

Análisis de impactos ambientales generados por el cultivo de quinua en Tuta, departamento de Boyacá

Daniela Valentina Garzón Sánchez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:

Ingeniero Ambiental

Director:

Kenneth Ochoa Vargas

Línea de Investigación:

Gestión Integral Sustentable

Universidad El Bosque

Facultad de Ingeniería

Programa Ingeniería Ambiental

Bogotá, Colombia

2018

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético de este en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

Agradecimientos

Debo empezar agradeciendo al apoyo incondicional que he recibido a lo largo de este trabajo. Incluyendo profesores y compañeros. En especial al director Kenneth por el tiempo dedicado y la paciencia. Siendo un apoyo desde principio a fin de la realización de este.

Seguido por el apoyo de mis padres que sin importar el obstáculo son un apoyo incondicional, aportando no solo con conocimiento pero también con enseñanzas. La universidad del Bosque que ha permitido la realización de este documento.

Finalmente debo agradecer a Dios, por bendecirme con tan grandes oportunidades.

Tabla de Contenido

Acta de sustentación	2
Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional.....	3
Agradecimientos	4
Tabla de Contenido	5
Listado de Tablas	8
Listado de Figuras	9
Listado de Gráficas	10
Lista de Abreviaciones.....	11
Resumen.....	1
Abstract	1
Introducción	2
1 Planteamiento del Problema.....	3
2 Pregunta de investigación	4
3 Justificación	4
4 Línea de Investigación	5
5 Objetivos	5
5.1 <i>Objetivo General</i>	5
5.2 <i>Objetivos Específicos</i>	5
6 Marcos de Referencia.....	5
6.1 <i>Marco de Antecedentes</i>	5
6.1.1 <i>Antecedentes</i>	6
6.1.2 <i>Estado del arte</i>	7
6.2 <i>Marco Teórico</i>	8
6.3 <i>Marco Conceptual</i>	9
6.3.1 <i>Evaluación de impacto ambiental</i>	9
6.3.2 <i>Enfoque de ciclo de vida</i>	9
6.3.3 <i>Enfoque Sistemático</i>	10
6.3.4 <i>Análisis de ciclo de vida</i>	10
6.3.5 <i>Puntos críticos o “Hotspots”</i>	11
6.3.6 <i>Proceso de producción de la quinua</i>	11

6.4	<i>Marco Normativo</i>	12
6.4.1	<i>Políticas internacionales</i>	12
6.4.2	<i>Nacional</i>	13
6.5	<i>Marco Geográfico y Socioeconómico (Territorio)</i>	14
6.5.1	<i>Geografía</i>	14
6.5.2	<i>Economía</i>	15
6.5.3	<i>Demografía</i>	15
6.6	<i>Enfoque, alcance y método de investigación</i>	16
6.6.1	<i>Enfoque de la investigación</i>	16
6.6.2	<i>Alcance y límite</i>	16
6.6.3	<i>Método</i>	16
6.7	<i>Análisis del Ciclo de Vida según la norma NTC – ISO 14044:2006</i>	16
6.7.1	<i>Método para Objetivo específico 1</i>	17
6.7.2	<i>Método para Objetivo específico 2</i>	18
6.8	<i>Metodología</i>	18
7	<i>Resultados y Discusión</i>	20
7.1	<i>Definición del Objetivo y Alcance del ACV del cultivo de la quinua</i>	20
7.1.1	<i>Objetivo del ACV</i>	20
7.1.2	<i>Alcance del ACV</i>	20
7.2	<i>ICV del cultivo de la quinua</i>	23
7.3	<i>EICV del cultivo de la quinua</i>	27
7.4	<i>Interpretación del cultivo de la quinua</i>	29
7.4.1	<i>Identificación de los puntos críticos</i>	30
7.4.2	<i>Cambio Climático</i>	30
7.4.3	<i>Agotamiento del ozono estratosférico</i>	31
7.4.4	<i>Radiación Ionizante</i>	32
7.4.5	<i>Formación de ozono (salud humana)</i>	33
7.4.6	<i>Formación de partículas finas</i>	34
7.4.7	<i>Formación de ozono (ecosistemas terrestres)</i>	35
7.4.8	<i>Acidificación terrestre</i>	36
7.4.9	<i>Eutrofización de agua dulce</i>	37

7.4.10	<i>Eutrofización marina</i>	38
7.4.11	<i>Ecotoxicidad terrestre</i>	39
7.4.12	<i>Ecotoxicidad de agua dulce</i>	40
7.4.13	<i>Ecotoxicidad marina</i>	41
7.4.14	<i>Toxicidad carcinogénica humana</i>	42
7.4.15	<i>Toxicidad no carcinogénica humana</i>	43
7.4.16	<i>Uso del suelo</i>	44
7.4.17	<i>Escasez de recursos minerales</i>	45
7.4.18	<i>Escasez de recursos fósiles</i>	46
7.5	<i>Análisis de sensibilidad de los datos</i>	47
7.6	<i>Propuesta para la mitigación de impactos</i>	49
7.6.1	<i>Alternativas tecnológicas para el riego</i>	49
8	<i>Conclusiones</i>	53
9	<i>Recomendaciones</i>	54
	<i>Bibliografía</i>	56
	<i>Anexos</i>	64
	<i>Anexo A. Formato de Recolección de Datos</i>	64

Listado de Tablas

<i>Tabla 1. Clasificación de familia botánica para la quinua</i>	13
<i>Tabla 2. Matriz de Metodología</i>	19
<i>Tabla 3. Inventario global de la producción de 50 Kg de quinua</i>	23
<i>Tabla 4. Bibliotecas implementadas para elaborar el ICV del cultivo de la quinua</i>	24
<i>Tabla 5. Matriz energética PE-CO</i>	25
<i>Tabla 6. Procesos creados y modificados en SimaPro 8.5</i>	26

Listado de Figuras

Figura 1. Ubicación Tuta, Boyacá	15
Figura 3. Concepto de indicadores de categoría	18
Figura 4. Diagrama del ciclo de vida del cultivo de la quinua.....	22
Figura 5. Diagrama de red del ciclo de vida de la quinua.....	28
Figura 6. Diagrama de redes en el cultivo de quinua.....	48
Figura 7. Diseño sistemático de irrigación por goteo de bajo costo	51
Figura 8. Sistema de bombeo fotovoltaico.....	52

Listado de Gráficas

Gráfica 1. Caracterización del ciclo de vida del cultivo de la quinua (Midpoints).....	29
Gráfica 2. Evaluación por sustancia, Cambio Climático	31
Gráfica 3. Evaluación por sustancia, Agotamiento del ozono estratosférico.....	32
Gráfica 4. Evaluación por sustancia, Radiación Ionizante.....	33
Gráfica 5. Evaluación por sustancia, Formación de ozono (salud humana)	34
Gráfica 6. Evaluación por sustancia, formación de partículas finas	35
Gráfica 7. Evaluación por sustancia, formación de ozono (ecosistemas terrestres)	36
Gráfica 8. Evaluación por sustancia, acidificación terrestre	37
Gráfica 9. Evaluación por sustancia, eutrofización de agua dulce.....	38
Gráfica 10. Evaluación de sustancias, eutrofización marina	39
Gráfica 11. Evaluación de sustancias, ecotoxicidad terrestre	40
Gráfica 12. Evaluación de sustancias, ecotoxicidad de agua dulce	41
Gráfica 13. Evaluación por sustancias, ecotoxicidad marina.....	42
Gráfica 14. Evaluación de sustancias, toxicidad carcinogénica humana.....	43
Gráfica 15. Evaluación de sustancias, toxicidad no carcinogénica humana.....	44
Gráfica 16. Evaluación de sustancias, uso del suelo.....	45
Gráfica 17. Evaluación por sustancia, escasez de recursos minerales	46
Gráfica 18. Evaluación de sustancias, escasez de recursos fósiles	47
Gráfica 19. Comparación de fertilizantes químicos con fertilizantes orgánicos.....	49

Lista de Abreviaciones

ACV Análisis de Ciclo de Vida

BPA Buenas Prácticas Agrícolas

EICV Evaluación del Impacto de Ciclo de Vida

EPA Agencia de Protección del Medio Ambiente, por sus siglas en inglés

FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

FSC Consejo de Administración Forestal, por sus siglas en inglés

ISO Organización Internacional de Estandarización, por sus siglas en inglés

ICV Inventario de Ciclo de Vida

ONUDI Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial

PAF Potential Acidifyng effect, por su abreviación en inglés

PDF Potentially disappeared fraction of species, por su abreviación en inglés

PNUMA Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente

REPA Análisis de Recursos y Perfil Ambiental, por sus siglas en inglés

SAC Sociedad Colombiana de Agricultores

SETAC Society de Química y Toxicología Ambiental, por sus siglas en inglés

TGS Teoría General de Sistemas

UPME Unidad de Planeación Minero Energética

UNEP Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente, por sus siglas en inglés

10YFP Marco Decenal de Consumo y Producción Sostenible, por sus siglas en inglés

Resumen

Esta investigación busca evaluar los impactos ambientales generados por un cultivo de quinua en el municipio de Tuta, en el departamento de Boyacá. Esto con el fin de realizar recomendaciones en el proceso que puedan reducir los impactos ambientales generados.

Utilizando la metodología de análisis de ciclo de vida se evaluaron los impactos relacionados con el cultivo de 50 kg de quinua. El método de análisis utilizado fue ReCiPe 2008 que fue corrido en el software SimaPro 8.5 que estiman los impactos ambientales.

Para este análisis se tuvieron en cuenta 4 subsistemas del cultivo, el primero la preparación del suelo, la segunda el riego, el tercero los fertilizantes e insecticidas y el ultimo la cosecha. Se identificaron que los puntos críticos fueron toxicidad no cancerígena humana con 5,02 kg 1,4-DCB, calentamiento global 2,97 kg CO₂, ecotoxicidad terrestre 1,24 kg 1,4-DCB, escasez de recursos fósiles 1,02 kg de oil eq.

Teniendo en cuenta los puntos críticos se recomendó el cambio de tipo de riego a uno por goteo o el uso de bombeo fotovoltaico que reduce la cantidad de GHG.

Palabras Clave: Impactos ambientales, Análisis de Ciclo de Vida, Quinua

Abstract

This research seeks to evaluate the environmental impacts generated by a quinoa crop in Tuta, Boyacá. The aim of the investigation is to generate recommendations that can be applied to the process, once these are applied the environmental impacts can be reduced.

Using the methodology of life cycle analysis, the impacts related to the cultivation of 50 kg of quinoa were evaluated. The analysis method used was ReCiPe 2008, in SimaPro 8.5 that estimated the environmental impacts.

For this analysis, 4 subsystems of the crop were taken into account, the first the preparation of the soil, the second the irrigation, the third the fertilizers and insecticides and the last the harvest. The critical points were identified as non-carcinogenic human toxicity with 5.02 kg 1,4-DCB, global warming 2.97 kg CO₂, earth ecotoxicity 1.24 kg 1,4-DCB, shortage of fossil resources 1.02 kg of oil eq.

Taking into account the critical points, it was recommended to change the type of irrigation to one by drip and the use of photovoltaic pumping that reduces the amount of GHG.

Key Words: Environmental Impacts, Life Cycle Analysis, Quinoa

Introducción

La atención al sector agrícola surge a raíz de un acercamiento de la Universidad del Bosque con la Universidad de Turku haciendo énfasis en los cultivos andinos. La quinua es un pseudocereal que tienen un potencial nutritivo y agrícola muy extenso. Pero los estudios realizados en cuanto a la producción son muy limitados. En vista de que el conocimiento sobre los impactos generados por el cultivo es limitado a un estudio realizado en Perú. Se estableció una intervención viable y efectiva por medio del análisis de ciclo de vida. De esta manera se desarrolló el objetivo general del trabajo que es evaluar los impactos ambientales generados por un cultivo de quinua en una finca ubicada en Tuta, Boyacá, mediante la herramienta de análisis de ciclo de vida.

En análisis de ciclo de vida tiene en cuenta los impactos antes y después de la vida útil del productos esto hace posible calcular los flujos directos y los flujos indirectos en el proceso de producción (“What is Life Cycle Thinking?”, s/f)

El análisis de ciclo de vida es una herramienta para la ingeniería ambiental que ayuda a interpretar los impactos desde un enfoque sistemático. Permitiendo realizar una serie de recomendaciones en el cambio de los procesos utilizados en la finca. A continuación se hace un resumen del contenido del documento que permito evaluar los impactos ambientales.

La presentación del documento se realizo en nueve capítulos, cada uno de ellos responde a diferentes interrogantes que se tuvieron en cuenta durante la realización del escrito. Los primeros cinco capítulos que analizan la situación y se dividen en los siguientes apartados planteamiento del problema, justificación, línea de investigación y objetivos.

La segunda sección se realiza para el entendimiento y contextualización del lector, se tienen en cuenta todos los marcos de referencia. Dentro de esta sección se acaparan los siguientes subtítulos, antecedentes, marco teórico, marco conceptual, marco normativo, marco geográfico y socioeconómico, también se tiene en cuenta el enfoque, alcance y método de investigación, para finalizar esta sección se tuvo en cuenta los métodos para realizar el análisis de ciclo de vida.

Por ultimo en la tercera sección del documento se tienen en cuenta los resultados y análisis seguido por las conclusiones y recomendaciones.

Este trabajo aporta desde la ingeniería ambiental ya que identifica los posibles impactos que genera un cultivo que puede llegar a ser un potencial en Colombia. Es un aporte cuantitativo y se debe tener en cuenta para la toma de decisiones de los actores involucrados, en especial los productores.

1 Planteamiento del Problema

El sector alimentario, como es la producción y el consumo de alimentos, hace parte de un proceso complejo que incluye una amplia gama de sistemas como son las actividades agrícolas y ganaderas, procesamiento, distribución, preparación, consumo y gestión de residuos (González-García, Esteve-Llorens, Moreira, & Feijoo, 2018). La reciente intensificación de la agricultura ha tenido un impacto perjudicial en los ecosistemas terrestres y acuáticos no agrícolas del mundo. La duplicación de la producción de alimentos agrícolas en los últimos 35 años se asoció con un aumento de 6,87 veces en la fertilización con nitrógeno, 3,48 veces en la fertilización con fósforo, 1,68 veces la cantidad de tierra en cultivo irrigadas y 1,1 veces en tierra en cultivo. El uso indiscriminado de estos ha generado impactos en los ecosistemas marinos y de agua dulce, que son eutrofizados por las altas tasas de liberación de nitrógeno y fosforo de los campos agrícolas (Tilman, 1999).

La principal causa para la pérdida de ecosistemas de páramo y bosque, están relacionados con la expansión de la frontera agrícola. La crisis ambiental actual se debe a la agricultura intensiva, el uso de fertilizantes, el uso de plaguicidas, que generan la compactación de los suelos, erosión, salinización y desertificación, contaminación del recurso hídrico, generación de gases de efecto invernadero, entre otros (Calderón Cuartas, s/f). En Colombia más del 65 % de la cobertura natural ha sido remplazada por la ganadería y la agricultura.

En el 2016 en país existían 5,121.508 hectáreas cultivadas según un informe realizado por la Encuesta Nacional Agropecuaria (ENA), de estas el 19.8 % corresponde a cultivos de cereales (Dane, 2016). En cuanto a la producción de cereales se estimo aproximadamente 4,78 millones de toneladas por año (PORTAFOLIO, 2017).

La quinua pertenece al grupo de los cereales, y esta ha tenido un aumento progresivo en cuanto a su producción en los últimos años(FAO-ALADI, 2014). Los mayores productores en Latinoamérica son Bolivia, Perú y Ecuador. En Colombia se registran pequeñas producciones, en el 2016 el Ministro de Agricultura y Desarrollo Rural, Aurelio Iragorri Valencia informó que el país contaba con 2.550 hectáreas sembradas de quinua cuya producción anual es de 4.781 toneladas al año. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2016) La mayoría de la exportación es hacia los Estados Unidos y Italia y en menores cantidades a Emiratos Árabes Unidos, Australia, España y Taiwán. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2016)

Cada día los consumidores son más conscientes de los alimentos que adquieren y se ha observado un incremento en la tendencia en el consumo de alimentos con bajos impactos ambientales (Shewmake, Okrent, Thabrew, & Vandenberg, 2015). Considerando las propiedades nutricionales de la quinua, como el alto contenido de proteínas, ha surgido el interés de conocer los impactos ambientales generados por este (González-García et al., 2018). En el país existe una variedad de quinua que produce una menor cantidad de saponinas. La saponina produce un sabor amargo en la cáscara de la semilla.(Ahumada, Ortega, Chito, & Benítez, 2016a) Generando interés internacional en cuanto a este

cultivo. De esta forma se busca identificar cuáles son los impactos ambientales que se generan en un cultivo de quinua, desde la perspectiva del análisis de ciclo de vida.

2 Pregunta de investigación

¿Cuáles son los impactos ambientales que se generan en un cultivo de quinua, desde la perspectiva del análisis de ciclo de vida?

3 Justificación

El interés por evaluar los impactos ambientales de la quinua surge como consecuencia de un acercamiento entre de la Universidad el Bosque y la Universidad de Turku, asociado con los cultivos andinos en Colombia y en Perú.

Dentro de los cultivos andinos se encuentra la quinua (*Chenopodium quinoa L*) un pseudocereal de gran importancia, que se originó en Latino América. Es comercializado por sus semillas que tienen un alto contenido nutricional. Este es una excelente fuente de proteínas y debido a su alta calidad puede llegar a remplazar las proteínas animales necesarias en una dieta. Además contiene un alto contenido de lisina comparado con los cereales, y la composición proteína aminoácida es balanceada (Preedy, Watson, & Patel, 2011). Además de tener propiedades nutricionales las características físicas son excepcionales, este pseudocereal andino se ha adaptado a diferentes áreas dependiendo de factores abióticos. Permitiéndole desarrollarse en diversas zonas andinas (Cancino-Espinoza, Vázquez-Rowe, & Quispe, 2018). Teniendo la capacidad de adaptarse a cambios climáticos y una alta resistencia a plagas

La alta demanda por la quinua está asociada a tendencias mundiales de patrones de consumo, que favorece aquellos alimentos que tengan características nutricionales saludables, ofrezcan garantías de sanidad e inocuidad, con condiciones de ser productos orgánicos o de bajos impactos ambientales. El hecho que el producto cumpla con las características permite agregar valor al alimento que garantiza una demanda dinámica con el mercado internacional(FAO-ALADI, 2014).

El motor de expansión de la quinua se debe a que es un producto natural que contiene un alto valor nutritivo que han permitido el aumento de la demanda en países desarrollados.(González-García et al., 2018) Las altas demandas a nivel mundial, han generado un ingreso de más 135 millones de dólares en el 2012. Desde el año 2012 la Organización Mundial de Aduanas introdujo una enmienda del Sistema Armonizado de Designación y Codificación de Mercancías para la apertura del producto permitiendo la comercialización de este. La proyección de la demanda externa para la adquisición del producto y las estadísticas muestran que las cifras externas para la compra del producto son de 10% anual con una proyección de duplicar la demanda. (FAO-ALADI, 2014). Favoreciendo la producción

de países como Colombia cuya proyección es a duplicar las hectáreas productivas. (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, 2016)

La investigación permite identificar las etapas del proceso en la cuales se deben realizar mejoras para que de esta forma el cultivo reduzca sus impactos ambientales. Este proyecto va dirigido a los agricultores que cultivan quinua. Esto se realiza por medio de herramientas de evaluación ambiental.

4 Línea de Investigación

La gestión integral sustentable examina metodologías para el mejoramiento de sistemas de producción por medio del diseño y la implementación de proyectos. Busca crear valor proponiendo e implementando sistemas de gestión en los procesos humanos y productivos, sin afectar los recursos ni la salud del hombre.

Está orientada a entender el funcionamiento de procesos en una empresa. Se deben identificar herramientas que desde la ingeniería ambiental apoyen la gestión de la organización. Se hará un diagnóstico para proceder con propuesta. Teniendo en cuenta la creación de valor y sin perjudicar el ambiente.

El área de profundización es la gestión y productividad sustentable que se basa en abordar los problemas de sistemas organizacionales por medio de proyectos que aumenten la calidad, productividad y competitividad.

5 Objetivos

5.1 Objetivo General

Evaluar los impactos ambientales generados por un cultivo de quinua en una finca ubicada en Tuta, Boyacá, mediante la herramienta de análisis de ciclo de vida.

5.2 Objetivos Específicos

- Elaborar un análisis de ciclo de vida para un cultivo de quinua en Tuta, Boyacá, bajo el estándar ISO 14044
- Diseñar una propuesta para la mitigación de los impactos ambientales negativos para la finca seleccionada

6 Marcos de Referencia

6.1 Marco de Antecedentes

En esta sección de la investigación se mencionarán los marcos teóricos y conceptuales que se asocian a los objetivos de esta investigación. Con el fin de inscribir el conjunto de conocimientos, conceptos y

teorías que se han desarrollado por otros investigadores. En primer lugar analizaremos los antecedentes, se realiza una revisión bibliográfica en la que se recopila información sobre ACV en cuanto a investigaciones que se han hecho previamente. A continuación seguiremos con el marco donde se describen detalladamente los elementos de las teorías. Para luego suministrar información sobre las principales definiciones que se abordan en el estudio, en el marco conceptual. Seguido del marco geográfico y demográfico del municipio de Tuta, donde se define el lugar y el espacio de realización del estudio. Finalizando con el marco legal donde se incluyen leyes, decretos y normas relacionadas con la quinua y sus impactos ambientales(Ramirez, s/f).

