
	Es una emisión al aire. Es un gas de efecto invernadero 265 veces superior al efecto del CO ₂ .

NO _x	Son emisiones al aire. Se volatizan a partir de los procesos de nitrificación y desnitrificación. Depende de la disponibilidad de N en el
NH ₃	suelo, que es aumentada por la adición de fertilizantes nitrogenados. Se lixivia a través del suelo y puede llegar hasta aguas subterráneas y contaminar cuerpos de agua. Es tóxico. Depende de la textura del
NO ₃	suelo, las precipitaciones anuales y las entradas de N al suelo (fertilizantes, fijación biológica, etc.) y de las salidas (remoción de N por cosecha, emisiones de N ₂ O, NH ₃ , etc.).
PO ₄	Causa eutrofización del agua. Hay distintas vías de emisiones de fosfatos, en este caso solo hay emisión de fosfatos por lixiviación hasta cuerpos de agua subterráneos.

Tabla 9: Descripción de emisiones por uso de fertilizantes
Fuente: (Brentrup et al., 2000; De Klein et al., 2006; Nemecek et al., 2007)
Elaborado por autor

4.5.1. Métodos de estimación de emisiones por uso de fertilizantes

Para estimar las emisiones mencionadas se utilizan distintos métodos. Para las emisiones de N₂O se utilizaron los factores de emisión del IPCC (De Klein et al., 2006), para las emisiones de NO_x la fórmula de (Nemecek et al., 2007), para las emisiones de NH₃ se utilizaron los factores de emisión de (Asman, 1992) presentados en el reporte 15 de Ecoinvent (Nemecek et al., 2007), para las emisiones de NO₃ se utilizó el método de (Brentrup et al., 2000) y para las emisiones de PO₄ se utilizó el método de (Prasuhn, 2006) presentado en (Nemecek et al., 2007).

4.5.1.1. Cálculo de emisiones de N₂

El método IPCC se basa en la cantidad de fertilizantes orgánicos y sintéticos, la cantidad de residuos agrícolas y la cantidad de N mineralizado. En este caso, la cantidad de residuos agrícolas y de N mineralizado es cero. Por lo tanto, para las

emisiones directas se multiplica el factor de emisión (FE₁) por la cantidad de fertilizante mineral u orgánico.

Para las emisiones indirectas se selecciona un factor de emisión (EF₄ y EF₅) y una fracción (Fracc volatilización y Fracc lixiviación), tanto para las emisiones indirectas por volatilización y por lixiviación. Estos valores de la fracción por volatilización son diferentes para los fertilizantes sintéticos (0.10) y orgánicos (0.20), mientras que para la emisión indirecta por lixiviación no se encuentran valores de fracción que sean distintos en los fertilizantes orgánicos y sintéticos, utilizando un solo valor (0.30). En la tabla 10 se muestran los valores de estos factores obtenidos de documento de IPCC.

Tipo de emisión		Factor	Valor
Emisiones directas	EF ₁		0.01
	EF ₄ (emisión por volatilización)		0.01
	EF ₅ (emisión por lixiviación)		0.0075
Emisiones indirectas	Fracc-vfs (volatilización de fertilizante sintético)		0.10
	Fracc-ve (volatilización de estiércol)		0.20
	Fracc-lix (lixiviación)		0.30

Tabla 10: Factores de emisión de IPCC para N₂O.

Fuente: (De Klein et al., 2006, p. 26)

Elaborado por autor

Las fórmulas para el cálculo de las emisiones directas e indirectas basadas en el documento del IPCC **(3.1) – (3.11)** (De Klein et al., 2006) y la cantidad de emisiones para el estiércol y los fertilizantes sintéticos se presentan en la tabla 11.

Emisiones	Fórmula	Resultado	Unidades
-----------	---------	-----------	----------

Emisiones directas	$N_2O - N_{directas} = EF_1 * (Fsn + Forg)$ (3.1)	
por estiércol	$N_2O - N_{direct} = EF_1 * Forg$ (3.2)	0.095 Kg N ₂ O-N
por fertilizantes sintéticos	$N_2O - N_{direct} = EF_1 * Fsn$ (3.3)	0.117 Kg N ₂ O-N
Emisiones indirectas por volatilización	$N_2O - N_{vol} = EF_4 * (Fracc_{vsf} * Fsn + Fracc_{ve} * Forg)$ (3.4)	
por estiércol	$N_2O - N_{vol} = EF_4 * Fracc_{ve} * Forg$ (3.5)	0.010 Kg N ₂ O-N
por fertilizantes sintéticos	$N_2O - N_{vol} = EF_4 * Fracc_{vsf} * Fsn$ (3.6)	0.012 Kg N ₂ O-N
Emisiones indirectas por lixiviado	$N_2O - N_{lix} = EF_5 * Fracc_{lix} * (Fsn + Forg)$ (3.7)	
por estiércol	$N_2O - N_{lix} = EF_5 * Fracc_{lix} * Forg$ (3.8)	0.021 Kg N ₂ O-N
por fertilizantes sintéticos	$N_2O - N_{lix} = EF_5 * Fracc_{lix} * Fsn$ (3.9)	0.026 Kg N ₂ O-N

Total	$N_2O - N_{direct} + N_2O - N_{vol} + N_2O - N_{lix}$	
	(3.10)	
por estiércol		0.126 Kg N ₂ O-N
por fertilizantes sintéticos		0.155 Kg N ₂ O-N
Transformación N ₂ O-N a N ₂ O	$N_2O = \frac{44}{28} * N_2O - N$	
	(3.11)	
Total, N₂O por estiércol		0.199 Kg N ₂ O/UF
Total, N₂O por fertilizantes sintéticos		0.244 Kg N ₂ O/UF

Tabla 11: Fórmula para calcular emisiones de N₂O y cantidad de emisiones estimada.
 Fuente: (De Klein et al., 2006, p. 26)
 Elaborado por autor

Las variables de las ecuaciones **(3.1)** – **(3.11)** son las siguientes:

F_{sn}: cantidad de fertilizante nitrogenado sintético.

F_{org}: cantidad de fertilizante orgánico nitrogenado, es decir, estiércol.

N₂O-N: cantidad de nitrógeno en el N₂O.

N₂O: cantidad de N₂O.

4.5.1.2. Cálculo de emisiones de NO_x

Las emisiones de NO_x son estimadas a partir de las emisiones de N₂O mediante la ecuación **(3.12)** (Nemecek et al., 2007).

$$Kg\ NO_x = 0,21 * Kg\ N_2O$$

(3.12)

La ecuación **(3.12)** no es una conversión de N₂O a NO_x, sino que ambas emisiones ocurren paralelamente (Nemecek et al., 2007). En la tabla 12 se presentan las emisiones de NO_x para la etapa de siembra, el proceso de fertilización y el total.

Emisiones de NO_x	Resultado	Unidades
Por estiércol	0.042	Kg NO _x /UF
Por uso de fertilizantes sintéticos	0.051	Kg NO _x /UF
Total	0.093	Kg NO _x /UF

Tabla 12. Emisiones de NO_x por uso de fertilizantes sintéticos y estiércol.
 Fuente: Resultados
 Elaborado por autor

4.5.1.3. Cálculo de emisiones de NH₃

Las emisiones de NH₃ por la aplicación se estiércol se calculan mediante la ecuación **(3.13)** (Nemecek et al., 2007).

$$NH_3\ (estiércol) = \frac{17}{14} * (0,787 * TAN * M + 0,757) * 0,75$$

(3.13)

Las variables de la ecuación **(3.13)** son:

NH₃ (estiércol): Emisión de NH₃ por aplicación de estiércol.

TAN: Contenido total de amonio-N (NH₄-N) en el estiércol.

M: Cantidad de estiércol.

El contenido de NH₄-N en el estiércol de vaca (TAN) es 3 libras en cada tonelada en promedio (Manitoba, 2015). Es decir, TAN=0,00136 Kg NH₄/Kg estiércol.

Para los fertilizantes sintéticos NPK se utiliza un factor de emisión de 4% (Asman, 1992) y se calcula mediante la ecuación **(3.14)**.

$$NH_{3(NPK)} = FE_{NH_3} * F_{NPK}$$

Las variables de la ecuación **(3.14)** son:

NH_{3(NPK)}: Emisión de NH₃ por aplicación de fertilizante NPK.

FE_{NH₃}: Factor de emisión de NH₃ (4%).

F_{NPK}: Cantidad de fertilizante NPK.

En la tabla 13 se presentan las emisiones de NH₃ para la etapa de siembra, el proceso de fertilización y el total.

Emisiones de NH₃	Resultado	Unidades
Por estiércol	0.699	Kg NH ₃ /UF
Por uso de fertilizantes sintéticos	1.704	Kg NH ₃ /UF
Total	2.403	Kg NH ₃ /UF

Tabla 13: Emisiones de NH₃ por uso de fertilizantes sintéticos y estiércol.