6.1.1 Antecedentes

Se debe contextualizar el estado en el que se encuentra la investigación con respecto a los impactos ambientales generados por los cultivos en Latinoamérica como en el mundo. Empezaremos por conocer la historia que ha tenido el análisis de ciclo de vida a través de la historia, como también las investigaciones que se han realizado con respecto ACV Latinoamérica y un estudio ACV en Perú uno de los mayores productores de quinua en el mundo (Laguna, Cáceres, & Carimentrand, 2006).

Comenzaremos con la historia general del análisis de ciclo de vida. Los gobiernos alrededor del mundo han fomentado el uso de los análisis de ciclo de vida como un elemento primordial para la toma de decisiones ambientales. Los primeros análisis de ciclo de vida se realizaron en la década de 1970, época donde surgen una preocupación pública en cuanto a los problemas ambientales relacionados con los recursos, eficiencia energética, y aguas residuales. Durante 1980 surgen problemas relacionados con los enfoques, terminologías y discusiones en los ACV a raíz de esto en la década de los 90 se produce la armonización del marco de referencia, terminología, y metodología por medio de la organización Internacional de Estandarización (ISO). En la actualidad existen dos estándares internacionales ISO 14040 (2006) Gestión Ambiental- Análisis de ciclo de vida- Principios y marco de referencia y la ISO 14044 (2006) Gestión Ambiental- Análisis de ciclo de vida – Requisitos y directrices (Ahumada, Ortega, Chito, & Benítez, 2016b).

En Estados Unidos en la década de los 60 se relaciona con los análisis de recursos del perfil ambiental (REPA) impulsado por el manejo de los desechos sólidos. A finales de esta década toma un enfoque de gestión energética basada en el ciclo de vida. Durante esta época Coca Cola realizó uno de los primeros análisis de impactos ambientales de amplia gama. Este estudio inicial establecieron escenarios para evaluaciones de mayor alcance que se realizarían en el futuro. La primera publicación que utiliza el término “evaluación de ciclo de vida” se publica en el año 1990 que establece la metodología utilizada en la actualidad. A finales de 1980 y principios de 1990 por temas mundiales como el agotamiento de ozono y el cambio climático se expanden los temas de locales y regionales a más internacionales (McManus & Taylor, 2015). En la década de los noventa este flujo de información llega a Latino América donde se empiezan a realizar los primeros análisis de ciclo de vida; a continuación, discutiremos el avance que han tenido los estudios en México.

La evolución del análisis de ciclo de vida en Latino América se ha dado de una forma más lenta a comparación de países desarrollados, esto se debe a que los recursos se ven limitados a resolver

problemas como la pobreza, equidad, corrupción y educación. Sin embargo el uso del ACV surge ante la preocupación ambiental. Aunque los ACV se han desarrollado desde 1999 los avances independientes generan la percepción de que el progreso en cuanto al ACV ha sido mínimo. Ya que no existe cooperación ni comunicación con los facultativos en ACV(Güereca, Sosa, Gilbert, & Reynaga, 2015).

La primera implementación de ACV se dio a finales de los 90 por medio del instituto Nacional de Ecología de México donde se investigó sobre el manejo de desechos y de empaques. De manera paralela el sector académico uso las metodologías para llevar a cabo investigaciones en diferentes áreas. Desde ese entonces se ha vuelto una herramienta para evaluar impactos ambientales generados por los productos de la industria permitiendo implementar estrategias de ecodiseño para mejorar la operación y la eficiencia de manufactura(Güereca et al., 2015).

Aunque el gobierno realizó los primeros ACV, las comunidades académicas fueron las verdaderas pioneras. Colaborando con investigadores de Estados Unidos, Europa y Asia, que les permitió iniciar proyectos relacionados con plantas de tratamiento de agua residual y celdas de combustible de hidrogeno. Hasta el 2010 los análisis de ciclo de vida realizados por las comunidades académicas se enfocaban en la gestión de residuos. Desde ese año hubo una transición al estudio de sistemas de energía, carbón y el sector constructor(Güereca et al., 2015).

En cuanto al sector privado el interés surge por empresas interesadas en mercados internacionales, empresas susceptibles de crecimiento internacional y soporte nacional para la regulación ambiental. Las empresas que realizaron ACV fueron: CEMEX una de las cementeras más grandes del mundo que realizó la evaluación de su proceso de manufactura, el sector minero implementado metodologías de inventario para varios procesos de metalúrgica, el sector del calzado , Petróleos Mexicanos (PEMEX) y la comisión Federal de Electricidad(Güereca et al., 2015).

Por otra parte el gobierno mexicano se unió en el 2003 a la estrategia regional de consumo y de producción sostenible. Por medio de este se actualizo la legislación ambiental para que se basara en un enfoque de ACV.

En conclusión ACV en México ha prosperado y sigue creciendo, pero para mejorar los estudios, políticas, y análisis, un inventario nacional de análisis de ciclo de vida debe desarrollarse y actualizarse. También se debe tener la guía adecuada y el entrenamiento necesario para garantizar la calidad de los métodos y resultados de los ACV (Güereca et al., 2015). En cuanto al progreso del análisis de ciclo de vida de la quinua se encontró un estudio realizado en 2018 en Perú.

6.1.2 Estado del arte

El artículo se titula Producción de quinua orgánica (*Chenopodium quinoa L.*): *Hotspots* ambientales y seguridad alimentaria consideraciones usando Análisis de ciclo de vida. El objetivo general del estudio es analizar los impactos ambientales asociados con la producción y distribución de química orgánica a los mayores destinos de exportación por medio de la aplicación de la metodología de análisis de ciclo

de vida. El estudio es relevante ya que muy poco se conoce sobre los impactos ambientales generados por la producción y el procesamiento de la quinua (Cancino-Espinoza et al., 2018).

Para la realización del estudio se incluyeron datos de aproximadamente 55 has sembradas de quinua en las regiones de Huancavelica y Ayacucho en Perú. Para la estimación de impactos ambientales se utilizaron dos métodos IPCC, 2013 y ReCiPe, 2008 utilizando el software *SimaPro* 8.3 (Cancino-Espinoza et al., 2018) Como unidad de análisis se calculó para un paquete de 500g de quinua.

Los resultados obtenidos muestran que los gases de efecto invernadero se encuentran el rango superior en comparación a otros productos agrícolas orgánicos. Por el contrario, comparado con otros productos alimenticios como aquellos de origen animal, los impactos ambientales son considerablemente bajos(Cancino-Espinoza et al., 2018).

En conclusión, la quinua presenta impactos ambientales parecidos a los del trigo y al arroz. A pesar de que los impactos para la quinua aparecen en los altos rangos. La quinua presenta un sobresaliente perfil ambiental en comparación a otros productos altos en proteína.(Cancino-Espinoza et al., 2018)

La investigación realizada en Perú se relaciona mucho con el trabajo realizado en esta investigación. El estudio es la base referente para la investigación; porque, se utilizó la misma metodología y la misma unidad de análisis para la comparación de cultivos de quinua en Boyacá, Colombia.

6.2 Marco Teórico

La investigación se basa en los principios de la teoría general de sistemas y la ecología industrial como en el enfoque de ciclo de vida. Es importante tener claras las teorías, para de esta forma poder analizar los resultados obtenidos. A continuación, se definirá el la teoría general de sistemas.

La teoría general de sistemas definida por Bertalanffy, 1968 aparecen en la ciencia moderna con el termino de integridad de problemas de la organización, fenómenos que no se resuelven en eventos locales. Las dinámicas de la interacciones se manifiestan de maneras diferentes cuando las partes se ven aisladas (Bertalanffy, 1968). Asimismo, la teoría general de sistemas está asociada al análisis de las totalidades y las interacciones internas y externas de su medio, es una herramienta que permite la aplicación de los fenómenos que están sucediendo, pero también permite predecir su futura conducta (Johansen-Bertoglio, 1993). Además de teoría general de sistemas exploraremos la ecología industrial.

Raymond Côté compilo una serie de definiciones de la **ecología industrial** , que se puede resumir en tres elementos. El primero, una visión sistemática, comprensiva e integrada de todos los componentes de una economía industrial y la relaciones con la biosfera. La segunda, enfatiza el sustrato biofísico de las actividades humanas, como los patrones complejos de flujos de materia dentro y fuera del sistema industrial, en contraste con los enfoques actuales que en su mayoría, considera la economía en términos de unidades abstractas monetarias o alternativamente en flujos de energía. En último lugar, se consideran las dinámicas tecnológicas, o sea la evolución a largo plazo de grupos de tecnología como un elemento crucial para la transición del actual sistema insostenible a un ecosistema industrial viable (Erkman, 1997). En resumen, la ecología industrial se basa en la perspectiva ganar-ganar, en donde

económicamente y ambientalmente es posible convertir los residuos de un proceso en insumos para otro proceso (Martínez-Alier, 2003).

El **enfoque de ciclo de vida** significa reconocer como nuestras decisiones pueden influir lo que sucede en cada uno de los puntos para poder equilibrar las concesiones e impactar de forma positiva la economía, el medioambiente y la sociedad. Este es una forma de pensar que permite reconocer como nuestras elecciones son parte de un sistema completo de eventos. Permite identificar oportunidades y riesgos de un producto o tecnología, a través de todo el proceso, desde las materias primas hasta la disposición (UNEP, 2004, p. 6). Implica que todo en la cadena productiva tiene una responsabilidad y un rol. Los impactos que generados en todas las etapas del ciclo de vida deben ser comprendidos por los ciudadanos, las compañías y los gobiernos cuando hacen decisiones de consumo y producción, políticas y estrategias de manejo. El enfoque de ciclo de vida permite que los diseñadores de productos, proveedores de servicios, agentes gubernamentales e individuos tomen decisiones a largo plazo con consideraciones de todo el ambiente (UN Environment, 2017).

6.3 Marco Conceptual

Teniendo en cuenta el marco teórico es necesario definir algunos conceptos como evaluación de impacto ambiental (EIA), enfoque de ciclo de vida, enfoque sistemático, análisis de ciclo de vida y puntos críticos o “Hotspots”.

6.3.1 Evaluación de impacto ambiental

Teniendo clara la definición de impacto ambiental es importante aclarar el concepto de evaluación de impacto ambiental. La evaluación en materia ambiental busca otorgar un valor justo a los aspectos ambientales, de forma que puedan integrarse, junto con las consideraciones sociales o económicas en el proceso de decisiones políticas (Cantarino, 1999). Evaluación de impacto ambiental es un término utilizado para la valoración de las consecuencias ambientales (positivas y negativas) de un plan, programa o proyecto antes de la decisión de seguir adelante con la acción propuesta (Speight, 2017).

Según Komínková evaluación de impacto ambiental puede ser definido como el proceso de recoger información sobre los impactos ambientales del proyecto propuesto y por consiguiente es relevante en la toma de decisiones (Komínková, 2013).

Se tendrá en cuenta la definición descrita en la Norma ISO 14040 (2006) que es: “La fase del análisis del ciclo de vida dirigida a conocer y evaluar la magnitud y cuán significativos son los impactos ambientales potenciales de un sistema del productor a través de todo el ciclo de vida del producto” (ISO, 2007).

6.3.2 Enfoque de ciclo de vida

El enfoque de ciclo de vida puede ser definido como los impactos generados en cuanto a materiales y recursos después del uso que se le da en el proyecto. Para un material, los impactos ocurren durante la cosecha o la extracción de materias primas, manufactura, envasado, transporte, instalación uso y por

último en el desecho. De manera similar los costos surgen no solo durante la fase inicial, también en la instalación, operación y mantenimiento, eliminación y disposición. El análisis de los impactos ambientales y costos financieros se evalúan durante toda la vida del producto o material (“Life Cycle Approach - GSA Sustainable Facilities Tool”, s/f).

De manera semejante la ONU ambiente define el termino de ciclo de vida, como un enfoque fuera de lo tradicional en cuanto a la producción y al proceso de manufactura ya que se incluyen los impactos ambientales, sociales y económicos de un producto durante su vida útil. El objetivo principal del enfoque de ciclo de vida es reducir el uso, las emisiones y los recursos que necesitan un producto, como también mejorar el rendimiento socio económico (“What is Life Cycle Thinking?”, s/f).

El enfoque de ciclo de vida tiene en cuenta los impactos antes y después de la vida útil del productos esto hace posible calcular los flujos directos y los flujos indirectos en el proceso de producción(Loiseau, Junqua, Roux, & Bellon-Maurel, 2012).

6.3.3 Enfoque Sistemático

El enfoque sistemático es un marco que analiza la organización como un sistema compuesto por subsistemas independientes e interactivos. El sistema de organización también está conectado a su entorno respectivo(IGI Global, s/f) Otra definición es el procesos usado para determinar la viabilidad de un proyecto o procedimiento basado en la aplicación experimental de unos pasos claramente definidos y la evaluación de los resultados. El objetivo es identificar lo vía más eficiente para generar resultados óptimos (Healy, 2009).

El enfoque sistemático está compuesto por tres cosas, elementos o características, interconexiones o la forma en que las características se relacionan o retroalimente entre sí, y una función o un propósito. Normalmente la función o propósito es el determinante más crucial del comportamiento del sistema(Arnold & Wade, 2015).

Se define como una forma de comprender la complejidad de lo de los sistemas económicos, sociales y ecológicos. Un sistema complejo es un conjunto de variables que interactúan y se comportan de acuerdo a los mecanismo o fuerzas que lo gobiernan (Williams, Kennedy, Philipp, & Whiteman, 2017).

6.3.4 Análisis de ciclo de vida

El análisis de ciclo de vida es una técnica para evaluar los aspectos ambientales asociados con la permanencia del producto; sus aplicaciones más importantes son el análisis de la contribución de las etapas del ciclo de vida a la carga ambiental, usualmente con el objetivo de mejorar el proceso o el producto, o para realizar comparaciones entre productos de uso interno (Muralikrishna & Manickam, 2017)

Alan McIntosh, en *Science and The Global Environment* dice que el análisis de ciclo de vida es el análisis de la “cuna a la tumba” y los costos ambientales asociados a un producto. ACV mide los impactos ambientales de cada paso en el ciclo de vida de un producto, empezando con la extracción de materiales, la energía necesitada para la manufactura del producto, el transporte y distribución del

producto, el uso del producto por el consumidor y terminando con la disposición del producto al final de su vida útil (McIntosh & Pontius, 2017).

Según la ISO 140140, 2007 el análisis del ciclo de vida (ACV) es la recopilación y evolución de las entradas, las salidas y los impactos ambientales potenciales de un sistema del producto a través de su ciclo de vida. (ISO, 2007)

6.3.5 Puntos críticos o “Hotspots”

Los puntos críticos se define como una etapa del ciclo de vida, proceso o flujo primario que representa una proporción significativa del impacto de la unidad funcional (Barthel, Fava, James, Hardwick, & Khan, 2017). Por medio del análisis de puntos críticos se puede dar un conocimiento más comprensivo de los impactos, permitiendo priorizar los recursos y las acciones de los productos que realmente tiene un peso sobre el medio ambiente. Los puntos críticos permiten asimilación rápida y el análisis de un rango de fuentes que incluyen los análisis de ciclo de vida. Los resultados arrojados por el análisis se pueden utilizar para identificar soluciones y priorizar acciones en las áreas económicas, ambientales, éticas y sociales que pueden tener impactos o beneficios asociados con la industria (UNEP-SETAC, 2014).

6.3.6 Proceso de producción de la quinua

A continuación se mencionara el proceso que se lleva a cabo para el cultivo de quinua en Tuta, Boyacá. Basándose en la guía de cultivo de la quinua realizada por la Universidad Nacional Agraria La Molina en Perú con apoyo de la FAO. El cultivo incluye la preparación del suelo, la siembra, la fertilización, deshije o raleo, manejo de enfermedades y plagas, y la cosecha(Gómez P. & Aguilar C., 2016).

La preparación del suelo incluye, el arar que consta de un proceso en el que se logra cortar, desmenuzar y voltear la capa utilizable del suelo. Luego de esto se hace el desterronado que hace para reducir los terrones que se generan después de la arada. Después se hace una nivelación del terreno que reduce las partes hondas en donde se puede encharcar el agua. Estos tres procesos se realizan con el uso de un tractor (Gómez P. & Aguilar C., 2016). Una vez realizada la preparación del suelo se realizan surcos con el uso de un caballo o una surqueadora mecánica.

A continuación, la siembra que se realiza con chorro continuo de semillas, que se ubican en el lomo del surco dependiendo de la cantidad de precipitación. Posteriormente, se realiza el proceso de fertilización, que es muy importante ya que el cultivo necesita nutrientes y elementos como el oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre. Se debe aplicar una dosis de 300-120-300 kg de nitrógeno- fósforo-potasio.

Cuando las plantas de quinua tienen una estatura de 15 a 20 cm se realiza el deshije que permite dar más espacio a las plántulas, nutrientes y aire para que crezcan. El manejo de enfermedades y plagas se hace por medio de un control químico que se aplica en los primeros 60 días.

En cuanto a la cosecha, el primer paso es la siega, consiste en cortar con una hoz la plantas a unos 20-30 cm de suelo deben tener un 20 % de humedad. Después se debe secar con los panojas hacia arriba

para tener una humedad adecuada de 12-15% para el trillado. La trilla se realiza con trilladora estacionaria de cereales en la que colocan las panojas en la entrada de la trilladora. Los granos quedan enteros y limpios, libres de envoltura florales (Gómez P. & Aguilar C., 2016).

En el manejo post cosecha se seca por medios naturales empleando rayos solares y el viento. Se colocan sobre una lona con un espesor de 5cm y remueven los granos cada 30 minutos. Para bajar el contenido de humedad. Para el almacenamiento se deben colocar en sacos sobre una tarima para evitar el contacto directo con el piso del almacén y deben estar 80cm alejados de la pared y más de 150cm del techo. El almacén debe ser fresco, seco y con piso de cemento (Gómez P. & Aguilar C., 2016).

6.4 Marco Normativo

Para la realización de este marco se tuvo en cuenta el modelo que plantea Hans Kelsen que dice “el sistema jurídico no es un complejo de normas en vigor, unas junto a otras, sino una pirámide o jerarquía de normas que son superpuestas o subordinadas las unas a las otras, superiores o inferiores” (Ost, s/f)

El triángulo tiene en su punta la constitución seguida por las leyes, órganos administrativos y judiciales y su base consta de los actores y administrativos y las sentencias. Teniendo en cuenta esta pirámide se desarrolló el marco normativo.

6.4.1 Políticas internacionales

En la conferencia de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo Sostenible¹ se recalcó la necesidad de promoción de patrones de consumo y producción sostenibles. En este se planteó el marco de 10 años de programas de consumo y producción sostenible (**10 YFP**²). Los objetivos principales se basan en dar soporte regional y nacional en cuanto a las políticas iniciativas de esta forma se acelere el proceso hacia el consumo y producción sostenible (CPS). El segundo objetivo integra el CPS en las políticas, programas y estrategias de desarrollo sostenible. Como tercer objetivo, proporcionar asistencia financiera y técnica y desarrollo de capacidades a los países en desarrollo. Por último, permitir que todas las partes interesadas compartan información y conocimiento (UNEP, 2013).

Para asegurar la prosperidad para todos en la nueva agenda de desarrollo sostenible, en septiembre de 2015 los líderes mundiales adoptaron los objetivos globales de desarrollo sostenible (**ODS**). Los ODS se basan en diecisiete objetivos nuestro enfoque va centrado en objetivo número doce que habla sobre la producción y consumo responsable (United Nations, 2017).

El objetivo doce consiste en garantizar modalidades de consumo y de producción sostenibles. El objetivo tiene diferentes metas entre ellas es importante destacar la 12.3 que señala el cambio hacia el consumo y la producción sostenibles en el sistema alimentario como también la meta 12.8 que señala la

¹ Río + 20 reunión de jefes de estado realizada en junio del 2012

² Marco Decenal de Programas de Consumo y Producción Sostenibles

importancia de la información al consumidor y de la educación para el desarrollo sostenible y los estilos de vida (Hoballah, 2015).

6.4.2 Nacional

El programa Nacional para la Productividad y Competitividad (**PNPCS**) se creó en 1999 a partir de la aprobación de la Ley 508 de 1999. Tiene como objetivo financiar programas de productividad e innovación al interior de las empresas (Encuentro, La, & La, 2009). “*Se encargó de articular los esfuerzos de las diferentes entidades para la identificación, priorización y solución de obstáculos a la competitividad del país asociados con los factores determinantes de la competitividad.*” (“Red Colombia Compite”, s/f)

La **Constitución Política de Colombia** : “Establece el derecho a la alimentación equilibrada como un derecho fundamental de los niños y en cuanto a la oferta y la producción agrícola se establecen los deberes del Estado en esta materia ” (Colombia, 1991).

Con respecto a la normatividad ambiental se tendrán en cuenta **Decreto 948 de 1995** donde se decreta el reglamento de protección y control de la calidad del Aire (Ministerio del Medio Ambiente, 1995). Como también la **Resolución 909 de 2008** por la cual se establecen las normas y estándares de emisiones admisibles de contaminantes a la atmósfera por fuentes fijas (MINISTERIO DE AMBIENTE, 2008). Ya que se tuvieron en cuenta la emisiones generadas por varias fuentes a lo largo del proceso del cultivo

Siguiendo el orden jerárquico establecido por Kelsen se establece la **Resolución 4754 DE 2011** (Diciembre 7) “Por medio de la cual se establecen los requisitos para la ampliación de uso de bioinsumos y plaguicidas químicos de uso agrícola en los cultivos menores y se dictan otras disposiciones”. El siguiente es el apartado que se anexado a la resolución. Es importante tener en cuenta los fertilizantes ya que son una entrada importante del sistema. A partir de la resolución 4754 de 2011 , se anexa la **Resolución 2004 DE 2015** (Junio 19) “Por medio de la cual se modifica el Anexo 1 de Resolución 4754 de 2011”.

Grupo 14. Cereales menores. Son plantas gramíneas que producen una inflorescencia con granos que representan el cereal que les da el nombre popular por el general. El cultivo referencia de este grupo es el maíz de la especie *Zea mays* correspondiente a la familia botánica Poaceae.

Además se incluye la tabla de la clasificación que incluye a la quinua categorizada por su especie y familia botánica.

Tabla 1. Clasificación de familia botánica para la quinua

Cereales	Especie	Familia Botánica
Avena	Avena Sativa	Poaceae
Cebada	Brachypodium retusum	Poaceae

Milo	Sorghum bicolor	Poaceae
Trigo	Desambiguación	Poaceae
Quinoa	Chenopodium quinoa	Amaranthaceae
Amaranto	Amaranthus caudatus	Fabaceae
Sorgo	Sorghum vulgare	Fabaceae

Fuente:((ICA), 2004)

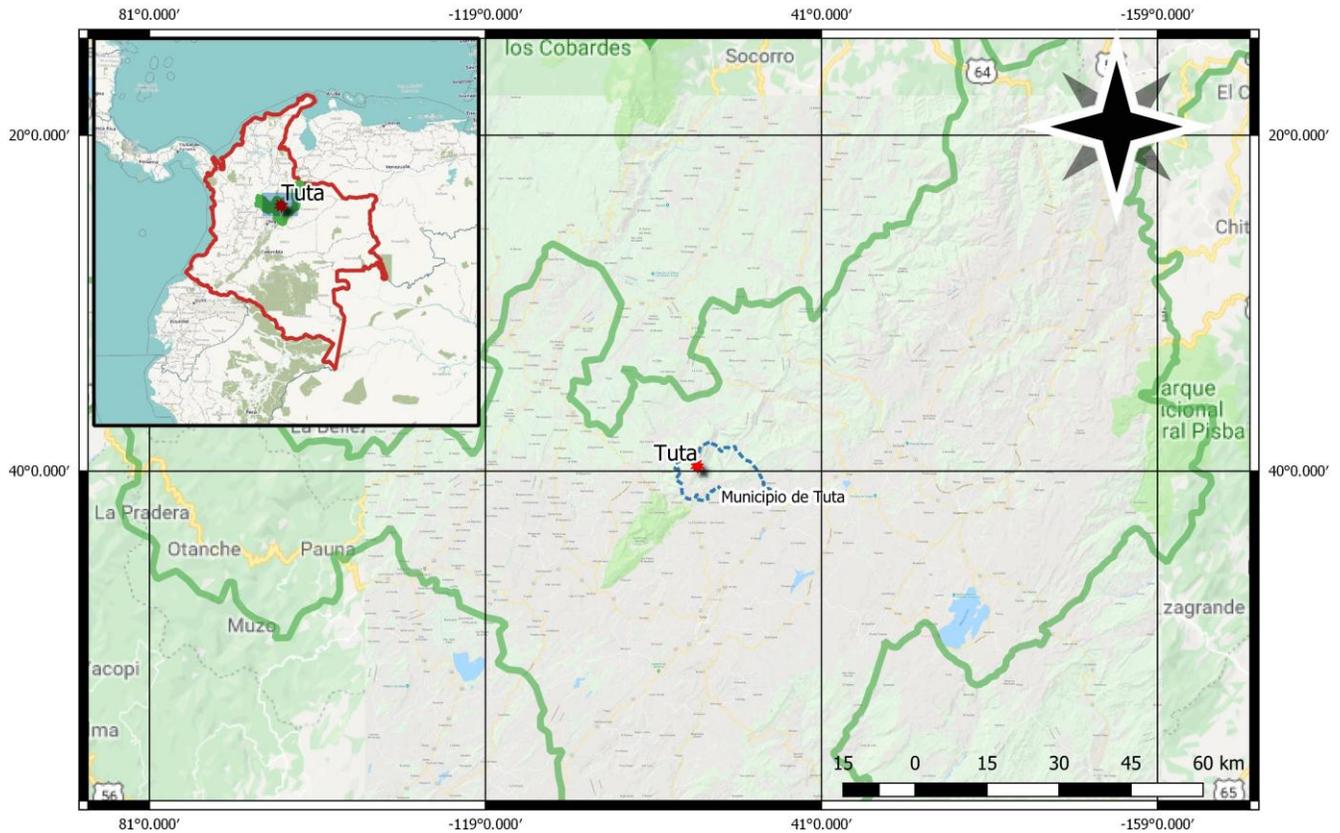
6.5 Marco Geográfico y Socioeconómico (Territorio)

6.5.1 Geografía

El municipio de Tuta, Boyacá está localizado a 05° 41'36" de latitud norte y 73° 13'51" de longitud oeste. Situado en centro-oriente de Colombia, en la región del Alto Chicamocha, en la provincia del Centro. La temperatura media es de 14°C, con una precipitación anual de 935mm. Está ubicada a una altura sobre el nivel del mar de 2600 metros. A una distancia de 26 km de Tunja, Boyacá. El área municipal consta de 165 km² que se dividen en 8 veredas: Alisal, Hato, Hacienda, San Nicolás, Leonera, Agua Blanca, Resguardo y Río de Piedras. El área urbana cuenta con 0.782 km² y el área rural 1639.22 km². Las principales vías de acceso son al oriente con los municipios de Paipa, Pesca y Firavitoba. En el occidente con el municipio de Combita, en el norte con los municipios de Sotaquirá y Paipa y al sur Chivata, Toca y Oicata ("Alcaldía de Tuta Boyacá", s/f). A continuación se observa un mapa geográfico de la ubicación de Tuta, Boyacá con respecto a Colombia, y la ubicación en Boyacá.

Figura 1. Ubicación Tuta, Boyacá

Ubicación de Tuta, Boyacá en Colombia



Fuente: Elaborada por autor

6.5.2 Economía

El municipio basa su economía en la agroindustria con la presencia de complejos siderúrgicos y producción de cultivos de: papa, fríjol, maíz, arveja, cebolla y frutales caducifolios. Aunque el municipio cuenta con un sector ganadero hay una tendencia hacia el crecimiento agrícola, debido a su topografía, clima y localización de cultivos de clima frío como los caducifolios (durazno, ciruela, manzano, pera) y otros frutales (fresa, mora, uchuva) (Matiz Acosta, Arciniegas Riveros, Arias Walteros, & Ruiz Romero, 2013).

Según el IGAC, 2008 el municipio de Tuta tiene una vocación de uso forestal (42%), agrícola de (32%), conservación de recursos hídrico e hidrobiológicos (4%).(Matiz Acosta et al., 2013)

6.5.3 Demografía

Según el plan de desarrollo de 2012-2015 de Tuta Boyacá en el año 2010 había una población de 8980 habitantes. La mayoría de la población se encuentra ubicada en el sector rural, ya que este es extenso.

Tiene un total de 532 niños de las edades 0 a 5 años de los cuales el 82% pertenece al área rural. Hay un total de 1032 niños entre las edades 6 y 11 años de los cuales el 81% se ubica en el área rural. La población adolescente entre los 12 y 17 años, hay un total 1150 y el 79% se encuentra en el sector rural. En cuanto a la población entre los 14 y 26 años considerados jóvenes hay un total de 82% que pertenecen al sector rural. En conclusión se puede decir que la mayor parte de los habitantes del municipio están ubicados en el campo (Cardona Leon, 2012).

6.6 Enfoque, alcance y método de investigación

6.6.1 Enfoque de la investigación

El análisis de ciclo de vida según Mark Goedkoop es un estudio cuantitativo que genera las bases para llevar a cabo actividades dentro de la organización. El ACV es usado para monitorear y medir los impactos ambientales (Goedkoop, Oele, Leijting, Ponsioen, & Meijer, 2016). De acuerdo con Sampieri, el enfoque cuantitativo lleva un orden riguroso debido a que cada etapa precede a la siguiente, además se realiza la medición de variables mediante métodos estadísticos en este caso por medio del software SimaPro 8.2 (Sampieri, s/f).

6.6.2 Alcance y límite

El alcance de este proyecto es de tipo descriptivo debido a que busca especificar las propiedades, y características de un cultivo de quinua en el municipio de Tuta, en el departamento de Boyacá (Sampieri, s/f). Se analizan los impactos ambientales generados por el cultivo con el fin de poder generar una propuesta para mitigar los impactos generados.

El proyecto tuvo una duración de 4 meses, comenzando en julio del semestre 2018-2 y finalizando en noviembre en el semestre 2018-2.

6.6.3 Método

El método en el que se basa esta investigación es de carácter deductivo, debido a que el software SimaPro 8.2 analiza los efectos inmediatos del proceso por lo que se constituye un estudio que va de lo general a lo particular (Sánchez, 2012)

6.7 Análisis del Ciclo de Vida según la norma NTC – ISO 14044:2006

Según la norma NTC- ISO 14044: 2006 para utilizar la herramienta de análisis de ciclo de vida se debe seguir un metodología que incluye el objetivo y del alcance, el análisis del inventario, la evaluación de impacto (Subcomité Técnico ISO/TC 207, 2006) y la interpretación de los resultados, todo esto con el fin de cumplir el objetivo general de la investigación; evaluar los impactos ambientales generados por un cultivo de quinua en una finca ubicada en Tuta, Boyacá, mediante la herramienta de análisis de ciclo de vida. Caso de estudio para una finca. Teniendo en cuenta los subtemas se agruparon de acuerdo a los objetivos específicos planteados.

6.7.1 Método para Objetivo específico 1

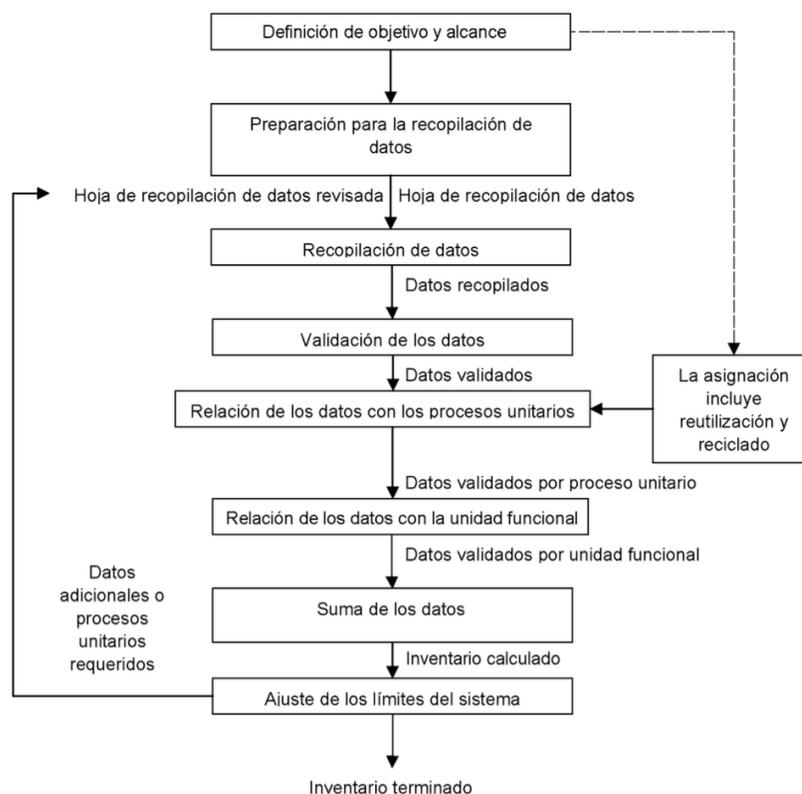
El primer objetivo específico; elaborar un análisis de ciclo de vida para un cultivo de quinua en Tuta, Boyacá, bajo el estándar ISO 14044. Dentro de este objetivo se tendrá en cuenta el objetivo y alcance del estudio, el análisis del inventario (ICV) y la evaluación del impacto (EICV) (Subcomité Técnico ISO/TC 207, 2006).

Para elaboración del objetivo del estudio no pueden existir ambigüedades en cuanto a las razones del estudio, la aplicación que se tendrá, el público a quien se prevé comunicar los resultados. En cuanto al alcance se debe describir el sistema del producto, las funciones del sistema, la unidad funcional y los límites del sistema. Dentro de los límites se deben tener en cuenta las entradas y las salidas y el nivel de detalle, en las entradas se incluyen criterios de evaluación, como la masa, energía y la importancia ambiental. De igual manera se tiene en cuenta los criterios para identificar las salidas del sistema. El objetivo y el alcance proporciona un plan inicial para luego seguir con la fase del inventario del ciclo de vida (Subcomité Técnico ISO/TC 207, 2006).

En la fase de análisis del inventario del ciclo de vida (ICV) se ejecutó el plan y se siguen los siguientes pasos. La recopilación de datos, cálculo de los datos y la asignación. Los datos que se obtuvieron que son medidos, calculados y estimados para cuantificar las entradas y salidas del proceso unitario. En el cálculo de los datos se validó la información por medio de balances de materia, energía y análisis comparativos de los factores de emisión y vertido. Durante esta fase se pudo hacer un ajuste de los límites del sistema en el que se pudo hacer exclusiones de las etapas del ciclo de vida, exclusiones de entradas y salidas si carecen de importancia de los resultados y se pueden incluir nuevos procesos unitarios.

Para mayor aclaración a continuación se observa un diagrama en el que se explica la secuencia que se tuvo en cuenta para la realización del análisis de ciclo de vida.

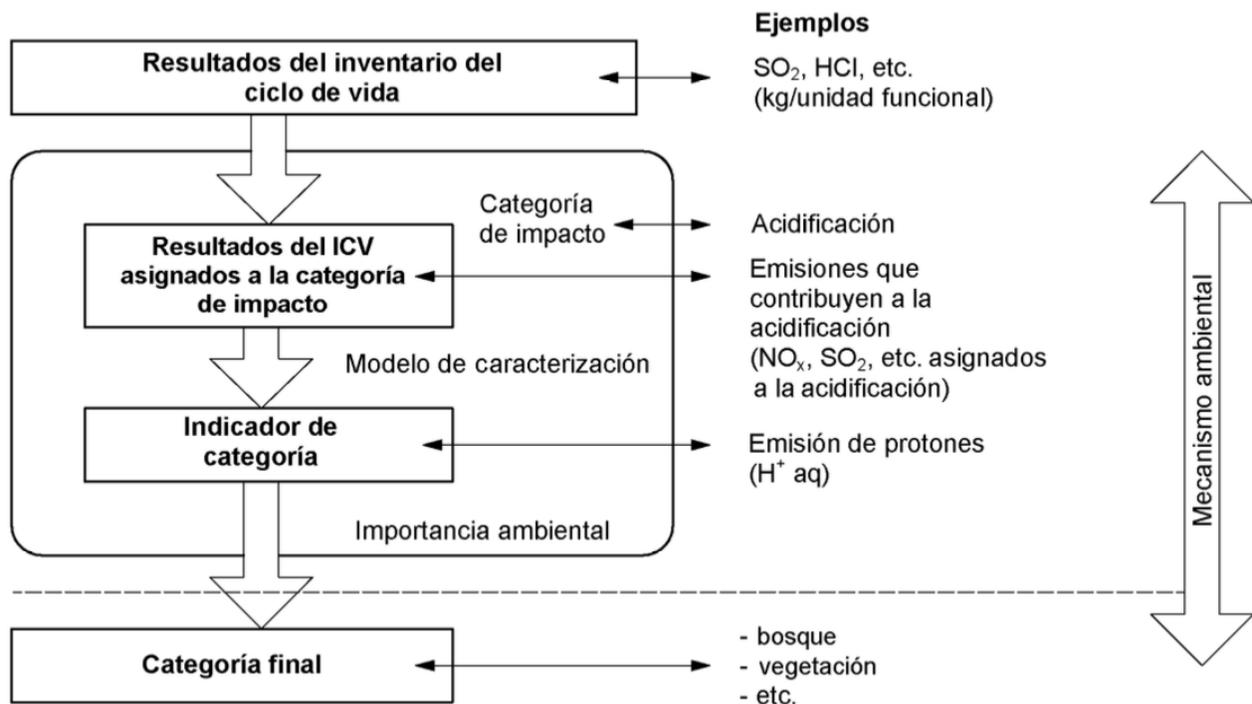
Figura 2. Procedimiento simplificado para el análisis del inventario



Fuente: Tomado de (Subcomité Técnico ISO/TC 207, 2006)

Para la segunda parte del objetivo específico 1 la parte de la evaluación del impacto del ciclo de vida (EICV) se tuvo en cuenta la metodología mencionada la ISO 14044 de 2006. En esta se menciona la importancia de la selección de categorías de impacto, indicadores de categoría y modelos de caracterización, la asignación de resultados de impactos a las categorías de impacto seleccionadas, y el cálculo de los resultados de indicadores de categoría. A continuación se visualiza una figura de cómo se deben elegir los puntos finales de categoría(ISO, 2007).

Figura 3.Concepto de indicadores de categoría



Fuente: Tomado de (Subcomité Técnico ISO/TC 207, 2006)

6.7.2 Método para Objetivo específico 2

El segundo objetivo específico es diseñar una propuesta para la mitigación de los impactos ambientales negativos para la finca seleccionada. Una vez realizado el método para el objetivo específico 1 con base a los resultados identificados se hacen recomendaciones para la mejora del sistema en general. Teniendo un enfoque global del sistema y los posibles impactos que estos puedan tener sobre el medio ambiente.

6.8 Metodología

Tabla 2. Matriz de Metodología

Matriz metodológica				
Objetivo General	Objetivos Específicos	Recolección de Datos		
		Actividad	Técnica	Instrumento
Evaluar los impactos ambientales generados por un cultivo de quinua en una finca ubicada en Tuta, Boyacá, mediante la herramienta de análisis de ciclo de vida. Caso de estudio para una finca	Elaborar un análisis de ciclo de vida para un cultivo de quinua en Tuta, Boyacá, bajo el estándar ISO 14044	Revisión bibliográfica	Análisis Documental	Documentos, fichas bibliográficas
		Visita técnica a cultivos	Observación directa y fotografías	Libreta de campo y cámara fotográfica
		Cálculo energético de entrada y salidas	Estequiometria	Calculadora, conversiones
		Uso de software SimaPro 8.4	Digitación de los datos recolectados	Base de datos del programa, computador
	Diseñar una propuesta para la mitigación de los impactos ambientales negativos para la finca seleccionada	Análisis de información y graficas	Resumen analíticos de la investigación	Base de datos de la Universidad incluyendo tesis
		Conclusiones y recomendaciones	Análisis y comparaciones comparativos	Documentos, fichas bibliográficas

Fuente: Elaborada por autor

En forma de resumen se presenta la tabla 2 que presenta en general el proceso y las herramientas que se tuvieron en cuenta para la realización del estudio.

7 Resultados y Discusión

7.1 Definición del Objetivo y Alcance del ACV del cultivo de la quinua

7.1.1 Objetivo del ACV

El objetivo del análisis de ciclo de vida del cultivo de la quinua es identificar los impactos ambientales generados, buscando los puntos críticos en el proceso del cultivo. Para de esta forma poder proponer formas de mitigación, que se puedan tener en cuenta para futuros cultivos. La investigación surge como una necesidad de comparar los impactos ambientales generados por un cultivo en Colombia y un cultivo de quinua en Perú.

7.1.2 Alcance del ACV

El estudio se realizó durante los meses de julio hasta octubre de 2018, la visita técnica se hizo durante el mes de septiembre. Fecha en la cual el cultivo ya estaba en el proceso de cosecha. La quinua se cultiva en aproximadamente 6 meses. Para la unidad funcional se tomó 50kg de quinua, ya que la quinua se empaca en costales de 50 kg para luego ser recogida y ser empacada. Es importante para el productor conocer las etapas en las cuales se están generando los mayores impactos ambientales, con la cuantificación de los impactos ambientales se pueden cambiar las técnicas utilizadas con el fin de reducir los impactos generados. A continuación se identificara el proceso del cultivo.