*Fuente: Resultados
Elaborado por autor*

4.5.1.4. Cálculo de emisiones de NO₃

Las emisiones de NO₃ se calculan en base al total de fertilizantes aplicados, ya que para esta emisión se debe considerar el balance neto de N del cultivo, es decir, la diferencia entre la entrada y la salida netas de nitrógeno.

Las entradas de nitrógeno corresponden al estiércol y los fertilizantes sintéticos aplicados, la fijación biológica de N, la deposición atmosférica y la mineralización neta. De estos, la fijación biológica de N es cero porque no hay cultivos que fijen N. La deposición atmosférica y la mineralización neta se asumen en cero.

Las salidas de N corresponden a la remoción de N en la cosecha y las emisiones de NH₃-N y N₂O-N. La remoción de N en un cultivo de maracuyá de 20 t/ha es 160 Kg (Amaya, 2009). Tomando en cuenta este valor, la remoción de N por tonelada es de 8 kg. Ya que la unidad funcional es 1 tonelada, la remoción de N es 8 kg/UF. Las emisiones de NH₃-N y N₂O-N se calculan sumando las emisiones calculadas anteriormente, y las emisiones de N₂-N corresponden a 0.09 veces la cantidad de fertilizante de N que ingresa al sistema (Brentrup et al., 2000).

El balance neto representa la disponibilidad de N en el suelo, lo que genera las emisiones de NO₃-N totales. Este valor, que representa la cantidad de N en el NO₃, debe ser convertido a cantidad de NO₃. El peso atómico del N es 14, mientras que el del O que es 16, multiplicado por 3 es 48. Por lo tanto, la cantidad de NO₃-N debe multiplicarse por 66/14 para tener como resultado la cantidad de NO₃. Para calcular la cantidad que le corresponde al uso de estiércol y a los fertilizantes sintéticos se toma en cuenta la proporción de cada uno al total de la entrada de nitrógeno.

En la tabla 14 se presenta el cálculo según el método de (Brentrup et al., 2000) y la cantidad de emisiones de NO₃ resultantes.

Entradas y salidas de N	Cantidad	Unidad
Entradas de N		
Estiércol	9.55	Kg/UF

Fertilizantes sintéticos	11.70	Kg/UF
Total, entrada N	21.24	Kg/UF
Proporción de estiércol/total entrada	45%	
Proporción, fertilizantes sintéticos/total entrada	55%	
Salidas de N		
Remoción de N en la cosecha	8.00	Kg/UF
Emisiones, NH ₃ -N, N ₂ O-N, N ₂ -N (fertilización)	2.62	Kg/UF
Emisiones, NH ₃ -N, N ₂ O-N, N ₂ -N (estiércol)	1.56	Kg/UF
Total, salida N	12.18	Kg/UF
Balance N (Entrada - Salida): Cantidad NO₃-N	9.06	Kg/UF
Cantidad total NO₃	40.14	Kg/UF
Emisión de NO₃ correspondiente al estiércol (45% del balance)	18.04	Kg/UF
Emisión de NO₃ correspondiente a fertilizantes sintéticos (55% del balance)	22.10	Kg/UF

*Tabla 14: Balance de N y emisiones de NO₃ por uso de fertilizantes sintéticos y estiércol.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor*

4.5.1.5. Cálculo de emisiones de PO₄

Las emisiones de fosfatos ocurren solo por la adición de fertilizantes de fósforo, por lo que solo se calculan para la aplicación de fertilizantes sintéticos mediante la ecuación para lixiviado de **(3.15)** (Nemecek et al., 2007).

$$P_{gw} = P_{gwl} * F_{gw}$$

(3.15)

Las variables de la ecuación (3.15) son:

P_{gw}: cantidad de fósforo lixiviado a aguas subterráneas.

P_{gw}: 0.07 Kg (cantidad de fósforo lixiviado promedio desde tierras arables.)
 (Nemecek et al., 2007).

F_{gw}: factor de corrección, ecuación 3.16.

$$F_{gw} = 1 + \frac{0,2}{80} * P_2O_5$$

(3.16)

P₂O₅: Cantidad de P₂O₅ contenida en el fertilizante, se asume que es la cantidad de fertilizante de fósforo.

Aplicando estas ecuaciones, la cantidad de emisiones de fosfatos es 0.072 Kg PO₄/UF.

4.6. Inventario de ciclo de vida y procesos en base de datos utilizados.

En las tablas 15 hasta la 18 se muestran el inventario de las entradas de productos por cada etapa, los procesos y la base de datos de cada uno.

Entradas	Valor	Unidad	Proceso en base de datos	Base de datos
Ocupación de suelo	526	m2/UF	Entrada desde la naturaleza: Occupation, permanent crop, vine, extensive	

Semillas	50	gr semillas/UF	Maize seed, for sowing {GLO} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Fundas	351	gr plástico/UF	Polyvinylchloride, suspension polymerised {GLO Ec} market for Alloc Def, U	Electricity Ecuador
Estiércol	9.53	Kg estiércol/UF	Manure, from cows, at farm/RER Mass	Agri-footprint - mass allocation
Tierra	22.23	kg tierra/UF	Entrada desde la naturaleza: soil	
Estacas	30.40	Kg madera/UF	Debarked wood, at plywood plant, US PNW/kg/US	USLCI
Alambre	0.17	Kg aluminio/UF	Aluminium, primary, ingot {GLO EC} market for Alloc Def, U	Electricity Ecuador

*Tabla 15: Inventario de ciclo de vida de la etapa de siembra.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor*

Proceso	Entradas	Valor	Unidad	Proceso en base de datos	Base de datos
Riego	Gasolina	0.195	Kg gasolina/ UF	Petrol, low-sulfur {RoW} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Diesel	13.92	Kg Diesel/UF	Diesel {RoW} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Agua	0.76	m ³ /UF	Entrada desde la naturaleza: Water, river	

Fertilización	Fertilizante de N	11.70	Kg/UF	Nitrogen fertiliser, as N {GLO} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Fertilizante de fosfato	11.70	Kg/UF	Potassium fertiliser, as K2O {GLO} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Fertilizante de potasio	11.84	Kg/UF	Nitrogen fertiliser, as N {GLO} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
Control de plagas	New mectin - abamectina	0.48	Kg/UF	Pesticide, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Verlaq - abamectina	0.48	Kg/UF	Pesticide, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Neem X - Azadirachtina	1.35	Kg/UF	Vegetable oil, no refinado {GLO} market for Alloc Def, U	Electricity Ecuador
	Hexythiazox	0.26	Kg/UF	Pesticide, unspecified {GLO} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
	Confidor - imidacloprid	0.77	Kg/UF	Pesticide, unspecified	Ecoinvent 3

Control de malezas	Crisamina	15.78	Kg/UF	{GLO} market for Alloc Def, U 2,4- dichlorophenol {GLO} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3
--------------------	-----------	-------	-------	--	----------------

*Tabla 16: Inventario de ciclo de vida de la etapa de mantenimiento de cultivo.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor*

Entradas	Valor	Unidad	Proceso en base de datos	Base de datos
Transporte	100	TKm	Transport, freight, lorry 3.5-7.5 metric ton, EURO3 {GLO} market for Alloc Def, U	Ecoinvent 3

*Tabla 17: Inventario de ciclo de vida de la etapa de cosecha y distribución.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor*

En la tabla 18 se muestran las emisiones totales por combustión de diésel y gasolina en las bombas de riego para el proceso de riego en la etapa de mantenimiento de cultivo.

Emisiones por combustión en etapa de riego	Total	Unidades
CO ₂	44.94	Kg CO ₂ /UF
CH ₄	0.0061	Kg CH ₄ /UF
N ₂ O	0.0004	Kg N ₂ O/UF

*Tabla 18: Total de emisiones por combustión en la etapa de riego.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor*

En la tabla 19 se encuentra el inventario de emisiones del suelo por aplicación de estiércol en la etapa de siembra y de fertilizantes sintéticos en el proceso de fertilización en la etapa de mantenimiento de cultivo.

Emisión	En proceso de fertilización (por fertilizantes sintéticos)	En etapa de siembra (por estiércol)	Total	Unidades	Destino de emisión
N ₂ O	0.244	0.199	0.442	Kg N ₂ O/UF	al aire
NO _x	0.051	0.042	0.093	Kg NO _x /UF	al aire
NH ₃	1.704	0.699	2.403	Kg NH ₃ /UF	al aire
NO ₃	22.101	18.038	40.139	Kg NO ₃ /UF	al suelo, luego a aguas subterráneas
PO ₄	0.072	-	0.072	Kg PO ₄ /UF	a aguas subterráneas

Tabla 19: Inventario de ciclo de vida de emisiones del suelo por fertilizantes orgánicos y sintéticos.

Fuente: Resultados

Elaborado por autor

CAPÍTULO 5

Luego de elaborar el inventario de ciclo de vida, se procede a la evaluación de impacto de ciclo de vida. Para proceder a calcular los impactos ambientales, se define el método a utilizar y las categorías de impacto a analizar.