El análisis de ciclo de vida se tuvo en cuenta desde que el terreno se preparó. En la finca analizada el proceso se realiza con un tractor, este tractor se utiliza por tres horas, durante las tres horas el tractor realiza un proceso de corte y desmenuce de la tierra. Antes de la siembra de la quinua el suelo es utilizado para el cultivo de papa. El tractor cumple la función de desterronado en el cual se reducen los terrones que se generan luego de la aradura del cultivo anterior. Una vez el terreno esta nivelado por medio del uso de un caballo se realiza el proceso de surcado. Este proceso no se pudo tener en cuenta en el análisis como parte del inventario ya que el programa SimaPro 8.5 no tiene en cuenta las entradas generadas por los animales. Luego de la realización de los surcos se siembra por medio de un chorro de semillas continuo, este paso se hace de forma manual. Este proceso tampoco se cuantifico en el programa, pero si se tuvo en cuenta la cantidad de semillas 12 kg por hectárea que se utiliza. Estos tres pasos se tuvieron en cuenta como la primera etapa del ACV.

Como segunda etapa se tuvo en cuenta el riego que se hace al cultivo. El riego consiste en una conexión que se hace desde unas lagunas artificiales que se llenan por medio de agua lluvia. El riego del cultivo se hace cada 15 días por un periodo de cuatro horas. Esto significa que el riego se hace 12 veces ya que todo el proceso del cultivo de la quinua tiene una duración de seis meses, pero está sujeto a las condiciones climáticas, esta incluyen la radiación solar, temperatura, y pluviometría. El riego se hace a través de una moto bomba que bombea un caudal de 160 L/ min. Para esta etapa se tuvo en cuenta las emisiones generadas por el uso de la moto bomba como también el uso del recurso hídrico.

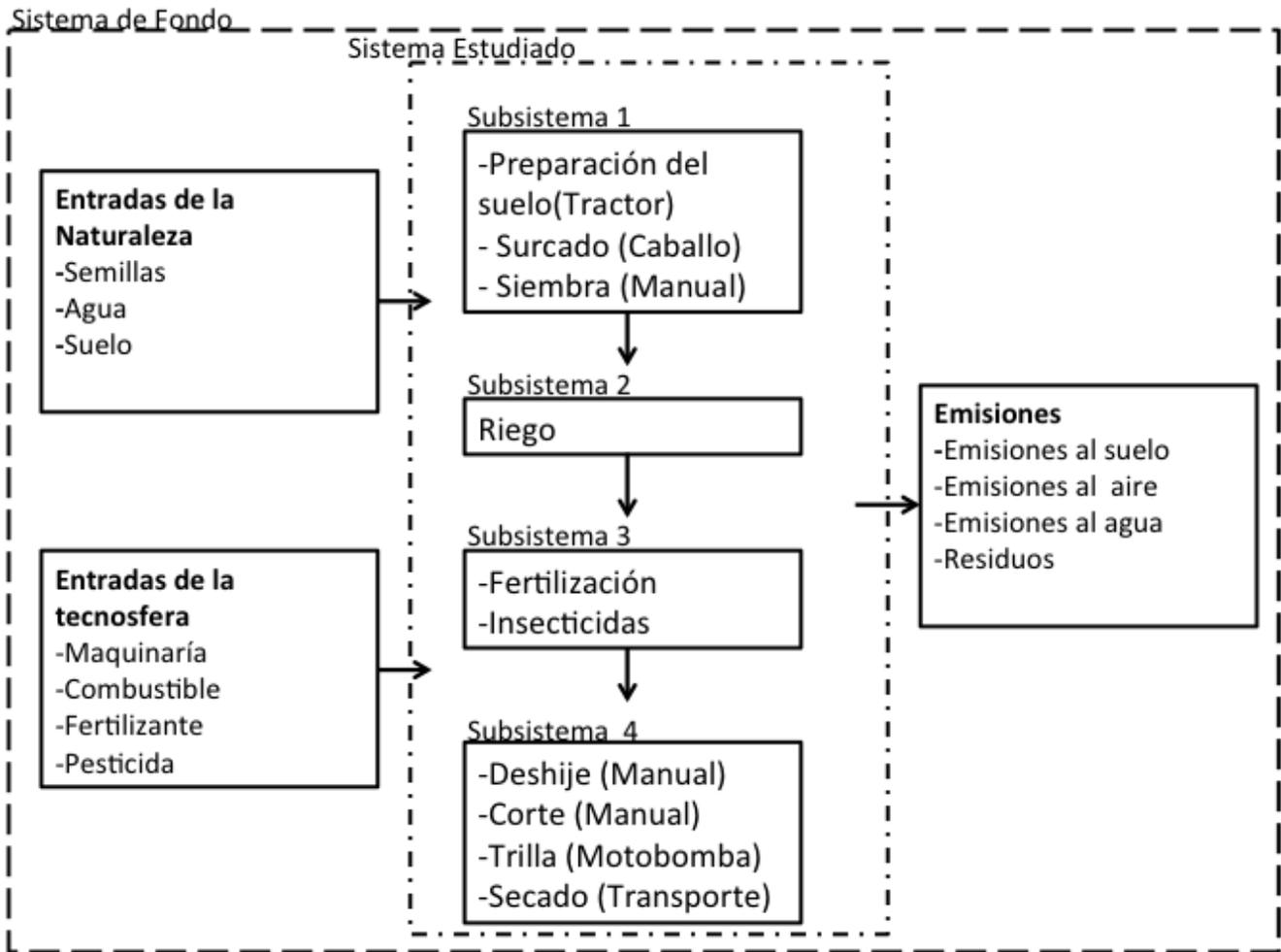
La siguiente etapa que se analizó fue la aplicación de fertilizantes e insecticidas. La aplicación de fertilizantes se hace de manera manual y se aplican 300 kg de Nutrimon NPK 10-20-30-1 a una hectárea. Los fertilizantes y los insecticidas se recogen de Tuta, Boyacá que está ubicado a 8 km de la finca, este recorrido se realiza dos veces durante el cultivo, una para recoger los productos y la segunda

para retornar los envases de los insecticidas, los costales utilizados para el fertilizante luego son usados para empacar la quinua trillada. Este proceso se realiza por medio de una camioneta de pasajeros Mazda BT-70 con combustible diésel. La aplicación de los insecticidas se hace si el cultivo presenta algún insecto, el cultivo analizado tuvo una plaga y se le aplico 100 cm diluido en 200 L de agua del producto Karate.

La última etapa que se tuvo en cuenta fue el deshije este proceso se hace manualmente y no se puede cuantificar. Luego de esto cuando la planta tiene el color y la estatura adecuado se hace la cosecha esta consiste en cortar la planta de manera manual y tampoco se cuantifica. Pero las plantas cortadas se someten a un proceso de trillado, este proceso utiliza una maquina especializada, la trilladora de cereales que separa las semillas de la plántula. Esta máquina funciona por medio de un motor de marca Power Titan que tiene una potencia de 4.62 KW y se utiliza por 8 horas en el cual se trillan la totalidad de le las plántulas de la hectárea. Una vez la quinua esta trillada es transportada al área de secado que se ubica a 20 metros de la maquina este recorrido se hace tres veces para transportar la totalidad de la hectárea, esto se realiza en el mismo vehículo de pasajeros Mazda. En este sector la quinua se somete a un proceso de secado, se expande en lonas impermeables que permiten el secado a la radiación solar. El ACV se realizó hasta este punto.

A continuación, se observa una ilustración del sistema, este con el fin de un mejor entendimiento del análisis de ciclo de vida. Figura 4.

Figura 4. Diagrama del ciclo de vida del cultivo de la quinua



Fuente: Elaborado por autor

En cuanto a la calidad de los datos utilizados para la elaboración ICV del cultivo de quinua se realizó con los involucrados en el proceso, principalmente el productos, teniendo en cuenta el formato de recolección mostrado en el Anexo A, y por medio de vistas técnicas al lugar, por estas razones la información está limitada al conocimiento de este actor. Por esta razón fue necesario recopilar las características de cada una de la maquinaria empleada en el proceso tales como información sobre el tractor y las motobombas utilizadas, teniendo en cuenta el tiempo de uso empleadas en el uso de estas con el fin de determinar el consumo de electricidad y energía térmica empleada durante el cultivo, los cálculos son expuestos en el Anexo B. Para completar la información se utilizaron varias bibliotecas proporcionadas por SimaPro: Ecoinvent 3, Agri-footprint y USLCI.

Por medio del uso del software SimaPro 8.5 en el cual se introducen los flujos de materia, energía y que se traducen en resultados de impacto ambiental a través del uso de factores de caracterización. Como método para le elaboración de EICV se utilizó ReCiPe 2008-Midpoint H. La razón por la cual se utilizó la categoría de *midpoint* en vez de *endpoint* ya que los *endpoints* presentan un grado más alto de incertidumbre (Cancino-Espinoza et al., 2018)

7.2 ICV del cultivo de la quinua

Los datos de primer plano, fueron determinados teniendo en cuenta la unidad funcional de 50kg de quinua, determinados en las visitas de campo realizadas y por medio de entrevistas a los productores de quinua. A continuación se observa el inventario global que se realizó sobre todo el cultivo de quinua. Los ejemplos de los cálculos se encuentran en el Anexo B.

Tabla 3. Inventario global de la producción de 50 Kg³ de quinua

Insumo	Cantidad	Unidad	Densidad	Unidad	Cantidad en kg	Factor de conversión	Cantidad por UF	Unidad	Características
Preparación del suelo									
Tractor	0,5483	kg/ha	-	-	-	0,0125	0,0068538	kg/kg de quinua	El uso del tractor se calcula por medio de una fórmula teniendo en cuenta el peso= 3600kg, tiempo de uso= 3 horas y vida útil del tractor=7200 horas
Caballo	2	horas/ha	-	-	-		-	-	El surcado se hace por medio de caballo pero no se cuantifica.
Semillas de quinua	12	kg/ha	-	-	-		0,15	kg/kg de quinua	Por hectárea 12 kg de semillas
Riego									
Agua	406800	L/ha	1	kg/L	406800	0,0125	5085	kg/kg de quinua	Se midió un caudal de 160L/min, el riego se realiza por un periodo de 4 horas, 12 veces durante el cultivo
Motobomba	273,6	kWh	-	-	-		3,42	kW h/kg de quinua	La motobomba utilizada tiene una potencia de 5.7kW, el uso del riego se hace de 4 horas por hectarea, 12 veces durante el cultivo
Fertilizantes y Insecticidas									
Fertilizantes	300	kg	-	-	-	0,0125	3,75	kg/kg de quinua	Se utiliza 300 kg de fertilizante marca Nutrimon 10-20-30-1 por hectárea
Insecticida	0,1	L/ha	1,028	kg/L	0,1028		0,001285	kg/kg de quinua	Como insecticida se utilizo Karate 100 cm por 200 L agua por una hectárea
Recorrido del vehículo	16	km	-	-	-		0,2	km/kg de quinua	El vehículo particular marca Mazda BT-50 hace un recorrido de 8 km para adquirir los fertilizantes e insectidas, se hace 2 veces
Gasolina	1,248	L/ha	0,850	kg/L	1,0608		0,01326	kg/kg de quinua	La gasolina necesitada para realizar el recorrido de recoger los insumos

³ Este factor de conversión fue obtenido de la división de 50 Kg de quinua y la producción promedio de la finca de 4000Kg, a fin de determinar el consumo unitario (50 Kg) de la finca (ver Anexo B)

Insumo	Cantidad	Unidad	Densidad	Unidad	Cantidad en kg	Factor de conversión	Cantidad por UF	Unidad	Características
Cosecha									
Deshije	3	horas/ha	-	-	-	0,0125	-	-	El deshije se hace de forma manual entonces no se tiene en cuenta para los cálculos
Corte	3	horas/ha	-	-	-		-	-	El corte se hace de forma manual entonces no se tiene en cuenta para los cálculos
Trillado	8	horas/ha	-	-	-		-	-	El trillado se hace por una trilladora de cereales que funciona por una motobomba
Motobomba	36,986	kWh	-	-	-		0,462325	kW h/kg de quinua	La motobomba utilizada tiene una potencia de 4.6 kW y tiene un uso de 8 horas por hectárea
Recorrido del vehículo	0,06	km	-	-	-		0,00075	km/kg de quinua	Para el secado la semilla de quinua debe ser llevada por el vehículo particular a una distancia de 0,02 km el viaje se hace tres veces.
Gasolina	0,0468	L/ha	0,850	kg/L	0,03978		0,0004973	kg/kg de quinua	La gasolina necesitada para realizada para dejar la semilla en área de secado

Fuente: Elaborada por Autor

Luego se tuvieron en cuenta las bases de datos utilizada en el software SimaPro 8.5. Las cuales se resumen en la tabla 3 que engloban los distintos procesos que se deben llevar a cabo para el procesamiento de alimentos. Uno de los más importantes es *Agri-footprint*, que es una base de datos que tiene una red de inventarios con los procesos relacionados con la agricultura, teniendo en cuenta la cosecha de cultivos como también la información del transporte, la manufactura de los fertilizantes entre otros materiales utilizados en el sector agricultor (Blonk Agri-footprint, 2015). Ecoinvente 3.4 es una de la base de datos internacionales más extensos ya que contiene información en cuanto a suministro de energía, agricultura, transporte, biocombustibles y biomateriales, productos químicos, materiales de construcción, materiales de embalaje, metales básicos entre otros (SimaPro, s/f).

Tabla 4. Bibliotecas implementadas para elaborar el ICV del cultivo de la quinua

Biblioteca	Descripción
Agri-footprint	Es una base de datos que contiene información de alta calidad e inventarios de ciclos de vida, enfocados en el sector alimenticio. Contiene información en cuanto a productos de agricultura como: comida y biomasa. Contiene aproximadamente 5,000 productos y procesos (Blonk Agri-footprint BV, 2016).
Ecoinvent	Base de datos con más 15,000 datos con tres tipos de bases de datos asignación en el punto de

	<p>sustitución(sistema y unidad), corte por clasificación (sistema y unidad) y consecuente (sistema y unidad (SimaPro, s/f)</p> <p>Para los modelos sustitución se basan en dos métodos, el primero el suministro promedio en el que producto o material siempre está disponible, en el modelo consecuente hay un suministro limitado. Y el otro método es en que la información se convierte de un producto-múltiple a un producto-singular(Ponsioen, 2018)</p>
USLCI	<p>Una base de datos que tienen en cuenta el proceso de la cuna a la tumba en cuanto a energía y entradas de materia al ambiente que están asociados con producir algún material o componente en los Estados Unidos (“US Life Cycle Inventory Database, NREL”, s/f)</p>

Fuente: Elaborada por Autor

Después de seleccionar las bases de datos, se definió la producción de energía eléctrica mixta para Colombia. Esto se debe hacer ya que los países tienen una diversidad de fuente de energía eléctrica, por ejemplo de tipo solar, eólica, a base de agua o carbón, esto permite disminuir el agotamiento de los recursos pero también genera problemáticas de degradación de ecosistema y de cambio climático. Teniendo esto en cuenta el software SimaPro todavía no se encuentra disponible para la producción de Colombia, por esta razón se debió adaptar para Colombia enfocando la búsqueda en países latinoamericanos con características similares a las de Colombia, contemplando esto se escogió a Perú y se realizó una adaptación a la matriz energética de este país.(Tabla 5) (Realidad, Oportunidad, & Colombia, s/f)

Tabla 5. Matriz energética PE-CO

Fuente	Perú		Colombia	
	Producción (GWh)	Porcentaje (%)	Producción (GWh)	Porcentaje (%)
Gas Natural	91354	19.24	1132.7	3.95
Biogás	1978	0.42	51.2	0.18
Recurso Hídrico	230189	48.47	23009.6	80.32
Carbón	123127	25.93	772.9	2.70
Eólica	18423	3.88	1054.1	3.68
Solar	9805	2.06	241	9.17
Total de Producción	474876	100	28646.8	100

Fuente: (García Botero, 2016)

En la Tabla 5 se puede observar que la producción de Perú, el 80% se deriva del agua, carbón y gas natural a diferencia de Colombia que el 80% se suple del recurso hídrico. La dependencia de Colombia en el recurso hídrico tiene diferentes impactos sobre el medio ambiente que incluyen la pérdida de biodiversidad, la extinción de especies debido a inundaciones, destrucción de hábitats y aumento de desplazamiento de poblaciones completas. (de Lima Andrade & Aurélio dos Santos, 2017)

Luego fue necesario hacer la transformación de electricidad mixta de Colombia, para ello se utilizó SimaPro 8.5 donde se cuenta con un factor de conversión para Perú de 1KWh de alto voltaje es igual a 00074KWH de electricidad de medio voltaje, esta información es proporcionada por la UPME (Unidad de Planeación Minero Energética).

De manera similar varias de las entradas que estaban relacionadas con el cultivo de quinua tuvieron que ser adaptados o modificados a las condiciones en Colombia, tomando las variables con las que ya cuenta el software y la información recolectada. En la Tabla 6 se expone las modificaciones realizadas al software en cuento a procesos.

Tabla 6. *Procesos creados y modificados en SimaPro 8.5*

Proceso de SimaPro 8.5	
Proceso Creado	Característica
Quinoa Seed, at farm, {CO}	La cantidad de semillas que se emplean en una hectárea y la cantidad que produce.
Proceso de SimaPro	Proceso modificado
NPK compound (NPK 15-15-15),at plant/ RER Mass	NPK compound (NPK 10-20-30), at plant/RER Mass Quinoa
	Sulfur dioxide, at plant/RER Mass {CO} Quinoa
	Urea, as 100% CO(NH ₂) ₂ (NPK 46.6-0-0), at plant/RER Mass {CO} Quinoa
Insecticide, at plant/RER Mass	Insecticide, at plant/RER Mass Quinoa Karate
	Urea, as 100% CO(NH ₂) ₂ (NPK 46.6-0-0), at plant/RER Mass {CO} Quinoa
	Polyethylene high density granulate (PE-HD), production mix, at plant RER System{CO} Quinoa

Fuente: Elaborada por autor

Fue necesaria la incorporación de nuevos procesos para la evaluación de los impactos ya que estos no existían para la quinua. SimaPro 8.5 no tiene datos para la quinua y por eso la creación y modificación de algunos de sus procesos fue necesaria para realizar el análisis. El único proceso creado fue el de la

semilla de quinua que se utiliza para el cultivo. Para eso se creó un nuevo proceso que incluyó la cantidad de semillas y la cantidad de quinua en semillas que se recogió.

En cuanto a los procesos de SimaPro ya creados se tuvieron que hacer unas modificaciones ya que la información con la que contaba cada proceso no era suficiente. Para el fertilizante el programa contaba con una base de datos para un fertilizante NPK (15-15-15) entonces fue necesario modificar las cantidades de cada uno de los componentes con los que ya contaba la base de datos. También fue necesario agregarle otros componentes que contenía el fertilizante químico que se utiliza en la finca (Nutrimon 20-30-10-1) como el dióxido de azufre y la urea.

La base de datos para el insecticida también tuvo que ser modificada ya que el insecticida que se tomó como base no contaba con algunos componentes que se utilizaron en el producto Karate. Algunos de estos componentes no incluidos fueron la urea y el polietileno de alta densidad.