5.1. Método de Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida y categorías de impacto

Se utiliza el método CML-IA 3.02 baseline V3.02/EU25 (Ginée et al., 2002) y el software SimaPro 8.0.4.30. Las categorías de impacto seleccionadas con sus respectivas unidades se muestran en la tabla 20.

Categorías de impacto	Unidades
Agotamiento Abiótico	kg Sb eq
Agotamiento Abiótico (combustibles fósiles)	MJ
Calentamiento Global (GWP 100a)	kg CO ₂ eq
Agotamiento de Capa de Ozono	kg CFC-11 eq
Oxidación Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq
Acidificación	kg SO ₂ eq
Eutrofización	kg PO ₄ eq

Tabla 20: Categorías de impacto seleccionadas.
Fuente: CML-IA (Ginée et al., 2002)
Elaborado por autor

5.2. Resultados de Evaluación de Impacto de Ciclo de Vida

En la tabla 21 se muestran los resultados globales de la caracterización de 1 tonelada de maracuyá para cada categoría de impacto seleccionada. Estos resultados incluyen a las 3 etapas de ciclo de vida: etapa de siembra, etapa de mantenimiento de cultivo y etapa de cosecha y distribución.

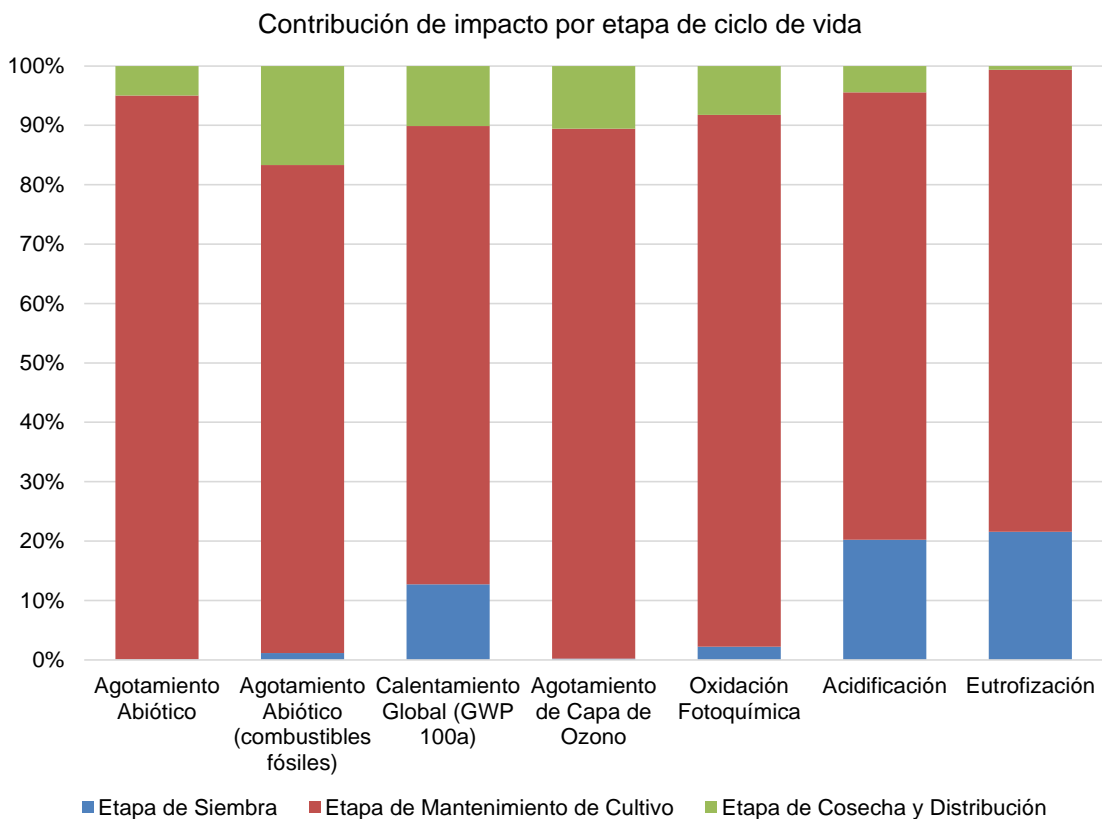
Categorías de impacto	Unidades	Resultado para "1 ton-maracuyá"
Agotamiento Abiótico	kg Sb eq	5.14E-03
Agotamiento Abiótico (combustibles fósiles)	MJ	4871
Calentamiento Global (GWP 100a)	kg CO ₂ eq	519
Agotamiento de Capa de Ozono	kg CFC-11 eq	8.63E-05
Oxidación Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0.124
Acidificación	kg SO ₂ eq	5.878
Eutrofización	kg PO ₄ eq	9.794

Tabla 21: Resultados totales de caracterización para la unidad funcional, "1 ton de maracuyá".
Fuente: CML-IA (Ginée et al., 2002)
Elaborado por autor

5.2.1. Contribución por etapa de ciclo de vida a los resultados

En la figura 4 se observa la contribución de las etapas de ciclo de vida consideradas. La etapa con mayor contribución a los impactos de ciclo de vida en todas las categorías de impacto es la etapa de mantenimiento del cultivo. Las contribuciones de esta etapa van desde el 76% hasta el 95%, tal como lo muestra la figura 4. La etapa de siembra tiene una contribución del 12% en el potencial de calentamiento global, 22% en potencial de eutrofización y 20% en el potencial de acidificación, en el resto de las categorías de impacto, su contribución es prácticamente nula. La etapa de cosecha y distribución presenta contribuciones desde 1% hasta 17% de los impactos, siendo sus contribuciones más altas, 17% en potencial de agotamiento abiótico de combustibles fósiles y 10% de potencial de calentamiento global.

La etapa de siembra y la etapa de mantenimiento de cultivo deben ser analizadas con más profundidad, debido a que estas etapas están compuestas de varios procesos y presentan emisiones desde el suelo debido al uso de fertilizantes sintético y estiércol. Sin embargo, la etapa de cosecha y distribución solo incluye el transporte de la fruta cosechada al lugar de procesamiento, por lo que todo el impacto de esta etapa es debido al transporte. Por este motivo se puede observar que esta etapa presenta sus más altas contribuciones en el potencial agotamiento abiótico de combustibles fósiles y el en el potencial de calentamiento global, las cuales se ven afectadas de manera importante por la extracción y quema de combustibles fósiles respectivamente.



*Figura 4: Contribución de las etapas de ciclo de vida a los resultados totales por categoría de impacto.
 Fuente: Resultados
 Elaborado por autor*

5.2.2. Resultados de caracterización de la Etapa de Siembra y contribución de procesos

La tabla 22 muestra los resultados de caracterización correspondientes a la etapa de siembra por categoría de impacto. Estos resultados incluyen el estiércol y semillas para la germinación de las plantas, los alambres y estacas para que las plantas se enreden en su crecimiento, las fundas donde germinan las plantas y las emisiones por el uso de estiércol.

Categorías de impacto	Unidades	Caracterización etapa de siembra
Agotamiento Abiótico	kg Sb eq	1.73E-06
Agotamiento Abiótico (combustibles fósiles)	MJ	53
Calentamiento Global (GWP 100a)	kg CO ₂ eq	64
Agotamiento de Capa de Ozono	kg CFC-11 eq	1.58E-07
Oxidación Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0.002
Acidificación	kg SO ₂ eq	1.177
Eutrofización	kg PO ₄ eq	2.114

*Tabla 22: Resultados de caracterización de la etapa de siembra.
Fuente: CML-IA (Ginée et al., 2002)
Elaborado por autor*

En la figura 5 se muestra la contribución de los elementos utilizados en la etapa de siembra y de las emisiones de suelo generadas. Las emisiones del suelo, generadas por la aplicación de estiércol, y el uso de alambre para que se enrede el maracuyá presentan la mayor contribución para el impacto ambiental de la etapa de siembra. El alambre de aluminio tiene una contribución de 62% al potencial de agotamiento abiótico, 66% al potencial de agotamiento de combustibles fósiles, 92% al potencial de agotamiento de capa de ozono y 93% al potencial de oxidación fotoquímica. Las semillas contribuyen principalmente al potencial de agotamiento

abiótico con 33%. Las fundas, hechas de PVC, influyen principalmente en el potencial de agotamiento abiótico de combustibles fósiles, con un 32%, debido al uso de derivados de petróleo para su producción.

Sin embargo, cabe recalcar que las emisiones de todos estos procesos en las categorías de impacto mencionadas son irrelevantes, ya que, como se vio en la figura 4, las contribuciones de la etapa de siembra para estas categorías es casi 0%, y solo tiene importancia en 3 categorías de impacto. Las emisiones del suelo tienen una contribución muy importante en estas 3 categorías: calentamiento global, acidificación y eutrofización, con contribuciones de 93%, 97% y 100% respectivamente. Por lo tanto, se puede concluir que la participación de la etapa de siembra en el impacto ambiental del maracuyá se debe principalmente a las emisiones debido a la descomposición del estiércol. Más adelante en esta sección se analiza de qué manera contribuye cada tipo de emisión del suelo en estos porcentajes.

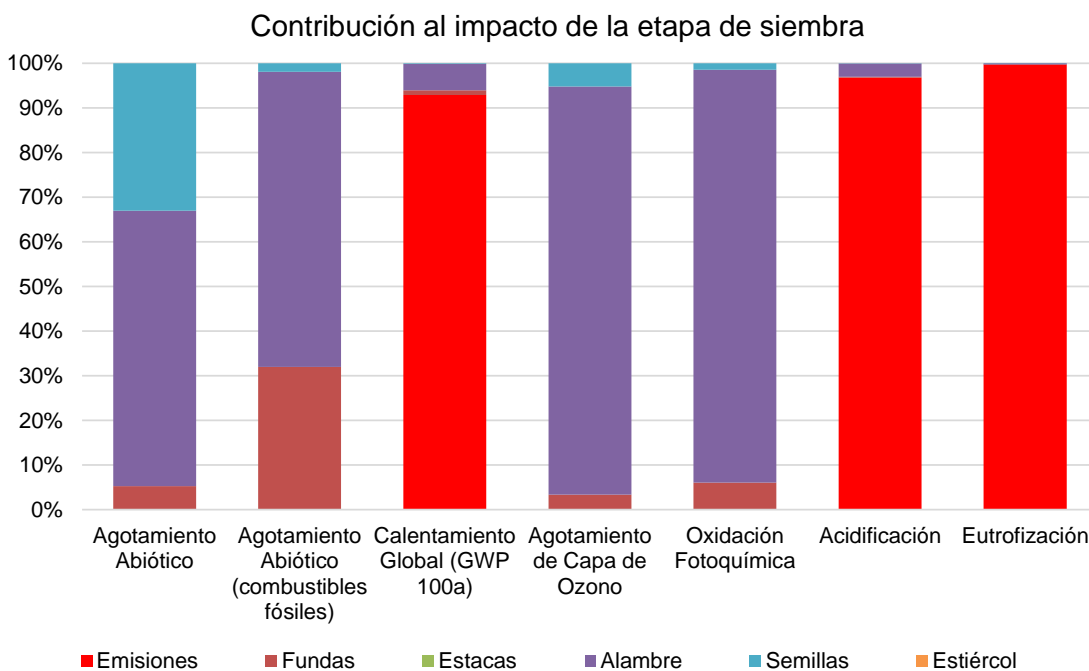


Figura 5: Contribución al impacto de ciclo de vida de los elementos de la etapa de siembra.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor

5.2.3. Resultados de caracterización de la Etapa de Mantenimiento de Cultivo y contribución de procesos

En la tabla 23 se muestran los resultados de la caracterización de la etapa de mantenimiento del cultivo para todas las categorías de impacto seleccionadas. Estos resultados incluyen el control de plagas y malezas, el riego, la fertilización y las emisiones del suelo debido al uso de fertilizantes.

Categorías de impacto	Unidades	Caracterización etapa mantenimiento de cultivo
Agotamiento Abiótico	kg Sb eq	4.88E-03
Agotamiento Abiótico (combustibles fósiles)	MJ	4004
Calentamiento Global (GWP 100a)	kg CO ₂ eq	402
Agotamiento de Capa de Ozono	kg CFC-11 eq	7.70E-05
Oxidación Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0.112
Acidificación	kg SO ₂ eq	4.438
Eutrofización	kg PO ₄ eq	7.614

*Tabla 23: Resultados de caracterización de la etapa de mantenimiento de cultivo.
 Fuente: CML-IA (Ginée et al., 2002)
 Elaborado por autor*

En la figura 3 se observa la contribución de cada proceso al impacto de la etapa de mantenimiento de cultivo. Todos los procesos tienen contribuciones considerables en varias categorías de impacto, pero el proceso de fertilización es el más importante. El proceso de fertilización tiene contribuciones de entre 14% hasta 97% en todas las categorías de impacto. Las contribuciones más elevadas de la fertilización en esta etapa son 60% en el potencial de calentamiento global, 83% en el potencial de acidificación y 97% en el potencial de eutrofización. La fertilización tiene un impacto de 32% en potencial de agotamiento abiótico de combustibles

fósiles y 37% en oxidación fotoquímica. Este proceso tiene estos altos impactos debido tanto a la producción de los fertilizantes, como a las emisiones del suelo generadas por la aplicación de estos. Esto se analizará más adelante en esta sección.

El control de malezas tiene contribuciones importantes a varias categorías de impacto, incluyendo un 39% de potencial de agotamiento abiótico de combustibles fósiles, 20% de potencial de calentamiento global, 25% de potencial de capa de ozono y 45% de potencial de oxidación fotoquímica. En este proceso, solo se utiliza la crisamina, así que la totalidad de la contribución de este proceso se debe a la producción de este herbicida.

El control de plagas tiene impactos considerables en el potencial de agotamiento abiótico y en el potencial de agotamiento de capa de ozono, con contribuciones de 71% y 48% respectivamente, debido a la producción de los pesticidas utilizados.

El proceso de riego influye principalmente al potencial de agotamiento abiótico de combustibles fósiles, al potencial de calentamiento global y al potencial de agotamiento de capa de ozono, con una contribución de 20%, 13% y 13% respectivamente. Esto se debe a la producción de combustibles utilizados para el bombeo del agua hasta el área cultivada y a las emisiones por la combustión de estos.

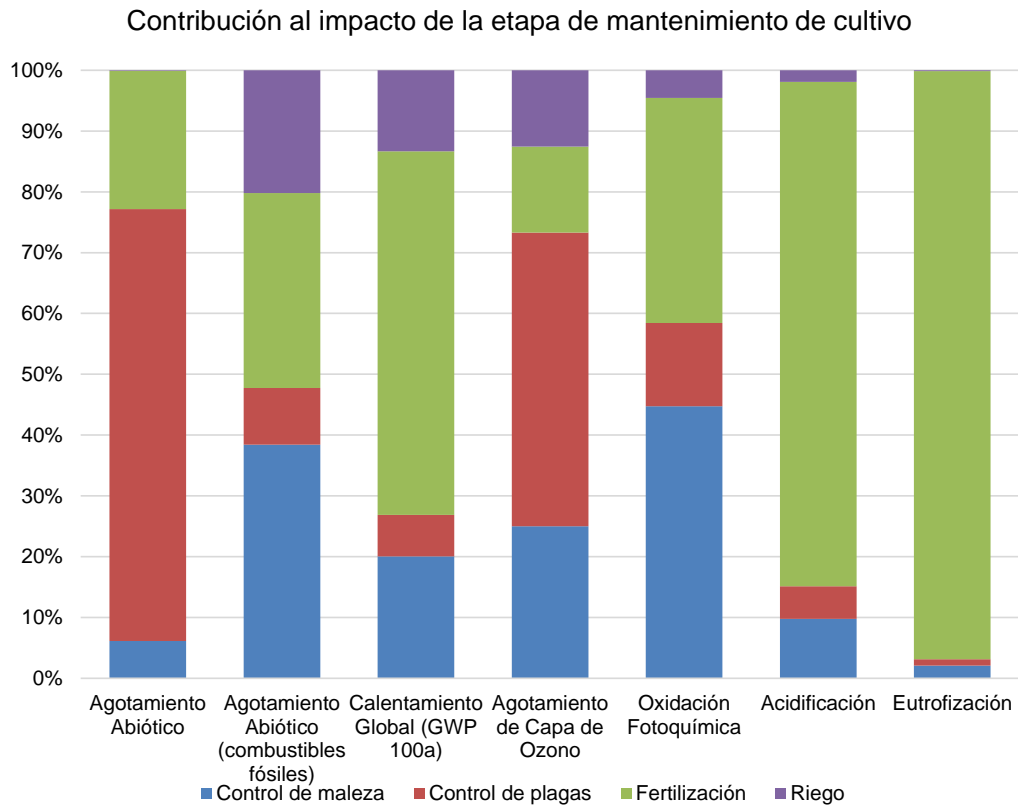


Figura 6: Contribución al impacto de ciclo de vida de los procesos que conforman la etapa de mantenimiento de cultivo.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor

5.2.3.1. Contribución al proceso de control de plagas

En la figura 7 se observa la contribución al impacto del proceso control de plagas de los pesticidas utilizados. Los pesticidas New Mectin y Verlaq son la misma sustancia, abamectina, pero con diferente nombre comercial, y además son aplicadas en iguales cantidades. En total, la aplicación de abamectina contribuye entre el 40% y 48% en todas las categorías de impacto. El pesticida Hexythiazox tiene una contribución entre el 11% y 13% en todas las categorías de impacto y el pesticida Condifor, una contribución entre el 31% hasta el 39%.