7.3 EICV del cultivo de la quinua

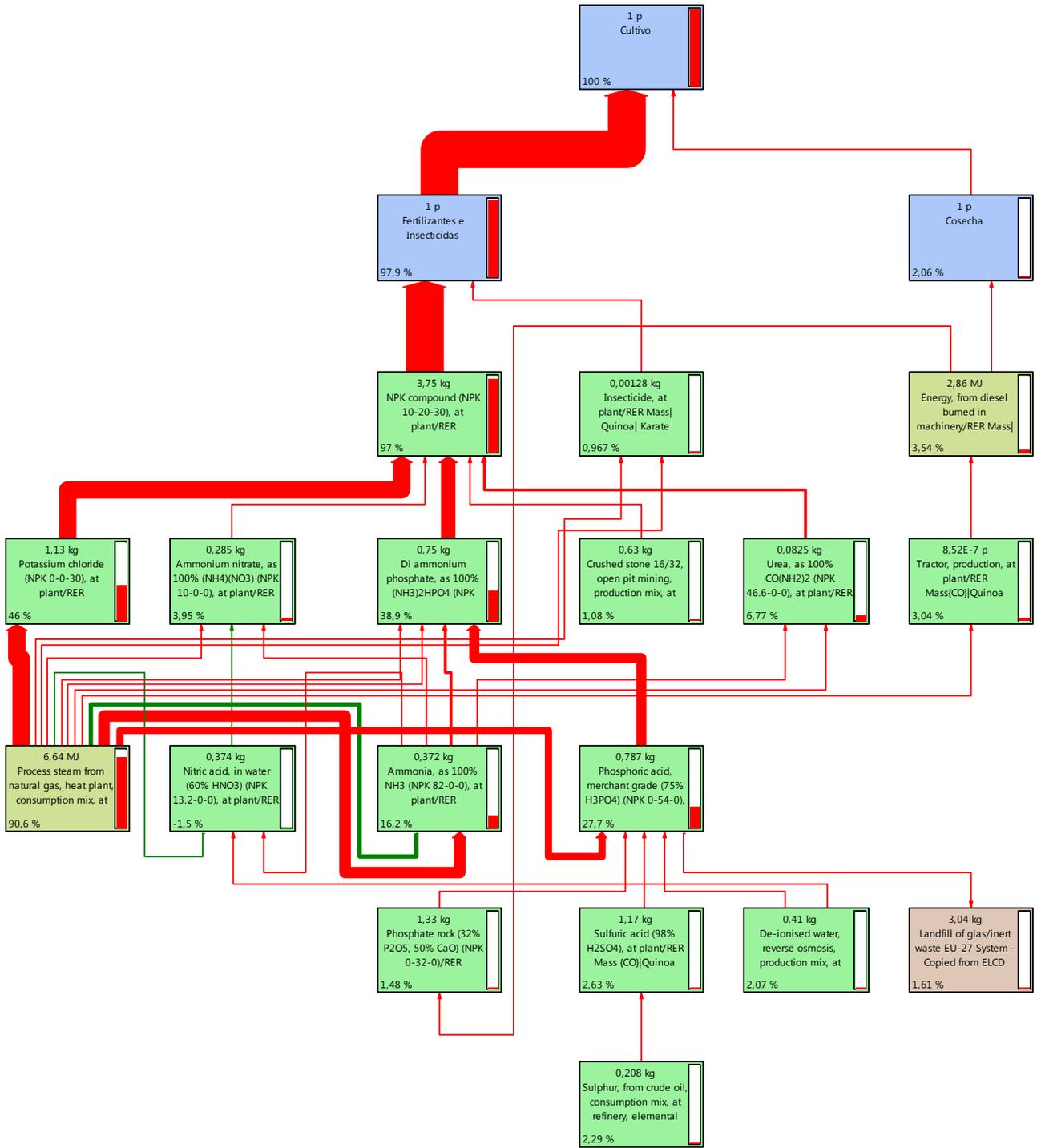
Para evaluar los impactos ambientales del cultivo de la quinua se utilizó el método ReCiPe Midpoints (H). Este método traduce las emisiones y las extracciones de recursos en un número de puntajes de impacto ambiental mediante factores de caracterización.

El nivel medio calcula 18 indicadores que se centran en los problemas ambientales tales como: calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, radiación ionizante, formación de ozono (salud humana), formación de partículas finas, formación de ozono (ecosistemas terrestres), acidificación terrestre, eutrofización de agua dulce, eutrofización marina, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad marina, toxicidad carcinogénica humana, toxicidad no carcinogénica humana, uso del suelo, escasez de recursos minerales, escasez de recursos fósiles y consumo de agua (Huijbregts et al., 2017).

Se utiliza el software SimaPro ya que este fue utilizado en el artículo realizado en Perú sobre los impactos ambientales que generaba la quinua orgánica. Este software también ha tenido una participación a nivel mundial de más de 50 años. Su popularidad se debe a su sistema que utiliza una matriz invertida que contiene un algoritmo que es altamente eficiente y permite evaluar miles de procesos unitarios en un solo cálculo (Curran, 2012).

Por estas razones, los resultados serán expuestos mediante diagramas de red y gráficas. El diagrama de red representa las entradas y salidas más importantes que considera el software para el sistema. También tiene en cuenta la jerarquización del sistema productivo desde los dos niveles que tienen más impacto sobre el sistema analizado.

Figura 5. Diagrama de red del ciclo de vida de la quinua



Fuente: Elaborada por autor

En la Figura 5. cuyo valor de detalle es de 0,96% con una representación de 21 de 10664 nodos visibles. Se escogió el nivel de detalle bajo ya que de esta forma se puede visualizar que la etapa de fertilizantes e insecticidas representan el 97.9% de las categorías de impacto de la producción del cultivo de quinua, esto debido al aporte de cloruro de potasio que contiene el fertilizante en un 46% y en un 38% por el fosfato de amonio. En cuanto al proceso de la cosecha solo representa el 2,06%, 3,54% producido por la energía que se utiliza en la quema del diésel, y 3,04% por el uso del tractor.

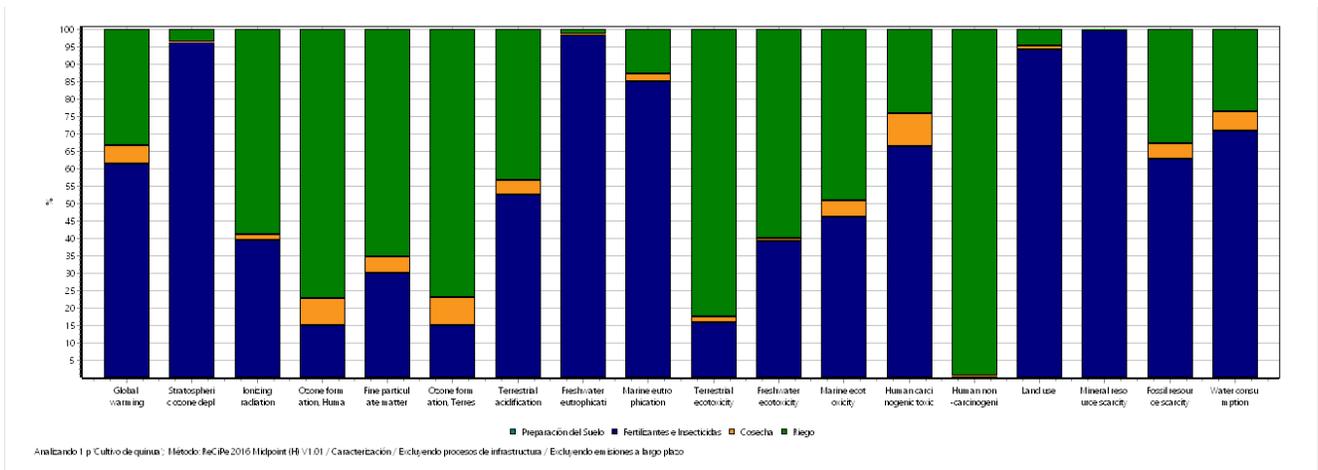
Los fertilizantes tienen altos impactos en categorías como cambio climático, agotamiento de combustibles fósiles y acidificación, aunque la eutrofización de los fertilizantes el factor más importante. Se podía esperar que los fertilizantes generaran el mayor impacto sobre el cultivo de quinua. Esto se debe a las pequeñas proporciones que se utilizan en las otras etapas del proceso.

7.4 Interpretación del cultivo de la quinua

Tomando como base la ISO 14044 en que el análisis de ciclo de vida tiene como objetivos calificar, revisar, y evaluar los resultados obtenidos en el ICV y EICV esto con el fin de formular conclusiones y recomendaciones. Por ende se tendrán en cuenta los asuntos significativos para el ciclo de vida del cultivo de quinua para así elaborar el análisis de sensibilidad, generando escenarios diferentes que puedan mejorar el proceso del cultivo de quinua.

Para la interpretación se utilizara el método *Midpoint* (H) en la que se pueden evaluar los impactos generados al medio ambiente por cada etapa que se tuvo en cuenta para el cultivo de la quinua. En esta grafica se visualiza de manera general los impactos generados por cada uno de las etapas en donde se evalúan los 18 indicadores previamente mencionados.

Gráfica 1. Caracterización del ciclo de vida del cultivo de la quinua (Midpoints)



Fuente: Elaborada por autor

En la gráfica 1. Se puede observar que para algunas categorías de impacto el proceso que tiene un mayor aporte es el uso de los fertilizantes e insecticidas, representados por el color azul. Pero en otras categorías también hay presencia de la etapa de riego que está representada por el color verde.

Como análisis inicial se pudo observar los fertilizantes e insecticidas se les atribuye más del 50% en los siguientes indicadores calentamiento global, ozono estratosférico, eutrofización de agua dulce, eutrofización marina, toxicidad carcinogénica humana, uso del suelo, escasez de recursos minerales, escasez de recursos fósiles y consumo de agua. El riego obtuvo un puntaje de más del 50% en las siguientes categorías: radiación ionizante, formación de ozono (salud humana), formación de material particulado, formación de ozono (ecosistemas terrestres), ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad de agua dulce, toxicidad no carcinogénica humana.

En cuanto a las categorías de acidificación terrestre el riego contribuye al 43,3%, la cosecha al 4,16% y los fertilizantes al 52,5 %. En la ecotoxicidad marina los fertilizantes e insecticidas contribuyen con el 46% , el riego al 49,1 % y la cosecha al 4,9%. En cuanto al proceso de la cosecha el mayor aporte es en la categoría de toxicidad carcinogénica humana, con un aporte de 9,37%.

Los fertilizantes e insecticidas tienen un mayor impacto sobre un mayor número de categorías. Ejemplificando la Figura 5. donde se puede visualizar que los fertilizantes tiene un mayor impacto sobre el proceso del cultivo de la quinua.

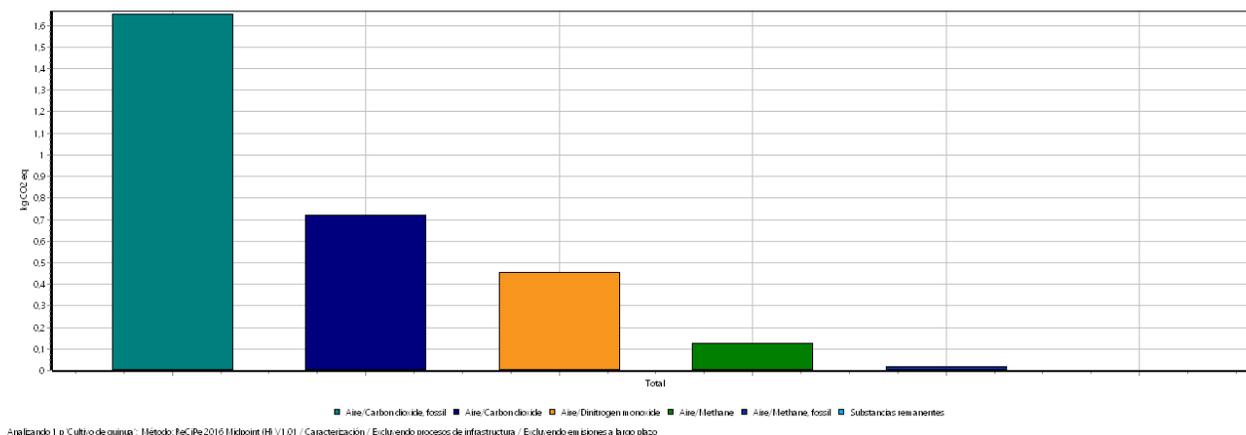
7.4.1 Identificación de los puntos críticos

Para poder identificar los puntos críticos del cultivo de la quinua se realizó un análisis previo de cada uno de los impactos ambientales. Los impactos ambientales se realizan por medio de factores de caracterización que indican el impacto por la unidad de estrés (kg de recurso utilizado o emisión liberada). También se analizará cada impacto por medio de “sustancia remanentes” que son las sustancias que se incorporan por el software, a continuación se analizaron las sustancias con mayor proporción dentro de la categoría.

7.4.2 Cambio Climático

ReCiPe *midpoint* (H) utiliza el potencial de calentamiento global (GWP), este expresa la cantidad de cambio en la radiación (calor) entrante o saliente de un sistema climático generado por la emisión de 1 kg de GEI integrado en el mismo horizonte temporal que provoca la liberación de 1 kg de CO₂. Las unidades en las se expresa son W m⁻² yr kg⁻¹.(Huijbregts et al., 2017)

Gráfica 2. Evaluación por sustancia, Cambio Climático



Fuente: Elaborada por autor

En total se producen 2,97 kg CO₂. La principales sustancias que componen esta categoría son el dióxido de carbono fósil 1,65 kg CO₂, dióxido de carbono 0,719 kg CO₂, monóxido dinitrogeno 0,456 kg CO₂, metano 0,125 kg CO₂, 0,0178 kg CO₂,

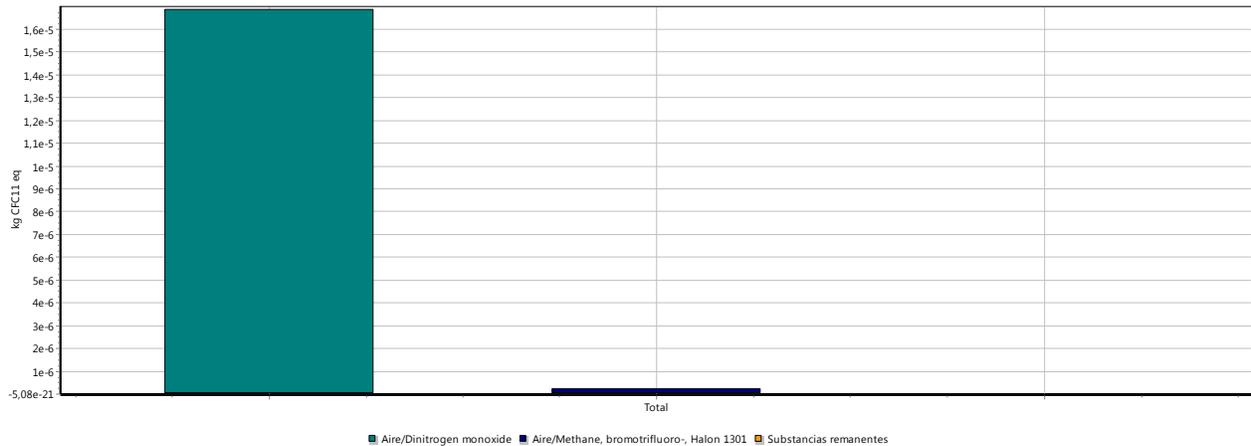
El proceso que más apporto al cambio climático fue los fertilizantes e insecticidas. Los gases de efecto invernadero juegan un rol importante en la cadena de suministro de los fertilizantes. La producción de fertilizantes minerales genera una gran cantidad de gases de efecto invernadero en su mayoría dióxido de carbono.

El gran cantidad de CO₂ se debe a uso de combustibles fósiles en la producción de amoníaco y en una menor proporción debido a la reacción de la roca fosfato con el ácido sulfúrico o durante la extracción de fosforo y potasio de la roca madre (Hasler, Bröring, Omta, & Olf, 2015).

7.4.3 Agotamiento del ozono estratosférico

El agotamiento del ozono estratosférico es la cuantificación de la cantidad de ozono que una sustancia puede agotar en relación CFC-11 en un tiempo específico. Está relacionado con la estructura molecular del cloro y los grupos en una molécula del bromo como también la vida atmosférica del químico. El agotamiento del ozono (ODP) es calculado por la organización mundial Meteorológica (WMO) que estimó que el potencial de destrucción del bromo al ozono es 60 veces mayor a la potencia de destrucción del cloro (Huijbregts et al., 2017).

Gráfica 3. Evaluación por sustancia, Agotamiento del ozono estratosférico



Fuente: Elaborada por autor

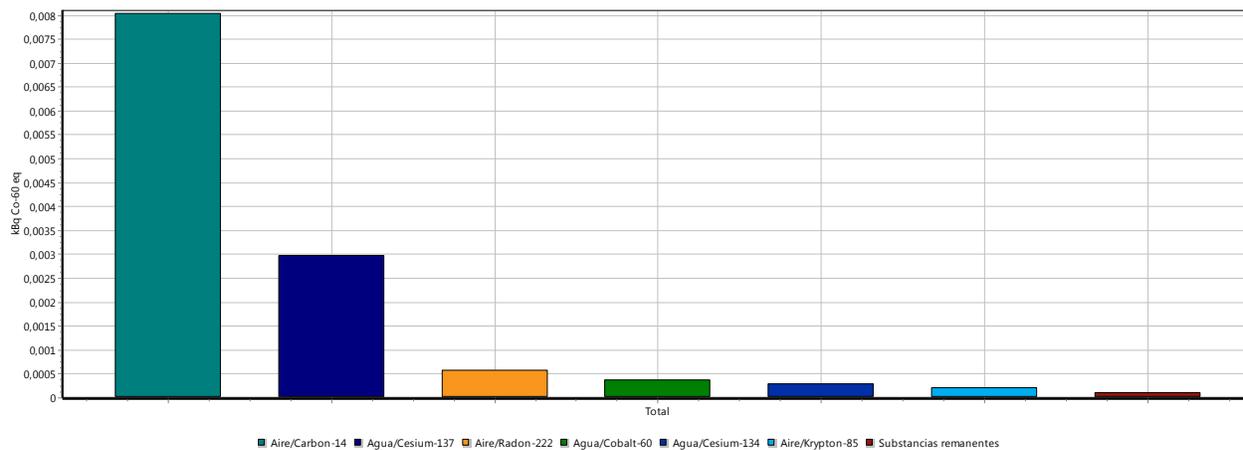
En la gráfica 3. Se puede observar que la sustancia que mayor aporta al agotamiento del ozono estratosférico es el monóxido nitrógeno $1,68 \times 10^{-5}$ kg CFC-11 eq, y de manera menor bromotrifluorometano aporta un total de $2,2 \times 10^{-7}$ kg CFC-11 eq, con la suma total de $1,71 \times 10^{-5}$ kg CFC-11 eq.

El óxido nitroso es un gas de efecto invernadero que contribuye al calentamiento global y agotamiento del ozono estratosférico, este se produce en los suelos debido a la desnitrificación y nitrificación microbiana. La agricultura contribuye a la 60 % de las emisiones antropogénicas mundiales de N₂O debido a la aplicación de fertilizantes con nitrógeno a las tierras del cultivo (Güereca et al., 2015)

7.4.4 Radiación Ionizante

Durante el ciclo de combustible (extracción, tratamiento y eliminación de residuos, quema de carbón y extracción de fosfato de la roca) se generan emisiones antropogénicas de radionúclidos. Luego se realiza un modelo de la dispersión del radionúclido a lo largo del entorno, seguido por la exposición a la cantidad de radiación. El potencial de radiación ionizante es relativo a la emisión de sustancia Cobalto -60 al aire. (Huijbregts et al., 2017).

Gráfica 4. Evaluación por sustancia, Radiación Ionizante



Fuente: Elaborada por autor

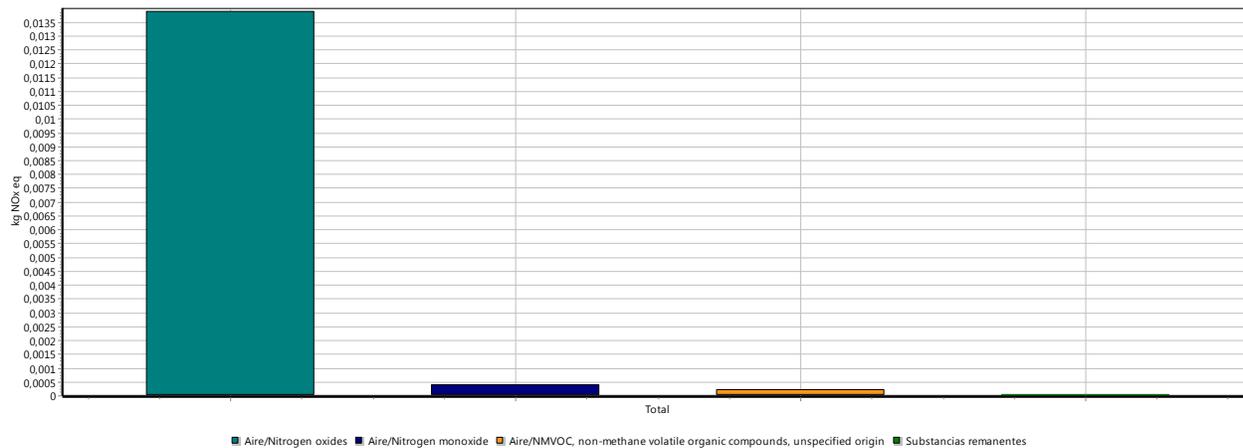
ReCiPe tiene en cuenta 6 sustancias para la evaluación de radiación ionizante Gráfica 4. La primera sustancia analizada es el carbono-14 (0,00803 kBq CO-60 eq), la segunda cesio-137 (0,00296 kBq CO-60 eq), el tercero radón-222 (0,000566 kBq CO-60 eq), el cuarto cobalto-60 (0,000365 kBq CO-60 eq), el quinto cesio-134 (0,000278 kBq CO-60 eq), y el sexto krypton (0,000199 kBq CO-60 eq) para una suma total de 0,0125 kBq CO-60 eq.