De todos los plaguicidas utilizados, la Azadirachtina es el único de origen natural y el resto son sintéticos. Por este motivo, la azadirachtina, que en realidad es el aceite

del árbol neem, tiene una contribución baja en comparación a los otros plaguicidas. Esta sustancia contribuye de forma apreciable al potencial de calentamiento global con 19%, al potencial de oxidación fotoquímica con 16% y al potencial de eutrofización con 11%.

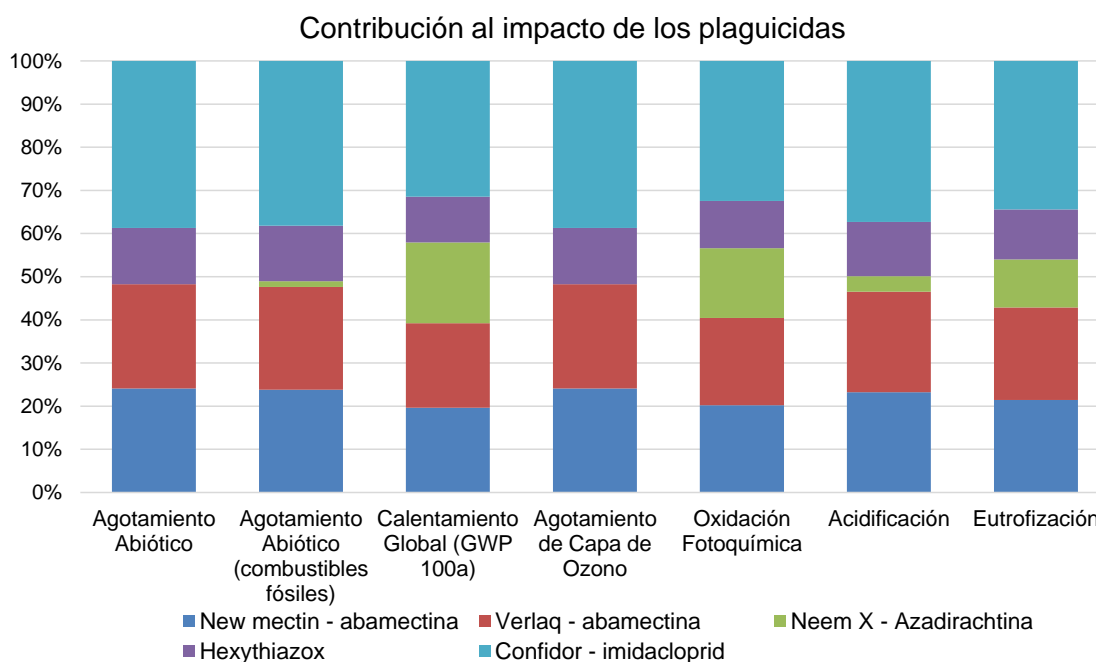


Figura 7: Contribución al impacto de ciclo de vida de los plaguicidas utilizados en el proceso de control de plagas.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor

5.2.3.2. Contribución al proceso de riego

En la figura 8 se muestra la contribución al proceso de riego de cada combustible utilizado en este proceso y de las emisiones por su combustión. Se observa que la producción del diésel es lo principal en lo que respecta a la participación en el impacto ambiental, ya que tiene una contribución entre el 97% hasta el 99% de todas las categorías de impacto, menos en el potencial de calentamiento global, en el cual contribuye solo con 15%. Las emisiones que provienen de la quema de los combustibles en las bombas de riego contribuyen con el 84% del calentamiento global. La gasolina tiene menos del 3% de participación en todas las categorías, debido a las bajas cantidades utilizadas.

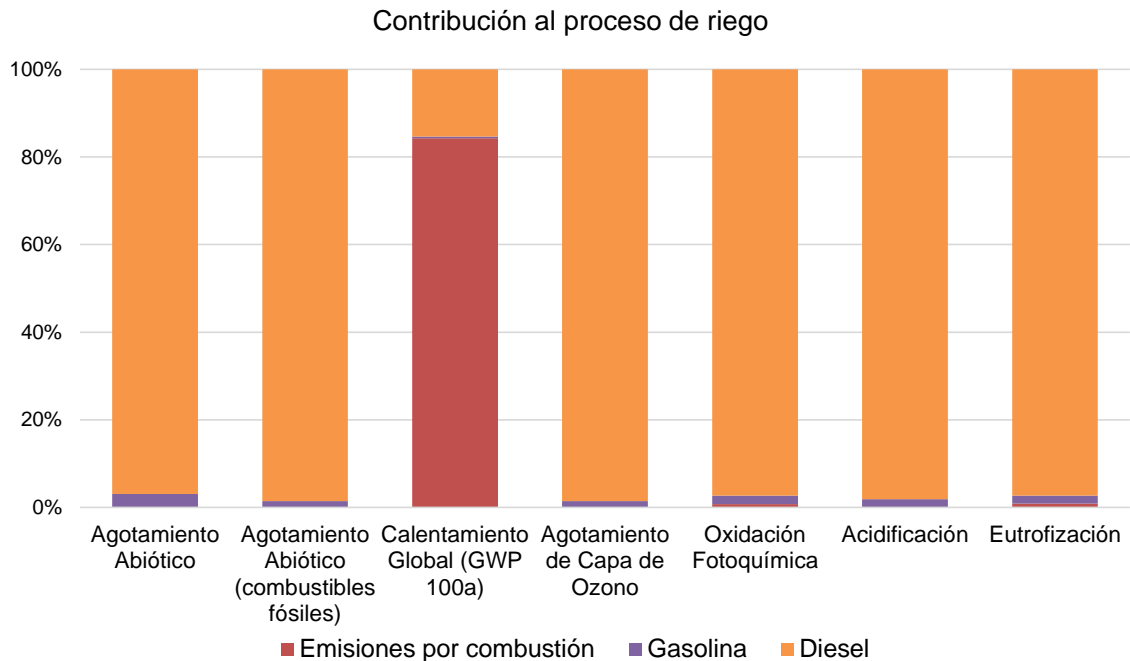


Figura 8: Contribución al impacto de ciclo de vida de los combustibles utilizados para las bombas de riego.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor

5.2.3.3. Contribución al proceso de fertilización

En la figura 9 se muestra la contribución de los fertilizantes y las emisiones del suelo al impacto ambiental del proceso de fertilización. El fertilizante de N es el que presenta contribuciones más importantes a varias categorías de impacto. Contribuye al 56% del potencial de calentamiento global, a más del 60% en las categorías de agotamiento abiótico, agotamiento abiótico de combustibles fósiles y agotamiento de capa de ozono, al 45% del potencial de oxidación fotoquímica y al 25% del potencial de eutrofización. El fertilizante de fosfato contribuye aproximadamente alrededor del 30% de las categorías de agotamiento abiótico, agotamiento abiótico de combustible fósiles, agotamiento de la capa de ozono y oxidación fotoquímica. El fertilizante de potasio es el que menores contribuciones tiene: 23% del potencial de oxidación fotoquímica y 30% de potencial de eutrofización.

Las emisiones de suelo debido a la aplicación de estos fertilizantes tienen contribuciones importantes al impacto ambiental del proceso de fertilización. Estas emisiones generan el 30% del potencial de calentamiento global, el 75% del potencial de acidificación y el 40% del potencial de eutrofización. La importancia de las emisiones se analiza detalladamente más adelante.

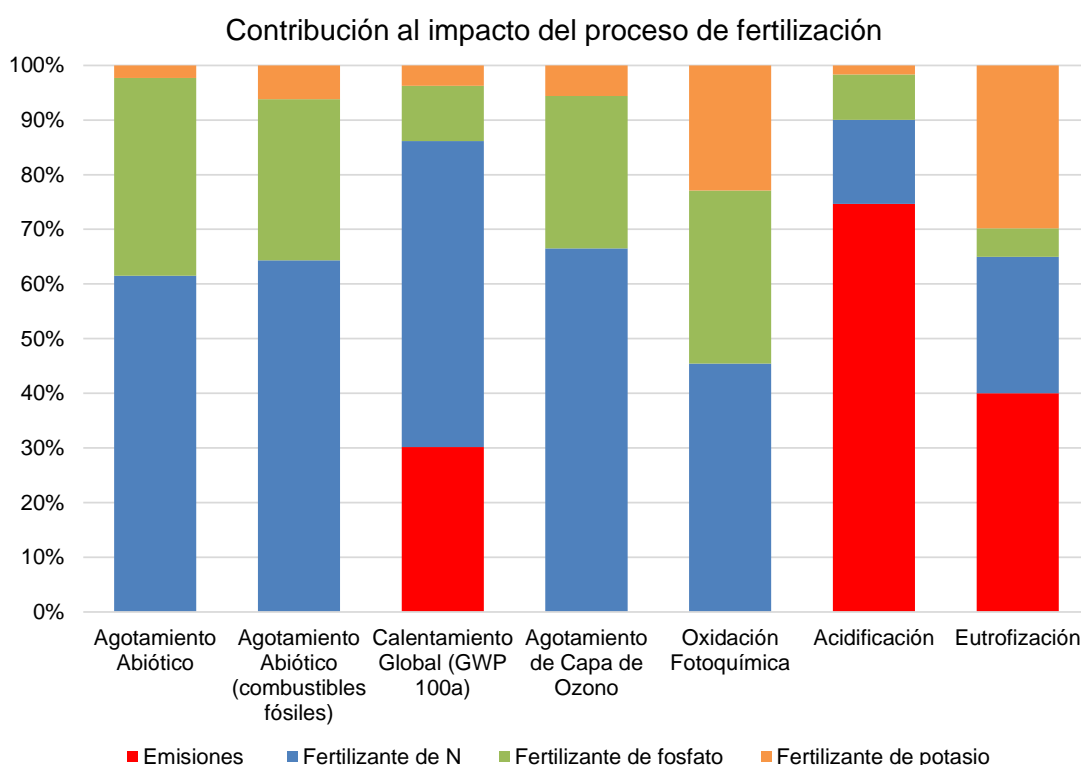


Figura 9: Contribución al impacto del proceso de fertilización de los fertilizantes utilizados y de las emisiones de suelo.

Fuente: Resultados
Elaborado por autor

5.2.4. Resultados de caracterización de la Etapa de Cosecha y Distribución y contribución de procesos

En la tabla 24 se muestran los resultados de la caracterización de la etapa de cosecha y distribución. Debido a que esta etapa solo considera como entrada la distribución, el total de este valor se debe a los impactos ambientales de transportar la fruta cosechada a lugar de procesamiento.

Categorías de impacto	Unidades	Caracterización etapa de cosecha y distribución
Agotamiento Abiótico	kg Sb eq	2.61E-04
Agotamiento Abiótico (combustibles fósiles)	MJ	814
Calentamiento Global (GWP 100a)	kg CO ₂ eq	53
Agotamiento de Capa de Ozono	kg CFC-11 eq	9.20E-06
Oxidación Fotoquímica	kg C ₂ H ₄ eq	0.010
Acidificación	kg SO ₂ eq	0.262
Eutrofización	kg PO ₄ eq	0.065

*Tabla 24: Resultados de caracterización de la etapa de cosecha y distribución.
Fuente: CML-IA (Ginée et al., 2002)
Elaborado por autor*

5.2.5. Resultados de caracterización de emisiones del suelo de la etapa de siembra y de la etapa de mantenimiento de cultivo

En la tabla 25 se muestra la caracterización de las emisiones del suelo generadas en la etapa de siembra por el uso de estiércol, en el proceso de fertilización en la etapa de mantenimiento de cultivo por fertilización y el total de las emisiones en todo el ciclo de vida de la producción de 1 ton de maracuyá. Estas emisiones registran impactos ambientales solo en el potencial de calentamiento global, el potencial de acidificación y el potencial de eutrofización.

Categorías de impacto	Unidades	Caracterización emisiones en Etapa de Siembra por uso de estiércol	Caracterización emisiones en Etapa de Mantenimiento de Cultivo por fertilización	Total
----------------------------------	-----------------	---	---	--------------

Calentamiento Global (GWP 100a)	kg CO ₂ eq	59.00	73.00	132.00
Acidificación	kg SO ₂ eq	1.139	2.752	3.891
Eutrofización	kg PO ₄ eq	2.108	2.951	5.059

Tabla 25: Resultados de caracterización de emisiones de suelo en etapa de siembra y en proceso de fertilización.
Fuente: CML-IA (Ginée et al., 2002)
Elaborado por autor

En la figura 10 se muestra la contribución al total del impacto de las emisiones de suelo generadas en cada etapa de ciclo de vida para las 3 categorías de impacto en las que influyen. Las emisiones de suelo generadas en la etapa de mantenimiento de cultivo en el proceso de fertilización tienen una mayor contribución al total del impacto asociado a las emisiones, que las generadas en la etapa de siembra. Las emisiones de las etapas de siembra tienen una contribución de 45% en el potencial de calentamiento global, 29% en el potencial de acidificación y 42% en el potencial de eutrofización. Las emisiones provenientes del proceso de fertilización tienen una contribución de 55% al potencial de calentamiento global, 71% al potencial de acidificación y 58% al potencial de eutrofización.

A pesar de tener una menor contribución, las emisiones por aplicación de estiércol son bastante importantes, ya que el estiércol se aplica una sola vez en el ciclo de vida de la planta al momento de la siembra como sustrato, mientras que los fertilizantes sintéticos se aplican periódicamente, varias veces, durante el ciclo de vida de la planta.

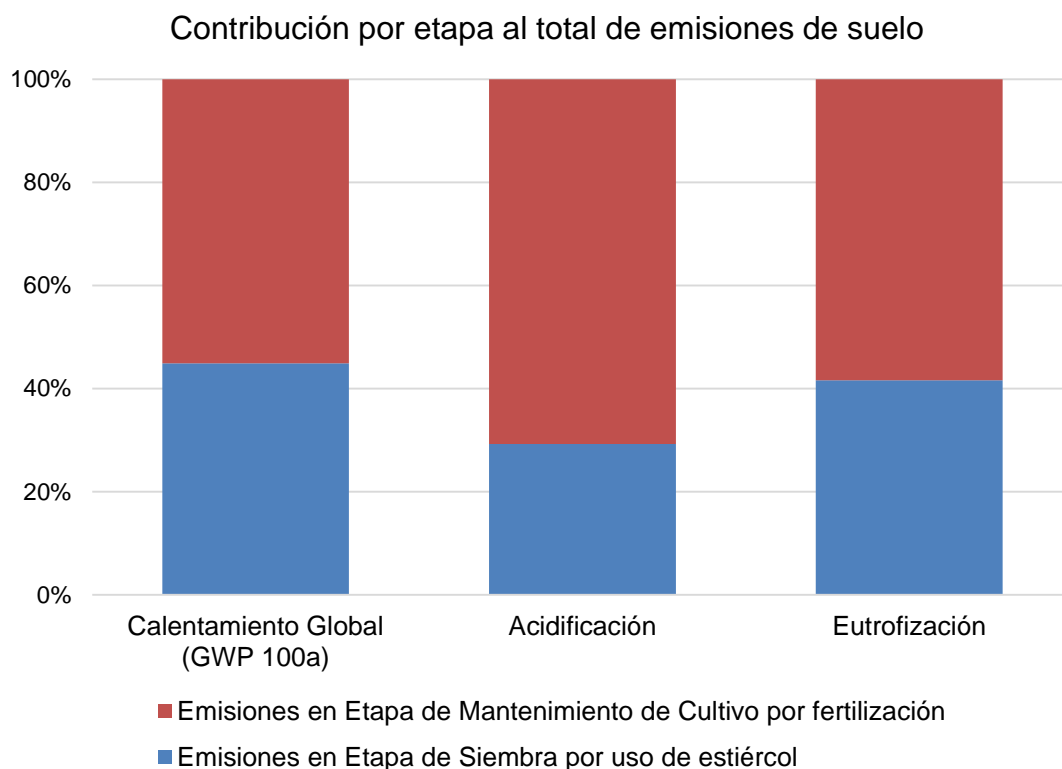


Figura 10: Contribución de las emisiones de suelo por etapa.
*Fuente: Resultados
Elaborado por autor*

5.2.5.1. Contribución por tipo de emisión al total de emisiones de suelo

En la figura 11 se muestra la contribución por sustancia al total de emisiones de suelo generadas por la aplicación de fertilizantes orgánicos (estiércol) y sintéticos. Se observa que las emisiones de N₂O contribuyen al total del potencial de calentamiento global asociado a las emisiones de suelo, debido a su alta capacidad de atrapar calor. La volatilización de NH₃ genera el 99% del potencial de acidificación y la volatilización de NO_x solo el 1% del potencial de acidificación. En el potencial de eutrofización, la emisión más importante es la de los nitratos NO₃, que contribuyen con el 79%, y luego le sigue la emisión de NH₃ con 17%. El N₂O contribuye al 2%

del potencial de eutrofización, los fosfatos (PO₄) contribuyen al 1% y los óxidos de nitrógeno (NO_x) contribuyen con menos del 1% de esta categoría.

A partir de estos resultados, se puede observar que las emisiones de suelo más importantes son el N₂O, el NH₃ y el NO₃.