Mayoría de los impactos en cuanto a la radiación ionizante se debe al uso de las motobombas para el riego que contribuyen con el 0,00737 kBq CO-60 eq. Pero en la literatura en cuanto al análisis de ciclo de vida de los fertilizantes y de la maquinaria agrícola no se toma en cuenta esta categoría. Se mencionan sus contribuciones pero no se realiza el análisis debido a su baja importancia en el proceso.

7.4.5 Formación de ozono (salud humana)

La ingesta de contaminantes es importante ya que el efecto y el daño es precursora independiente de la sustancia. La fracción de ingesta (iF) del ozono debido a emisiones en la región (i) es determinada por su precursor (x) ($iF_{x,i}$). Estas son expresadas en NOx equivalentes (Huijbregts et al., 2017).

Gráfica 5. Evaluación por sustancia, Formación de ozono (salud humana)



Fuente: Elaborada por autor

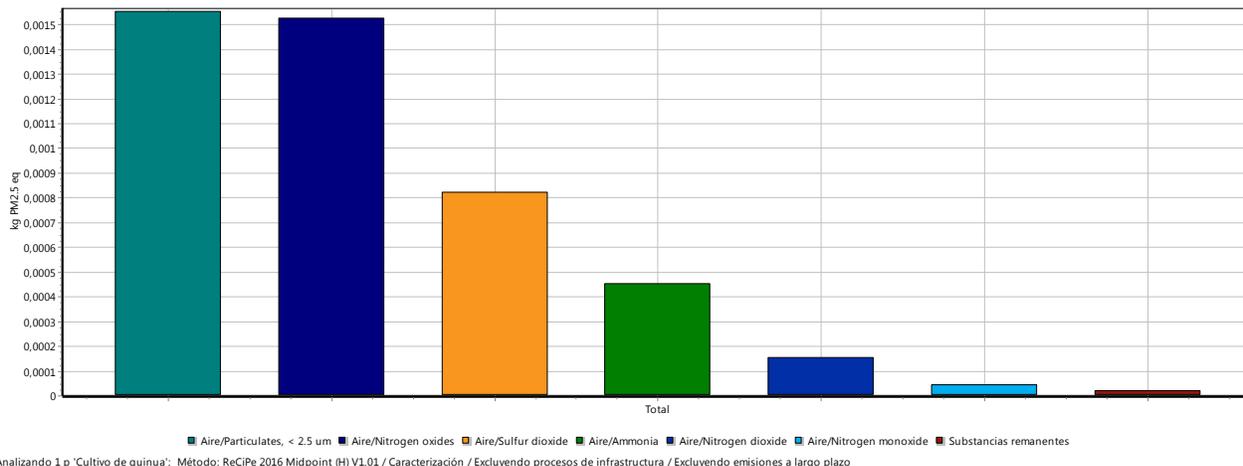
En total el cultivo de quinua produce 0,0145 kg NOx eq, el software analiza tres sustancias óxido de nitrógeno 0,0139 kg NOx eq, monóxido de nitrógeno 0,000377 kg NOx eq, compuestos orgánicos volátiles no metano 0,000221 kg NOx eq.

El proceso del riego tuvo un aporte de 0,011 kg NOx eq de óxido de nitrógeno, esto se debe al uso de la motobomba para el riego. Los óxidos de nitrógeno son subproductos de la combustión que son tóxicos para la humanos, generan lluvias ácidas y smog, y llevan al agotamiento de la capa de ozono y favorecen el efecto invernadero. Las sustancias NO y NO₂ tienen una vida útil de 4 días (Knop, Nicolle, & Colin, 2013).

7.4.6 Formación de partículas finas

La contaminación del aire puede provocar aerosoles primarios y secundario en la atmosfera generando impactos negativos sobre la salud humana, desde síntomas respiratorios, hasta hospitalizaciones y muerte. Las partículas finas tienen un diámetro inferior a 2.5 µm (PM2.5) tiene una mezcla compleja de compuestos orgánicos e inorgánicos. Cuando estas partículas llegan a la parte superior de las vías respiratorias y los pulmones cuando se inhala.

Gráfica 6. Evaluación por sustancia, formación de partículas finas



Fuente: Elaborada por autor

Para evaluar las partículas finas se tienen en cuenta 6 sustancias: partículas <2.5 µm(0,00155 kg PM 2.5eq), óxido de nitrógeno(0,00153 kg PM 2.5eq), dióxido de azufre (0,000822 kg PM 2.5eq), amoníaco (0,000453 kg PM 2.5eq), dióxido de nitrógeno (0,000155 kg PM 2.5eq), monóxido de nitrógeno ($4,19 \times 10^{-5}$ kg PM 2.5eq). En total el cultivo de quinua genera 0,00457 kg PM 2.5eq.

El proceso de riego tiene uso de un motor diésel que tiene graves efectos sobre el medio ambiente contribuyo con 0,00139 kg PM 2.5eq. Aunque los motores a diésel son muy populares unas de las desventajas son las emisiones de NOx y material particulado.

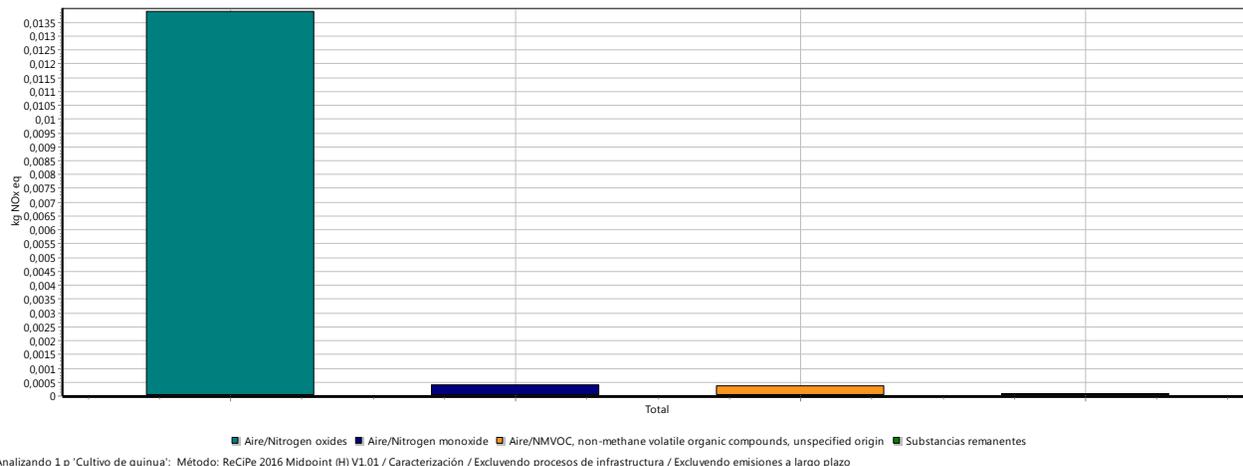
El material particulado es una mezcla de hollín y otros líquidos. En la superficie el hollín absorbe partículas compuestas por aldehídos, alcanos, alquenos, hidrocarburos alifáticos. El tamaño de la partícula es importante ya que esta puede quedarse atrapada entre los pasajes bronquiales y los alvéolos de los pulmones.

La formación de hollín se forma en motores de diésel en una temperatura entre 1000 y 2800 k en una presión de 50-100 atm(Mohankumar & Senthilkumar, 2017).

7.4.7 Formación de ozono (ecosistemas terrestres)

Esta categoría de impacto se calcula de manera similar a la formación de ozono (salud humana) a diferencia que este tiene en cuenta las emisiones en una región.

Gráfica 7. Evaluación por sustancia, formación de ozono (ecosistemas terrestres)



Fuente: Elaborada por autor

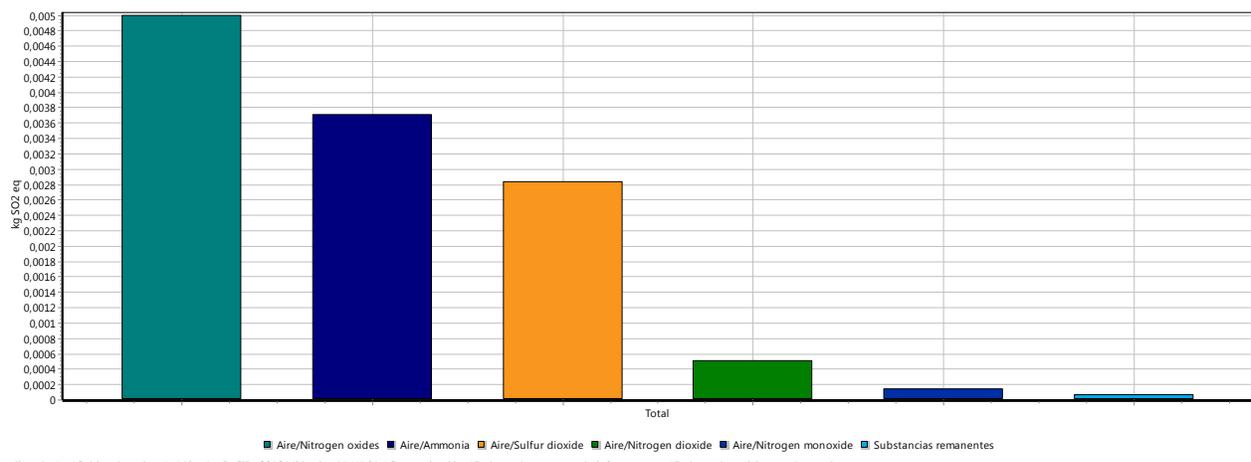
En total el cultivo de quinua produce 0,0147 kg NOx eq, el software analiza tres sustancias oxido de nitrógeno 0,0139 kg NOx eq, monóxido de nitrógeno 0,000377 kg NOx eq, compuestos orgánicos volátiles no metano 0,000356 kg NOx eq(Gráfica 7)

Los resultados se muestran que el proceso del riego aporta la mayor cantidad de óxido de nitrógeno con un valor 0,011 kg NOx eq esto se debe al uso de la motobomba para el riego. La motobomba trabaja con un motor a diesel que genera gases óxido nitroso. Como los motores a diésel operan a mayores temperaturas y a mayores presiones generan una mayor cantidad de óxido de nitrógeno comparado motores que usan gasolina (Omersa, 2017).

7.4.8 Acidificación terrestre

La deposición de sustancias atmosféricas como sulfatos, nitratos y fosfatos generan un cambio en la acidez en el suelo. Todas las plantas tienen un nivel óptimo de acidez. La desviación de este nivel óptimo es perjudicial para las especies y se conoce como acidificación. Las mayores emisiones acidificantes son el NO_x, NH₃ y el SO₂. (Huijbregts et al., 2017)

Gráfica 8. Evaluación por sustancia, acidificación terrestre



Fuente: Elaborada por autor

En la gráfica 8 se pueden apreciar las cinco sustancias que se tienen en cuenta para la acidificación terrestre, en total se producen 0,0122 kg SO₂ eq. En cuanto a las sustancias se producen 0,00499 kg SO₂ eq de óxido de nitrógeno, 0,0037 kg SO₂ eq de amonio, 0,00499 kg SO₂ eq de dióxido de azufre, 0,000507 kg SO₂ eq de dióxido de nitrógeno, 0,000136 kg SO₂ eq de monóxido de nitrógeno.

La etapa de los fertilizantes aportan 0,00643 kg SO₂ eq y el riego aporta el 0,0053 kg SO₂ eq. Esto se puede deber a que la combustión del diésel tiene uno de los impactos más altos en la categoría de acidificación.

El uso en particular de maquinaria agrícola y tractores generan altas emisiones que llevan a altos valores de acidificación. Alrededor del 55% de todas las emisiones SO₂ eq están relacionados con el uso de tractores y el transporte de los fertilizantes.

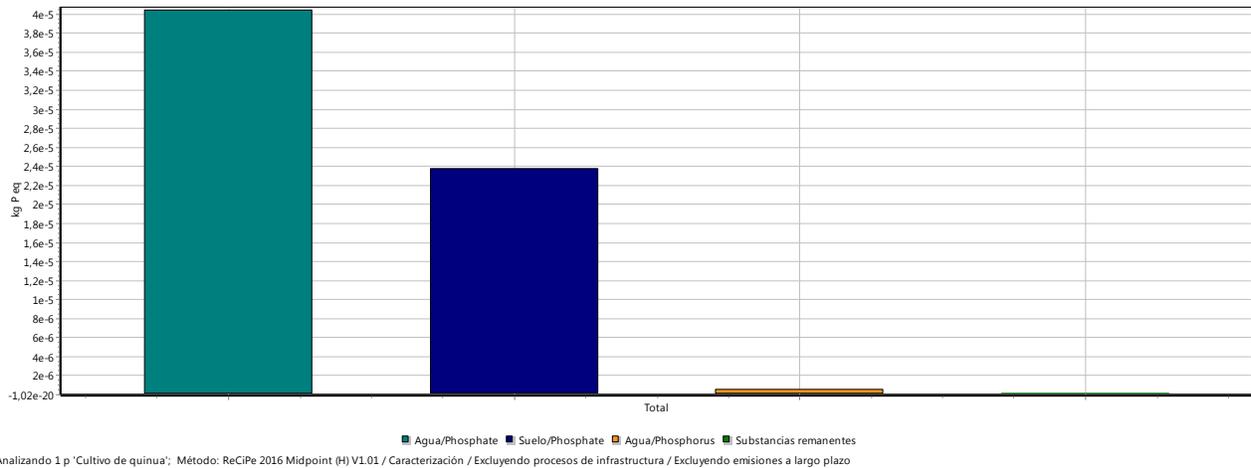
También, se le puede contribuir la producción de los fertilizantes complejos que generan una alta cantidad de emisiones y tiene un impacto en la categoría de acidificación. El uso de urea como nitrógeno ha demostrado incrementar el impacto de acidificación (Hasler et al., 2015)

7.4.9 Eutrofización de agua dulce

La eutrofización de agua dulce se debe a la descarga de nutrientes en el suelo o en los cuerpos de agua que generan un aumento en los niveles de nutrientes como fósforo y nitrógeno. El aumento en los nutrientes en cuerpos de agua es absorbida por organismos autótrofos como cianobacterias y algas, como también especies heterótrofas tales como peces e invertebrados. Esto conlleva a la pérdida de especies. En ReCiPe los impactos a agua dulce por emisiones se basan en la transferencia de fósforo

del suelo a los cuerpos de agua dulce y al tiempo de residencia. Las unidades se tomando como el promedio mundial de emisiones al agua por 85 días (P) (Huijbregts et al., 2017).

Gráfica 9. Evaluación por sustancia, eutrofización de agua dulce



Fuente: Elaborada por autor

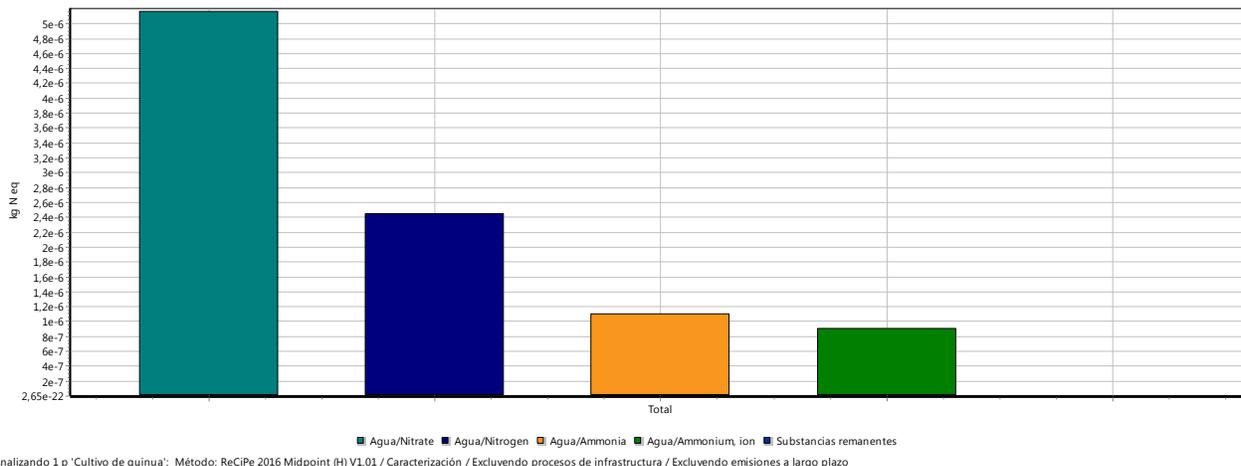
En total se producen $6,46 \times 10^{-5}$ kg P eq, pero la mayor emisión se debe por fosfato en el agua $4,04 \times 10^{-5}$ kg P eq, seguido por el fosfato en el suelo $2,37 \times 10^{-5}$ kg P eq, en proporciones más pequeñas fósforo $4,71 \times 10^{-7}$ kg P eq8(Grafica 9).

Los valores obtenidos por el software son tan pequeños que no se tuvieron en cuenta en el análisis de impactos ambientales de este estudio.

7.4.10 Eutrofización marina

Se define como el incremento de producción de plantas estimulada por compuestos inorgánicos de nitrógeno y fosforo (Larsen, 2011).

Gráfica 10. Evaluación de sustancias, eutrofización marina



Fuente: Elaborada por autor

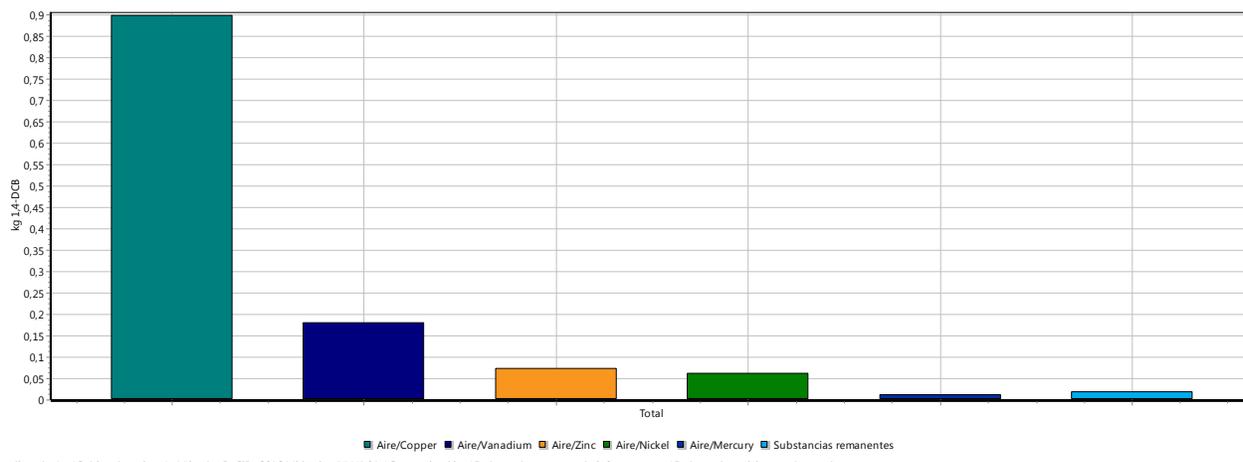
La eutrofización marina grafica 10. Se compone de cuatro sustancias el nitrato $5,16 \times 10^{-6}$ kg N eq, nitrógeno $2,44 \times 10^{-6}$ kg N eq, amonio $1,09 \times 10^{-6}$ kg N eq, ion de amonio $9,06 \times 10^{-7}$ kg N eq. En total se producen $9,6 \times 10^{-6}$ kg N eq.

En cuanto a la eutrofización marina los datos no son significativos para el estudio.

7.4.11 Ecotoxicidad terrestre

Se refiere a las sustancias tales como metales pesados y los efectos que pueden tener sobre el ecosistema. Los potenciales de eutrofización están expresados en un área de ecosistema terrestre y la eutrofización es un consecuencia de las emisiones.) (Frischknecht et al., 2007)El potencial de toxicidad de expresa en kg de 1,4-dichlorobenzene equivalentes (1,4 DCB-eq).

Gráfica 11. Evaluación de sustancias, ecotoxicidad terrestre



Analizando 1 p 'Cultivo de quinua': Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.01 / Caracterización / Excluyendo procesos de infraestructura / Excluyendo emisiones a largo plazo

Fuente: Elaborada por autor

Para la evaluación de ecotoxicidad terrestre se encontró un total de 1,24 kg 1,4-DCB, con proporciones en las siguientes sustancias: cobre 0,898 kg 1,4-DCB, vanadio 0,18 kg 1,4-DCB, zinc 0,0731 kg 1,4-DCB, níquel 0,608 kg 1,4-DCB, mercurio 0,0106 kg 1,4-DCB.

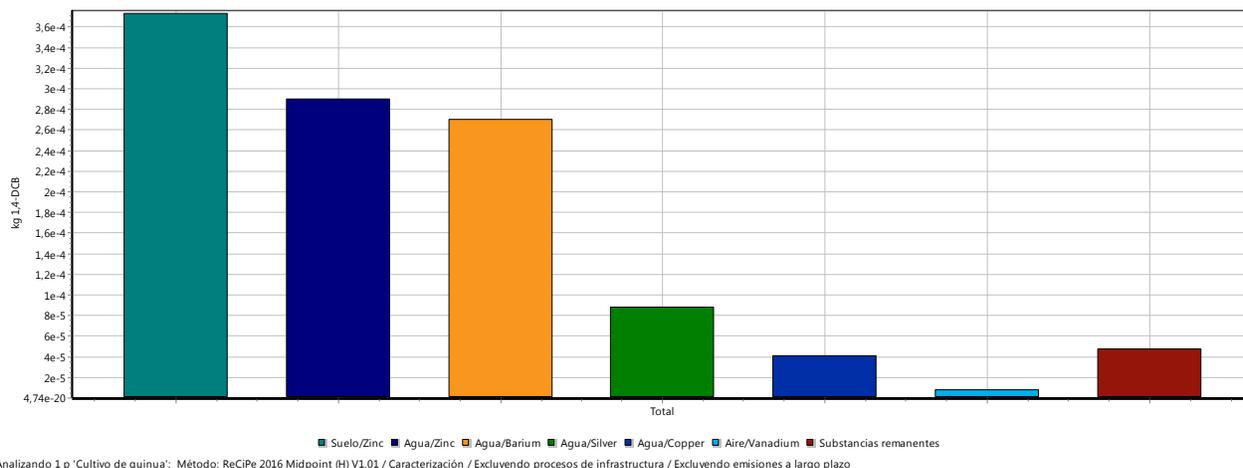
El cobre representa el 1,29 % de combustión interna del peso de un motor y representa 1.00% de la carga de energía del ciclo de vida del motor. Este representa el 0,96% de su carga a gases de efecto invernadero(Kelly, Dai, Elgowainy, Group, & Division, 2015). A esto se le atribuye los altos valores expresados en la gráfica 11. de cobre ya que el motor utilizado para la motobomba contiene cobre.

Otra de las razones por la cual los valores son tan altos en cuanto a zinc es por el desgaste de las llantas que genera zinc, y cobre se da por el desgaste de los frenos (Hawkins, Singh, Majeau-Bettez, & Strømman, 2013).

7.4.12 Ecotoxicidad de agua dulce

La ecotoxicidad de agua dulce se refiere al estudio de químicos que interactúan con el ambiente. Es importante el estudio de la ecotoxicidad ya que históricamente se siguen usando y contaminando los cuerpos de agua (Decision et al., 2014).El potencial de toxicidad de expresa en kg de 1,4-dichlorobenzene equivalentes (1,4 DCB-eq).

Gráfica 12. Evaluación de sustancias, ecotoxicidad de agua dulce



Fuente: Elaborada por autor

La ecotoxicidad del agua dulce grafica 12 tiene en cuenta 6 sustancias: zinc en el suelo 0,000373 kg 1,4-DCB, zinc en el agua 0,0029kg 1,4-DCB, bario en el agua 0,00027 kg 1,4-DCB, plata en el agua 8×10^{-5} kg 1,4-DCB, cobre en agua $4,04 \times 10^{-5}$ kg 1,4-DCB y vanadio en el aire $7,93 \times 10^{-6}$ kg 1,4-DCB. En total se obtuvo 0,00112 kg 1,4-DCB.

Los valores más altos son pueden atribuir al suelo y agua de zinc debido al proceso del riego como se puede observar en la gráfica 12.

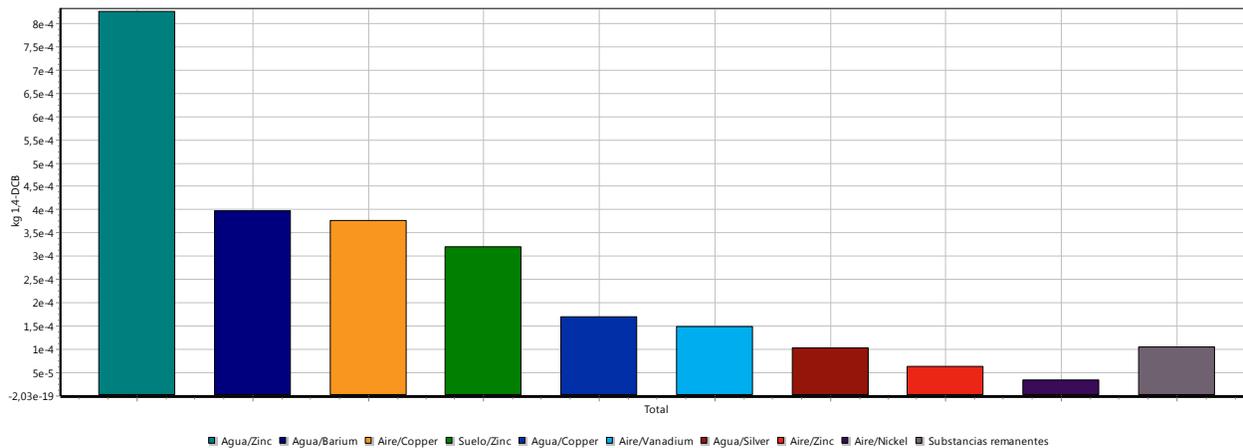
Cuando los motores entran en contacto con elementos que contienen zinc y cobre pueden desestabilizar el combustible y este forma compuestos inestables (Life, Ageing, The, & Life, 2005) estos generan emisiones no deseables que se presentan en el agua como el suelo.

El uso de aditivos pueden tener propiedades lubricantes o pueden tener efectos múltiples como por el ejemplo ditiofosfato de zinc (Girotti, Raimondi, Blengini, Fino, & Duca, 2011). Estos lubricantes se utilizan en el proceso de riego para el mejor desempeño de la motobomba.

7.4.13 Ecotoxicidad marina

La ecotoxicidad marina es diferente a la de agua dulces ya que las consecuencias y los efectos son diferentes bajo la condiciones marinas. En cuanto a sistemas costeros el recurso del agua tiene un menor impacto (“Analysis of midpoint categories”, s/f). En los ambientes marinos el nitrógeno es el factor limitante.

Gráfica 13. Evaluación por sustancias, ecotoxicidad marina



Fuente: Elaborada por autor

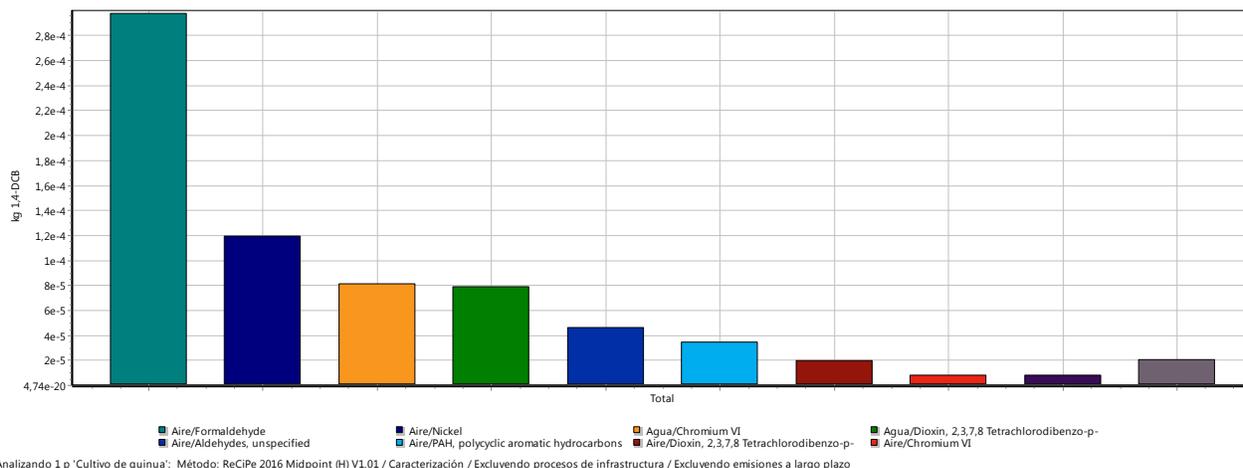
Con un valor de corte del 1% se obtuvieron 9 sustancias que se encuentra: zinc en el agua 0,000825 kg 1,4-DCB, bario agua 0,000397 kg 1,4-DCB, cobre en aire 0,0037 kg 1,4-DCB, zinc en el suelo 0,00318 kg 1,4-DCB, cobre en el agua 0,00017 kg 1,4-DCB, vanadio en el air 0,000149 kg 1,4-DCB, plata en al agua 0,000102 kg 1,4-DCB, zinc en el aire 6×10^{-5} kg 1,4-DCB, y níquel en el aire 3×10^{-5} kg 1,4-DCB. En total se producen 0,00254 kg 1,4-DCB en el cultivo de quinua (Gráfica 13).

El valor más alto está dado por zinc en el agua dado por los fertilizantes utilizados en el proceso del cultivo de quinua. Los fertilizantes utilizan un fuente de zinc que es poco soluble en agua, esta son poco efectivas en el suministro de zinc para la plantas (Shaver, Westfall, & Ronaghi, 2007). Y los rastros llegan hasta las zonas costeras donde se ven mezcladas con agua marina.

7.4.14 Toxicidad carcinogénica humana

Es la evaluación de sustancias que tienen el potencial de generar cáncer en los humanos, este se basa en estudios realizados en animales. Las sustancias que se mencionan ya están científicamente comprobadas que generan cáncer en el humano, lo que indica una relación causal entre exposición del agente, sustancia o mezcla y el cáncer en humanos(ATSDR, s/f).

Gráfica 14. Evaluación de sustancias, toxicidad carcinogénica humana



Fuente: Elaborada por autor

En la gráfica 14 se evaluaron un total de 9 sustancias con un total de 0,00711 kg 1,4-DCB, la sustancia que más aporte tuvo fue el formaldehído en el aire con 0,000297 kg 1,4-DCB, níquel en el aire con 0,000119 kg 1,4-DCB, cromo VI en el agua con $8,11 \times 10^{-5}$ kg 1,4-DCB las demás sustancias los valores son insignificantes para el estudio.

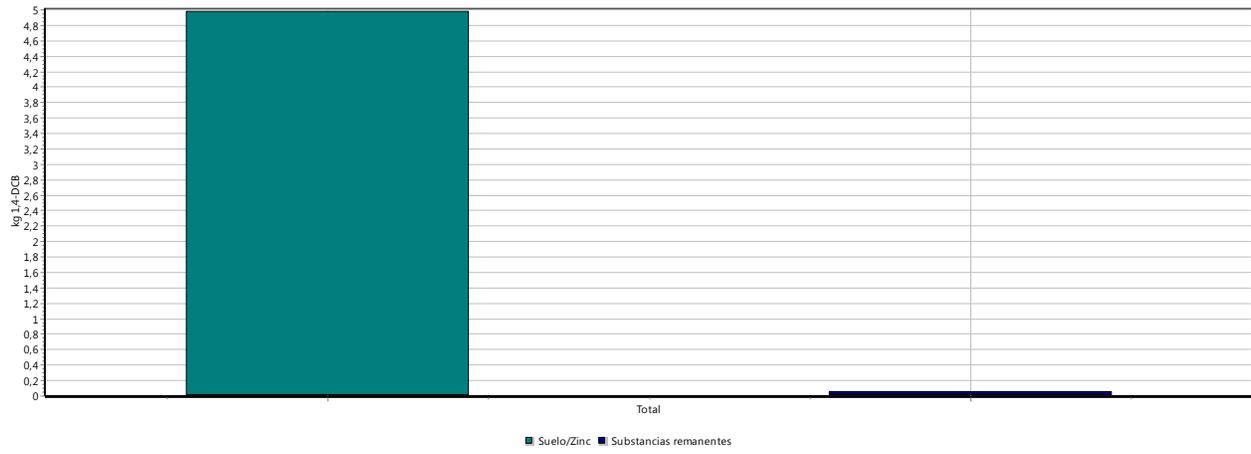
Esto es un resultado del uso de los equipos (The, Society, & Science, 2012) en cuanto al riesgo por el uso de la motobomba. Los altos valores de toxicidad carcinogénica humana se deben primordialmente a las cadenas de producción por la cuales se fabrican los motores (Hawkins et al., 2013).

El formaldehído que es la sustancia con la mayor presencia en el estudio, este entra al ambiente por formas naturales o fuentes generadas por el humano como la combustión del diésel. Los vehículos a motor son la fuente primaria de formaldehído en el ambiente. El uso de este también se hace el producción de resinas y fertilizantes(Health, 2002).

7.4.15 Toxicidad no carcinogénica humana

Se refiere a la liberación de sustancias toxicas que pueden causar o agravar enfermedades no relacionadas con cáncer en humanos (Langfitt, 2017).

Gráfica 15. Evaluación de sustancias, toxicidad no carcinogénica humana



Fuente: Elaborada por autor

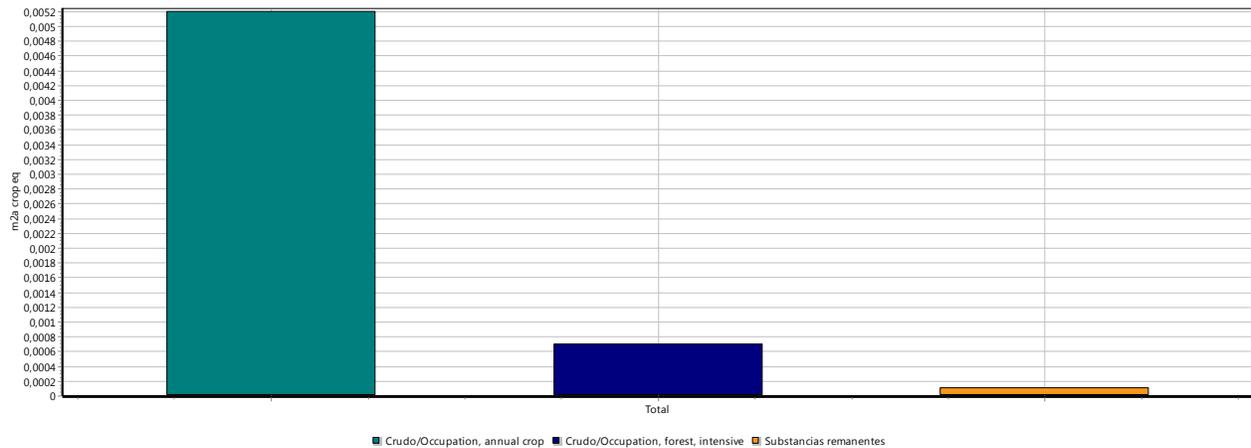
En la gráfica se puede observar que solo existe una sola sustancia el zinc con un valor de 4,98 kg 1,4-DCB y la sustancias remanentes 0,0472 kg 1,4-DCB, para un total de 5,02 kg 1,4-DCB.

El proceso del cultivo que más contribuye a la sustancia de zinc es el riego con 4,99 kg 1,4-DCB. Los altos niveles de zinc están relacionados con actividades humanas como la industrialización y la agricultura. La presencia de zinc reduce la disponibilidad de cadmio para las plantas, ya que inhibe la absorción de calcio (*September 2013 Issue 5 IN-DEPTH REPORT Soil Contamination: Impacts on Human Health Environment Science for Environment Policy, s/f*)

7.4.16 Uso del suelo

El suelo es un sección ambiental clave, ya que determina el suministro de servicios ecosistémicos cruciales. El hecho de que el suelo sea usado para agricultura, silvicultura, minería, construcción de viviendas o la industria genera impactos, especialmente a la biodiversidad y a la calidad del suelo como proveedor (Milà I Canals et al., 2007).

Gráfica 16. Evaluación de sustancias, uso del suelo



Fuente: Elaborada por autor

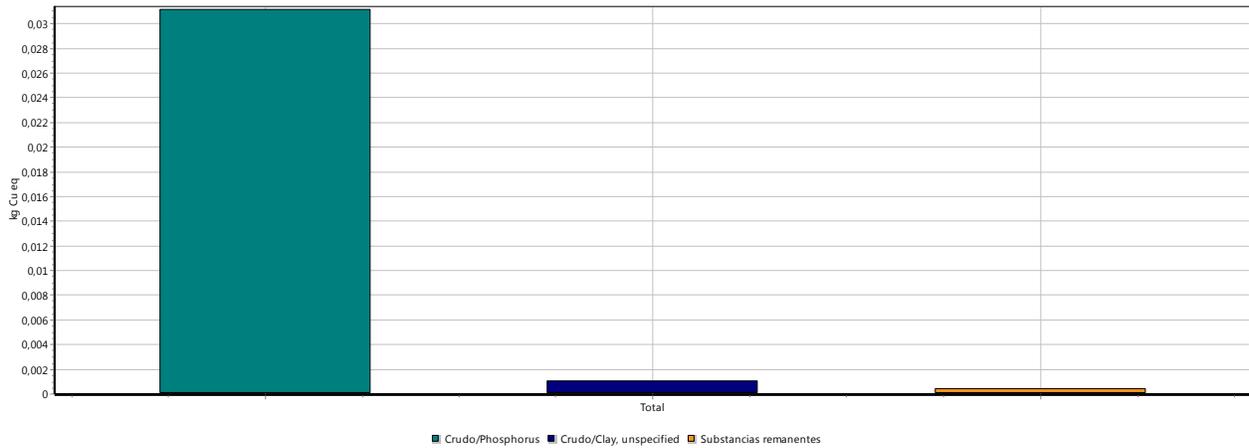
En la gráfica 16 se observan la cantidad de suelo que está siendo utilizada por cosecha anual que corresponde a 0,0025 m²a crop eq, 0,00067 m²a crop eq por bosque intensivo y 5,74 X 10⁻⁵ m²a crop eq por basurero, en total 0,006 m²a crop eq.

La mayoría del uso de la tierra es de agricultura ya que el cultivo se realiza sobre este tipo de suelo.

7.4.17 Escasez de recursos minerales

Es el proceso por el físicamente se reduce la cantidad de un recurso en específico. Hace referencia a la reducción geológica o natural en un periodo de tiempo, no de una mina individual. Se cuantifica en kg de equivalente de antimonio por MJ o por extracción (Sala, Benini, Castellani, Vidal-Legaz, & Pant, 2016).

Gráfica 17. Evaluación por sustancia, escasez de recursos minerales



Analizando 1 p 'Cultivo de quinua': Método: ReCiPe 2016 Midpoint (H) V1.01 / Caracterización / Excluyendo procesos de infraestructura / Excluyendo emisiones a largo plazo

Fuente: Elaborada por autor

En la gráfica 17 se puede observar que el fosforo de color menta es el que mayor aporta con 0,0311 kg Cu eq, seguido en proporciones muy inferiores arcilla con 0,00106 kg Cu eq, para un suma total de 0,325 kg Cu eq.

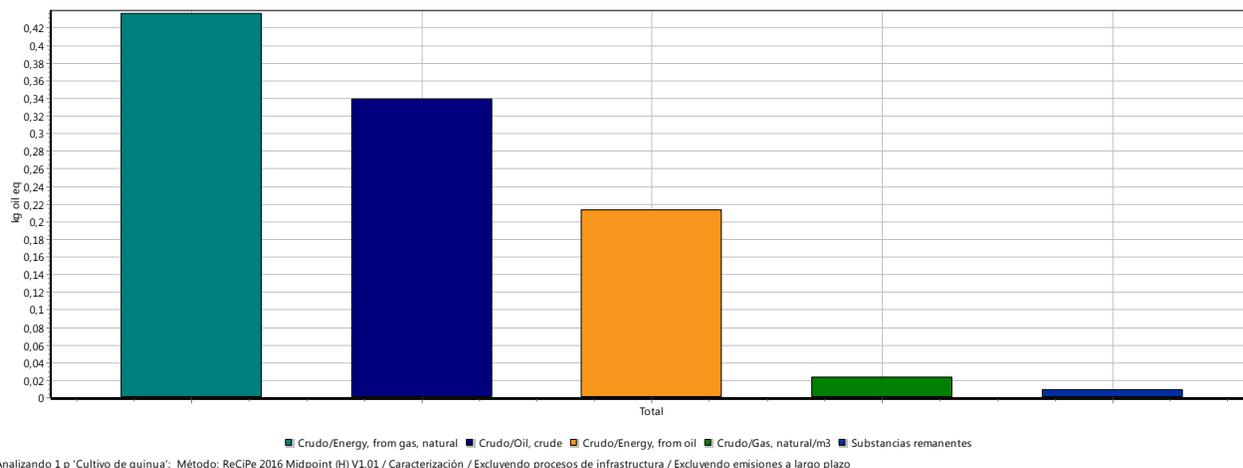
El uso de fertilizantes domina el cálculo debido a la producción y el transporte. El uso de minerales tales como la roca de fosfato y sales de potas son altamente relevantes. En especial es fósforo debido a que a nivel mundial los recursos de fosfatos se están disminuyendo considerablemente.

Adicionalmente algunos minerales como el hierro, plata, platino y titanio se utilizan en el diésel y en la producción de petróleo, por lo tanto tiene un efecto dentro del transporte (Hasler et al., 2015).

7.4.18 Escasez de recursos fósiles

Se refiere a la extracción de gas natural, petróleo y reservas de carbón a un ritmo mayor al cual naturalmente se puedan suplir (Sustainable Minds, 2017).