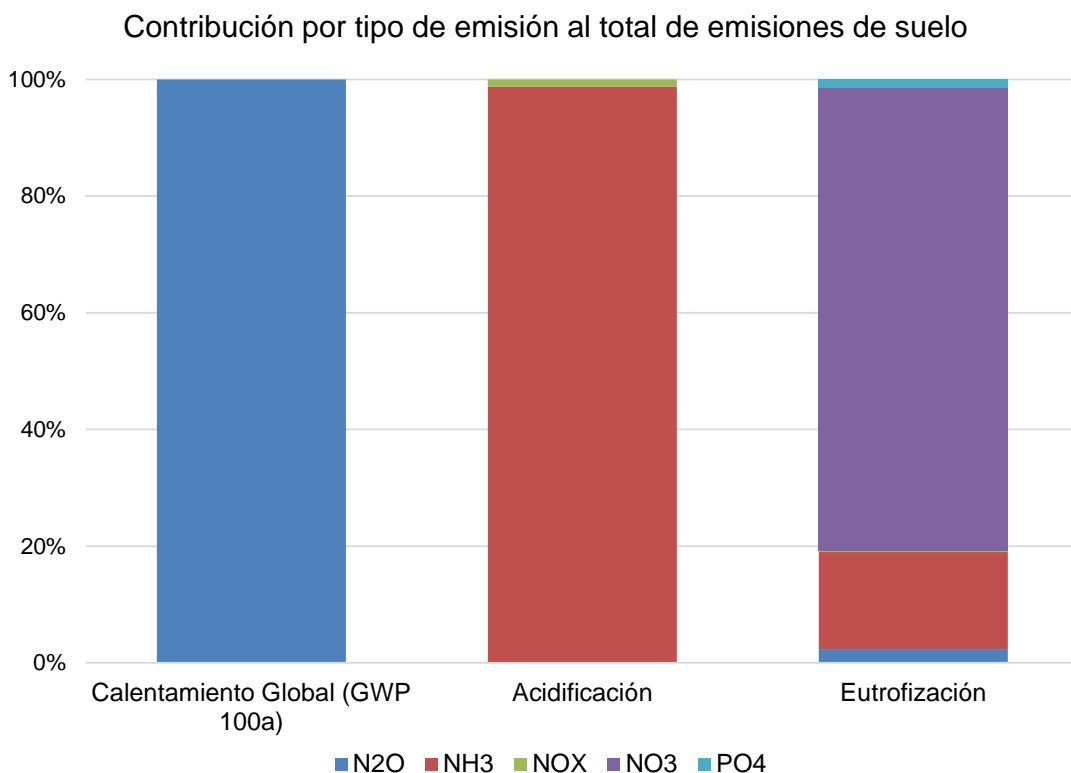


Figura 11: Contribución por tipo de emisión al total de emisiones de suelo.
Fuente: Resultados
Elaborado por autor

5.2.5.2. Contribución de las emisiones al impacto de ciclo de vida total de 1 tonelada de maracuyá.

En la figura 12 se observa la contribución de las emisiones de suelo al total del impacto de ciclo de vida de 1 tonelada de maracuyá en todas las categorías de impacto. La contribución de estas emisiones se muestra en la figura 12 de color rojo, y como se observa, solo afecta a 3 categorías de impacto.

Las emisiones de suelo por aplicación de estiércol y fertilizantes sintéticos contribuyen al 25% del potencial de calentamiento global, 66% de potencial de acidificación y 52% del potencial de eutrofización de la totalidad del impacto de ciclo de vida del maracuyá. Esto significa, que estas emisiones tienen contribuciones muy importantes en el impacto de ciclo de vida de la producción de maracuyá.

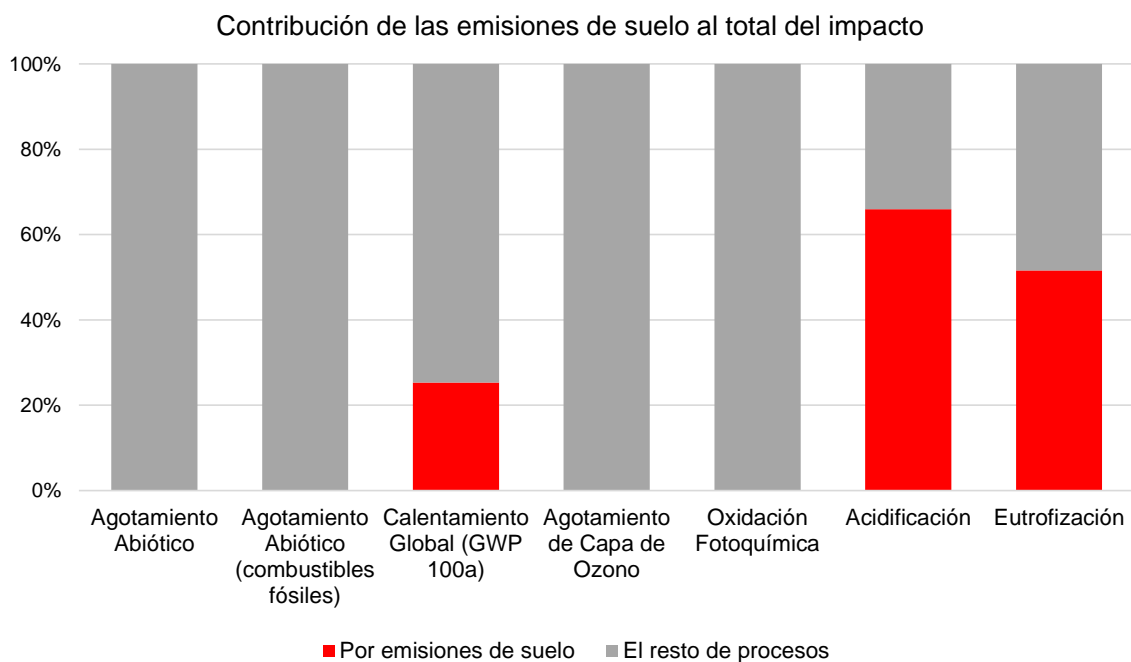


Figura 12: Contribución de las emisiones de suelo al total del impacto de ciclo de vida de 1 tonelada de maracuyá.
 Fuente: Resultados
 Elaborado por autor

5.3. Posibles mejoras del impacto de ciclo de vida del maracuyá

Dado que la etapa de mantenimiento de cultivo presenta los mayores impactos ambientales, se pueden proponer mejoras en los distintos procesos de esta etapa para mejorar este desempeño.

Por ejemplo, la aplicación de prácticas agrícolas que permitan la optimización del uso de fertilizantes y la disminución de su uso implicaría una disminución del

impacto ambiental total de la producción de maracuyá, ya que aparte de tener un menor impacto por la producción de fertilizantes sintéticos utilizados, se generarían menos emisiones de suelo. La optimización del uso del estiércol en la etapa de siembra mejoraría también el desempeño, ya que este genera un alto impacto ambiental en lo que respecta a las emisiones de suelo de N₂O, NH₃ y NO₃.

Se debería limitar la aplicación de pesticidas y herbicidas inorgánicos, mediante la aplicación de técnicas agrícolas más ecológicas, o reemplazar los pesticidas inorgánicos por pesticidas orgánicos en la medida de lo posible.

Para aplicar estas mejoras, se necesita analizar hasta qué punto se puede prescindir de fertilizantes y pesticidas sintéticos, o hasta qué punto se los puede reemplazar con prácticas o sustancias más ecológicas.

También se puede mejorar el desempeño ambiental en lo que respecta al calentamiento global si el cultivo es ubicado más cerca de la fuente de agua para riego o en una zona con mayor pluviosidad, ya que se disminuiría el impacto por emisiones provenientes de la quema de combustibles para las bombas de riego.

CAPÍTULO 6

6.1. Conclusiones

Se elaboró el análisis de ciclo de vida de la producción de 1 tonelada de maracuyá en una finca de Santa Elena.

Se elaboró el inventario de ciclo de vida de la producción de 1 tonelada de maracuyá, incluyendo los procesos en las etapas de siembra, de mantenimiento de cultivo y de cosecha y distribución.

Para el cálculo del impacto ambiental del maracuyá se utilizó la metodología CML-IA baseline V3.02 / EU25 y el programa Simapro, y se obtuvieron los siguientes resultados por categoría de impacto: $5,14 \times 10^{-3}$ Kg Sb eq. en Agotamiento Abiótico, 4871 MJ en Agotamiento Abiótico de Combustibles Fósiles, 519 Kg CO₂ eq. en Calentamiento Global GWP 100a, $8,63 \times 10^{-5}$ kg CFC-11 eq. en Agotamiento de Capa de Ozono, 0,124 Kg C₂H₄ eq. en Oxidación Fotoquímica, 5,88 kg SO₂ eq. en Acidificación y 9,79 Kg PO₄ eq. en Eutrofización.

Se determinó que la etapa de mantenimiento de cultivo es la que tiene una mayor contribución al impacto ambiental del maracuyá. De esta etapa, el proceso de fertilización es el más importante, teniendo altas contribuciones en todas las categorías de impacto. La fertilización es de importancia tanto por los impactos ambientales asociados a la producción de los fertilizantes sintéticos, como por las emisiones de suelo que se generan por la aplicación de estos fertilizantes.

Se comprobó la importancia de las emisiones de suelo debido a la aplicación de estiércol y fertilizantes sintéticos en 3 categorías de impacto. Las emisiones de N₂O, NO_x, NH₃, NO₃ y PO₄ contribuyen a 1/4 del potencial de calentamiento

global total, a más de 1/2 del potencial de eutrofización total y a 2/3 del potencial de acidificación total.

La importancia de la contribución al impacto ambiental del maracuyá de la etapa de siembra se debe fundamentalmente a las emisiones de suelo por la descomposición del estiércol

Las emisiones de suelo más importantes en lo que respecta a su contribución al impacto ambiental son las de N₂O, NH₃ y NO₃. Las emisiones de NO_x y PO₄ tienen contribuciones no mayores al 1% en el potencial de acidificación y eutrofización.

La aplicación de herbicidas en el proceso de control de malezas en la etapa de mantenimiento de cultivo genera impactos importantes en esta etapa, especialmente en las categorías de impacto de agotamiento abiótico de combustibles fósiles (39%), calentamiento global (20%), agotamiento de capa de ozono (25%) y oxidación fotoquímica (45%).

La aplicación de insecticida de origen inorgánico en el proceso de control de plagas, en la etapa de mantenimiento de cultivo afecta especialmente a las categorías de impacto agotamiento abiótico (71%) y agotamiento de la capa de ozono (48%).

Bibliografía

- Agri-footprint. (2014). Agri-footprint® | LCA food database. Recuperado el 25 de enero de 2018, a partir de <http://www.agri-footprint.com/>
- Amaya, J. (2009). *Cultivo de maracuyá*. Recuperado a partir de http://www.agrolalibertad.gob.pe/sites/default/files/MANUAL%20DEL%20CULTIVO%20DE%20MARACUYA_0.pdf
- antoniolima.com. (2018). poder calorifico. Recuperado el 9 de febrero de 2018, a partir de <http://www.antoniolima.web.br.com/arquivos/podercalorifico.htm>
- Asman, W. A. H. (1992). *Ammonia emission in Europe: updated emission and emission variations* (No. 228471008). Bilthoven: National Institute of Public Health and Environmental Protection.
- Bedmar, F. (2011). ¿Qué son los plaguicidas? *Informe especial sobre plaguicidas agrícolas*, 21(122).
- Borrero, C. (2015). *El cultivo de maracuyá (passiflora edulis) en el apoyo al cambio de la matriz roductiva*. UCSG, Guyaquil. Recuperado a partir de <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/3634/1/T-UCSG-PRE-TEC-EADR-16.pdf>
- Brentrup, F., Küsters, J., Lammel, J., & Kuhlmann, H. (2000). Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(6), 349–357.
- Climate Data. (2018). Clima Santa Elena: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Santa Elena - Climate-Data.org. Recuperado el 14 de enero de 2018, a partir de <https://es.climate-data.org/location/2976/>
- De Klein, C., Novoa, R., Ogle, S., Smith, K., Rochette, P., Wirth, T., ... Rypdal, k. (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 N₂O de los suelos gestionados

- y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y úrea. Recuperado a partir de <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/>
- FAO. (2017). ¿Es la certificación algo para mi? Recuperado el 7 de noviembre de 2017, a partir de <http://www.fao.org/docrep/007/ad818s/ad818s09.htm>
- Garzón, J. E., & Cárdenas, E. A. (2013). EMISIONES ANTROPOGÉNICAS DE AMONIACO, NITRATOS Y ÓXIDO NITROSO: COMPUESTOS NITROGENADOS QUE AFECTAN EL MEDIO AMBIENTE EN EL SECTOR AGROPECUARIO COLOMBIANO. *Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia*, 60(2), 121–138.
- Ginée, J. B., Gorrée, M., Heijungs, R., Huppes, G., Kleijn, R., Koning, A. de, ... Huijbregts, M. A. J. (2002). *Handbook on Life Cycle Assessment. Operational Guide to the ISO Standards. I: LCA in perspective. IIa: Guide. IIb: Operational annex. III: Scientific background*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gómez, D., Watterson, J., Americano, B., Ha, C., Marland, G., Matsika, E., ... Quadrelli, R. (2006). Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero. Volumen 2: Energía. Capítulo 2: Cobustión estacionaria. Recuperado a partir de http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/spanish/pdf/2_Volume2/V2_2_Ch2_Stationary_Combustion.pdf
- IFA. (2002). Los fertilizantes y su uso. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- INEC. (2014). ESPAC - Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua.
- Iriarte, A., Rieradevall, J., & Gabarrell, X. (2010). Life cycle assessment of sunflower and rapeseed as energy crops under Chilean conditions. *Journal of Cleaner Production*, 18(4), 336–345.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2009.11.004>

- ISO 14040. (2006). *Environmental Management- Life Cycle Assessment- Principles and Framework*. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation.
- ISO 14044. (2006). *Environmental Management-Life Cycle Assessment- Requirements and Guidelines*. Geneva, Switzerland: International Organisation for Standardisation.
- Lenntech. (2018). Fosforo (P) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente. Recuperado el 8 de febrero de 2018, a partir de <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/p.htm>
- Manitoba. (2015). Properties of manure. Recuperado a partir de <https://www.gov.mb.ca/agriculture/environment/nutrient-management/pubs/properties-of-manure.pdf>
- Meisterling, K., Samaras, C., & Schweizer, V. (2009). Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Cleaner Production*, 17(2), 222–230. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.04.009>
- Monteros, A., Sumba, E., & Salvador, S. (2014). Productividad agrícola en el Ecuador. *MAGAP*. Recuperado a partir de http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/indice_productividad.pdf
- Muñoz, B., Ruiz, E., Antigüedad, I., Martínez, M., & Uriarte, J. (s/f). Eliminación de nitratos y emisiones de gases de efecto invernadero en el humedal de Salburua. Recuperado a partir de <https://fnca.eu/congresoiberico/documentos/c0207.pdf>
- Myhre, G., Shindell, D., Breón, F.-M., Collins, W., Fuglestedt, J., Huang, J., ... Zhang, H. (2013). Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate*

- Change. Cambridge University Press. Recuperado a partir de http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_Chapter08_FINAL.pdf
- Nemecek, T., Kägi, T., Heil, A., Huguenin, O., Meier, S., Erzinger, S., ... Zimmerman, A. (2007). *Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems* (Ecoinvent report No. 15). Zürich and Dübendorf. Recuperado a partir de https://db.ecoinvent.org/reports/15_Agriculture.pdf
- NREL. (2012). "U.S. Life Cycle Inventory Database." (2012). Recuperado el 19 de noviembre de 2012, a partir de <https://www.lcacommons.gov/nrel/search>
- Oers, L. van, Koning, A. de, Ginée, J. B., & Huppés, G. (2002). Abiotic resource depletion in LCA.
- Peñaloza, E. (2017, febrero 24). Fertilizantes nitrogenados; principal fuente de emisión de óxido nitroso en la agricultura y estrategias para mitigar su impacto. Recuperado el 24 de enero de 2018, a partir de <http://www.phloem.cl/fertilizantes-nitrogenados-principal-fuente-de-emision-de-oxido-nitroso-en-la-agricultura-y-estrategias-para-mitigar-su-impacto/>
- Prasuhn, V. (2006). *Erfassung der PO4 Austräge für die Ökobilanzierung SALCA Phosphor*.
- PRTR. (2017a). NH3 (Amoníaco). Recuperado el 8 de febrero de 2018, a partir de <http://www.prtr-es.es/NH3-amoniaco,15593,11,2007.html>
- PRTR. (2017b). NOx (Óxidos de nitrógeno) | PRTR España. Recuperado el 8 de febrero de 2018, a partir de <http://www.prtr-es.es/NOx-oxidos-de-nitrogeno,15595,11,2007.html>
- Romero-Gámez, M., Audsley, E., & Suárez-Rey, E. M. (2014). Life cycle assessment of cultivating lettuce and escarole in Spain. *Journal of Cleaner Production*, 73, 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.10.053>
- Roy, P., Nei, D., Orikasa, T., Xu, Q., Okadome, H., Nakamura, N., & Shiina, T. (2009). A review of life cycle assessment (LCA) on some food products.

Journal of Food Engineering, 90(1), 1–10.

<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.016>

Sáenz, A. M. (2010). *La Agricultura y su Evolución a la Agroecología*. Valencia.

Stranddorf, H., Hoffmann, L., & Schmidt, A. (2005). *Impact categories, normalisation and weighting in LCA: Updated on selected EDIP97-data*.

Danish Ministry of the Environment.

Tubiello, F. N. (2014). *Agriculture, Forestry and Other Land Use Emissions by Sources and Removals by Sinks* (Working Paper Series). FAO.

Wenet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., & Weidema, B. (2016). The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, [online] 21(9), pp.1218–1230. Recuperado el 12 de febrero de 2016, a partir de <http://link.springer.com/10.1007/s11367-016-1087-8>