Gráfica 18. Evaluación de sustancias, escasez de recursos fósiles



Fuente: Elaborada por autor

Para la evaluación de escasez de recursos fósiles se tuvo en cuenta cuatro sustancias la primera energía de gas natural aportó 0,436 kg oil eq, el segundo fue petróleo crudo con 0,338 kg oil eq, el tercero energía de petróleo 0,213 kg oil eq, y gas natural m3 0,0228 kg oil eq, para un total de 1,02 kg oil eq.

Uso de los motores son los que dominan los altos valores registrados por el software(Hawkins et al., 2013). El uso de la motobomba y le vehículo de pasajeros genera el alto uso de energía por parte de petróleo. La producción de los fertilizantes genera un gran uso de gas natural.

En resumen para un cultivo de quinua para 50kg a la etapa de fertilizantes e insecticidas se le atribuyen los siguientes impactos ambientales: calentamiento global, agotamiento del ozono estratosférico, acidificación terrestre, toxicidad carcinogénica humana, uso del suelo, escasez de recursos minerales, escasez de recursos fósiles, esto representa el 46% el subsistema completo del cultivo del quinua. Es subsistema de riego tuvo una mayor contribución en los siguientes impactos: radiación ionizante, formación de ozono (humano), formación de partículas finas, formación de ozono terrestre, ecotoxicidad terrestre, ecotoxicidad de agua dulce, ecotoxicidad marina, toxicidad no carcinogénica humana este subsistema representa el 56% de los impactos en el sistema general.

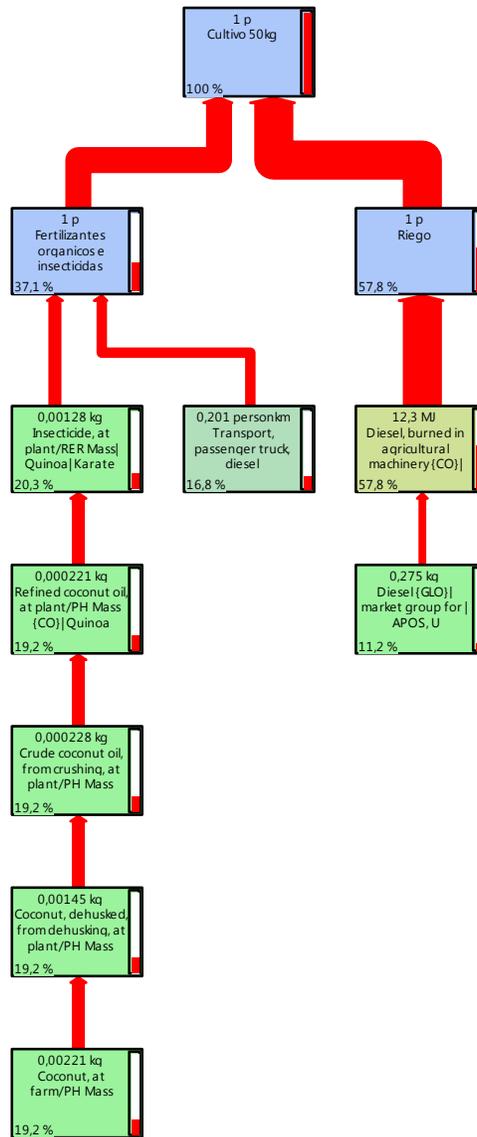
Teniendo en cuenta que hay sectores del proceso del cuales se poseen control de cambio se realizó un análisis de sensibilidad. Teniendo en cuenta el conocimiento que se tiene de los subsistemas del cultivo de quinua en cuanto a los insumos que se maneja.

7.5 *Análisis de sensibilidad de los datos*

En este capítulo se interpretaron los resultados por medio de la modificación realizada al subsistema, este con el fin de profundizar los impactos generados por los subsistemas del cultivo de quinua. Para el análisis de sensibilidad se tomara en cuenta la etapa de los fertilizantes, aunque el riego tiene una mayor cantidad de impactos ambientales este subsistema es de vital importancia para el cultivo y no se

puede cambiar. Por esas razones se escogió la etapa de los fertilizantes en la que existen varias alternativas que pueden disminuir los impactos ambientales que generan.

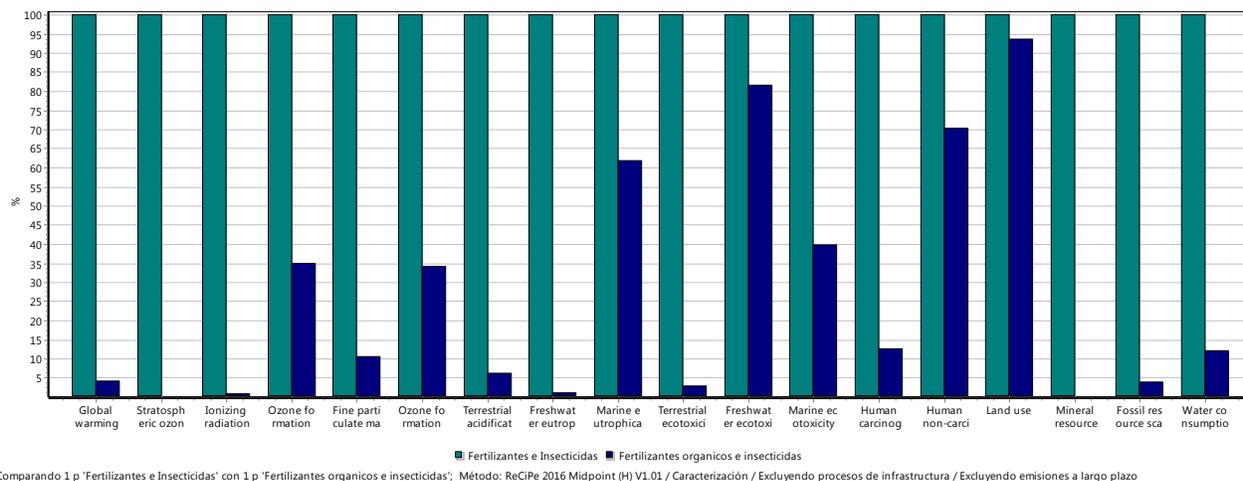
Figura 6. Diagrama de redes en el cultivo de quinua



Fuente: Elaborada por autor

En la figura 6 se observa que el proceso más representativo es riego (57.8%) seguido por los fertilizantes (37,1%). Una vez el fertilizante químico es remplazado por estiércol de vaca y de aves, ya que estos son los animales con los que cuenta la finca analizada. Por este motivo el riego y el proceso que se utiliza para los insecticidas ahora se vuelven un subsistema con mayor importancia.

Gráfica 19. Comparación de fertilizantes químicos con fertilizantes orgánicos



Fuente: Elaborada por autor

Teniendo en cuenta los puntos críticos generados por el uso de fertilizantes identificados previamente. Se analizó la disminución en cada uno de estas categorías cambiando el uso de fertilizantes químicos con fertilizantes naturales (Gráfica 19).

Con respecto a la categoría de calentamiento global se redujo 1.72 kg de CO₂ equivalente. La acidificación terrestre se redujo 6.028 X 10⁻³ kg SO₂ eq. En el compartimento de toxicidad carcinogénica humana la diferencia fue de 3,754 X 10⁻³kg 1,4-DCB. Con respecto al uso del suelo fue de 3.5 X 10⁻³ m² crop. En cuanto al escases de recursos minerales y recursos fósiles se disminuyeron 0.0324 kg Cu eq y 0,614 kg oil eq respectivamente.

En general se puede observar que la tendencia para todas las categorías de impacto se reduce la cantidad de kilogramos generados (Anexo D).

El costo de un bulto de 50 kg del fertilizante tiene un costo de \$75.000. Para suplir la necesidad de la hectárea es necesario el uso de 300 kg es decir 6 bultos con un costo total de \$450.000. Con el cambio de fertilizantes químicos a abonos orgánicos que no tendrían ningún costo, ya que la finca y las fincas alrededor cuentan con gallinas y vacas que suplirían la necesidad de comprar fertilizante.

7.6 Propuesta para la mitigación de impactos

Teniendo en cuenta que los subsistemas que mayores impactos ambientales generados son los subsistemas del riego. Considerando estos dos etapas a continuación se mencionaran las alternativas que se proponen para de esta forma disminuir los impactos generados.

7.6.1 Alternativas tecnológicas para el riego

La primera alternativa que se evalúa es la irrigación por goteo. Esta consiste en que el agua fluya por una serie de tubos que con emisores espaciados a una cierta distancia. El agua es distribuida por medio

de los emisores de manera directa al suelo cerca de la raíces. Si el sistema está bien diseñado, instalado y diseñado se puede alcanzar la conservación del agua, reduciendo la evaporación y el drenaje subsuperficial. Comparado a otros sistemas de riego como inundaciones o el riego por aspersores el agua que se hace por medio de goteo el agua puede ser aplicada directamente en la raíces. Uno de los beneficios. Este sistema es adaptable a la pendiente cultivable y es adecuado para la mayoría de suelos (“Conservation Tillage | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!”, s/f).

Este proceso se ha llevado a cabo en los Estados Unidos desde 1980 y ha escalado la popularidad desde ese entonces. En los estudios realizados a más de 30 cultivos concluyen que el rendimiento del cultivo era más alto y que se requería de menos agua (C. R. Camp, 1998).

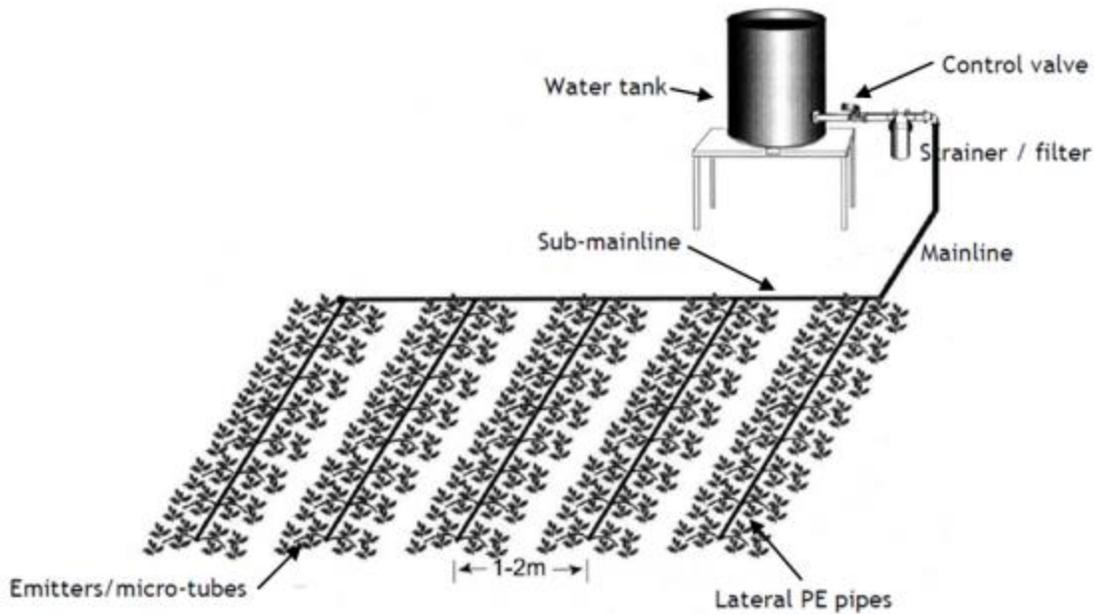
Las ventajas del uso de este tipo de riego incluyen una alta eficiencia de agua con bajos costos de obras de mano, pérdidas mínimas de fertilizante y nutrientes debido a la aplicación localizada, la habilidad de irrigar campo

en desnivel. La humedad del suelo puede ser mantenida, la erosión del suelo se reduce, se hace una irrigación uniforme del agua, controlada por la boquilla. Normalmente se operan a presiones más bajas disminuyendo los costos de energía (Goldberg, Gornat, & Rimon, 1976).

En cuanto a las desventajas se contempla un alto costo inicial que puede llegar a ser más alto que otros sistemas, la radiación solar puede afectar el estado de los tubos acortando la vida útil de estas, si el agua no está bien filtrada y los equipos no se les realiza un mantenimiento adecuado puede resultar en el taponamiento. Este tipo de sistemas necesita un estudio previo donde se incluyan factores como la topografía, el suelo, agua, tipo de cultivo y con condiciones agro-climáticas que permitan evaluar la conveniencia del tipo de riego y de sus componentes. Por último otro de los problemas es la acumulación de sales que se puede acumular en la zona de las raíces para eso se debe hacer mantenimiento para disminuir este tipo de percances (“Conservation Tillage | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!”, s/f)

Para el diseño simple de un sistema de riego se necesita un balde de 20 litros como aproximadamente 30 metros de manguera que vayan conectadas a la parte inferior del balde. El balde debe estar ubicado a al menos un metro de altura para que por medio de la gravedad se disponga de la presión necesaria para irrigar todo el campo. El agua que llega al balde debe primero ser filtrada. Desde el balde el agua es distribuida a las mangueras que disponen del agua por boquillas ubicadas cada 30 cm (Figura 7) (Goldberg et al., 1976)

Figura 7. Diseño sistemático de irrigación por goteo de bajo costo



Fuente: (“Conservation Tillage | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!”, s/f)

El costo para la instalación de un sistema para producciones industriales puede llegar a ser elevado e inaccesible. Pero para fincas pequeñas los costos pueden ser bajos en un rango de \$100,000- \$300,000 pesos colombianos. También existe la opción de realizar el sistema con materiales reciclados que se encuentren disponibles, reduciendo los costos (“Conservation Tillage | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management!”, s/f).

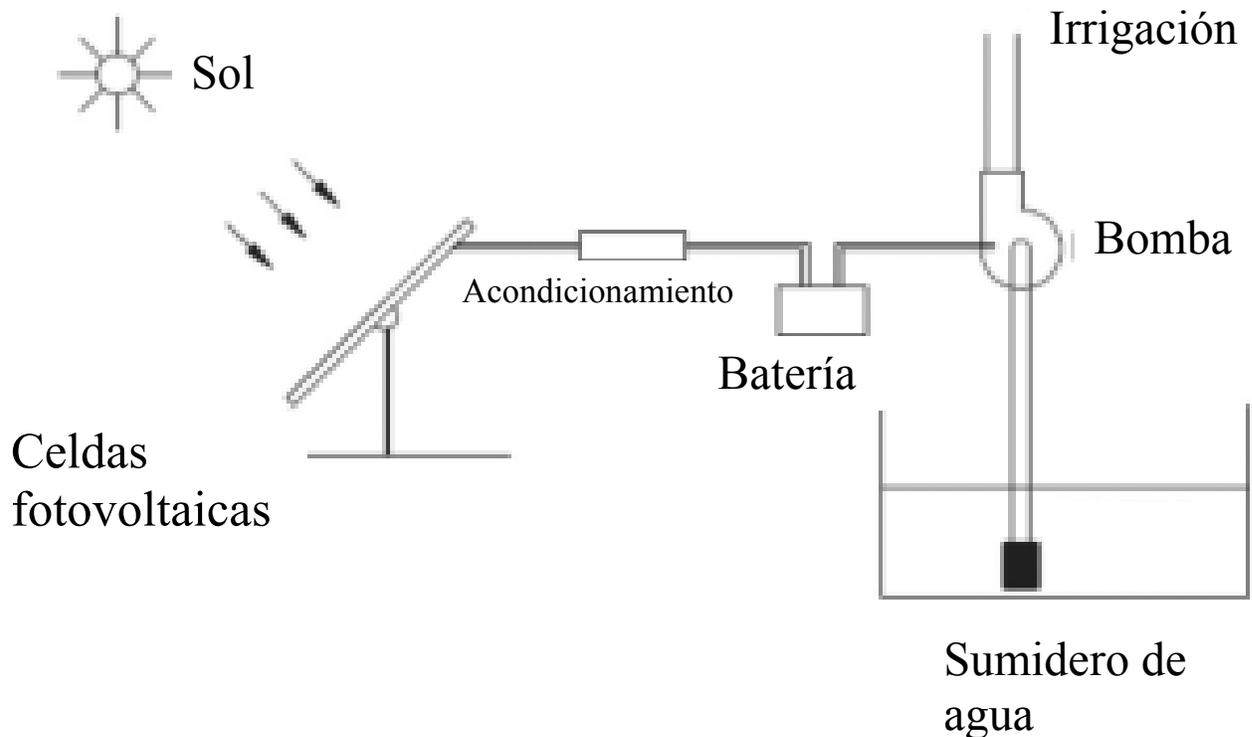
El mantenimiento se debe hacer de forma regular ya que factores como hojas y tierra pueden tapar las boquillas de las mangueras. Las fugas se pueden dar debido a insectos, animales o por el uso de maquinaria. Es importante reparar las fugas ya que esto genera una irrigación irregular. Para prevenir el sedimento y taponamiento de las mangueras se recomienda lavar las mangueras con mayor presión una vez el cultivo se haya terminado (Goldberg et al., 1976).

Otra alternativa contemplada es el sistema de bombeo solar fotovoltaico. Este es un sistema para la irrigación que reduce o elimina por completo el costo de energía para el bombeo de las fincas. Es una opción factible para suministrar energía en áreas aisladas. El uso de energías renovables es una alternativa que produce menores cantidades de gases de efecto invernadero (Mérida García, Fernández García, Camacho Poyato, Montesinos Barrios, & Rodríguez Díaz, 2018)

Los primeros esfuerzos de convertir energía solar en energía mecánica data de siglos 15-19. El primer caso de bomba de agua solar fotovoltaica se reportó en 1964 en la unión soviética. El primer sistema a gran escala fue construido en 1977 en Mead Nebraska, la capacidad del sistema era de 3,8 m³ por

minuto durante 12 horas del día. Durante de las décadas de los 70-80 las investigaciones iban enfocadas a la conversión de energía en termodinámica(Sontake & Kalamkar, 2016)

Figura 8. Sistema de bombeo fotovoltaico



Fuente: (Sontake & Kalamkar, 2016)

Para la instalación de bombeo fotovoltaica se compone por celdas fotovoltaica, bomba, un pozo, un suministro de tuberías y un depósito de acumulación. Se deben tener en cuenta algunas condiciones hidráulicas para la instalación de bombeo tales como: la profundidad del nivel del agua en el pozo, la altura estática hasta llegar al depósito, las pérdidas adicionales por las tuberías, y la energía suministrada por el generador fotovoltaico.

Los componentes de esenciales en toda instalación son el sistema de generador fotovoltaico, el subsistema de motobomba, subsistema de acondicionamiento de potencia y la acumulación y distribución (Figura 8).

Las celdas fotovoltaicas son un conjunto de módulos conectados en serie que transforman la energía solar en energía eléctrica. Seguido por una motobomba que está conformado por un motor que acciona una bomba de agua, esta se sitúan en los pozos y pueden ser sumergibles, flotantes o de superficie. La

función del acondicionamiento de potencia es generar al motor la combinación adecuada de tensión corriente para que las celdas fotovoltaicas funcionen en su punto máximo de potencia. (Alonso & Chenlo, 1994).

En Colombia la instalación de una de estos sistemas tiene un costo de \$3,000,000 que incluye una bomba de 0.5 hp, con una succión de 8m, flujo de 2100L/h con los beneficios que se pueden conectar otros equipos eléctricos pequeños (“Bombas de agua usando paneles solar - Vivasolar Colombia”, s/f)

El mantenimiento que se le debe realizar a este tipo de sistemas es mínimo y consiste en el limpieza de los paneles solares, revisión de cableado, limpieza de los tanques y revisión de estado de la bomba(“Sistema de Bombeo de Agua Solar | Schneider Electric”, s/f)

8 Conclusiones

En conclusión se cumplió con el objetivo general del estudio de evaluar los impactos ambientales generados por el cultivo de quinua en Tuta, Boyacá. Entre los impactos ambientales más afectados son toxicidad no cancerígena humana con 5,02 kg 1,4-DCB, calentamiento global 2,97 kg CO₂, ecotoxicidad terrestre 1,24 kg 1,4-DCB, escasez de recursos fósiles 1,02 kg de oil eq. Por medio del análisis de ciclo de vida se pudieron identificar que los procesos que mayores impactos generaban eran el riego y el uso de los fertilizantes. El uso de diésel en las maquinarias como la motobomba para el riego genera altos impactos de zinc en la evaluación por sustancias. Por el mismo motivo se generan altos valores en cuanto a calentamiento global y escasez de recursos fósiles.

El primer objetivo específico de elaborar un análisis de ciclo de vida para un cultivo de quinua en Tuta, Boyacá, bajo el estándar ISO 14044 se cumplió satisfactoriamente. Por medio de esta herramienta se puede concluir que los impactos de un cultivo de quinua son significativos y que todos los procesos representan algún impacto sobre el medio ambiente. Esta herramienta facilita la identificación de puntos críticos, a estos se le pueden realizar mejoras o recomendaciones que puedan mejorar no solo el cultivo pero el rendimiento que hay en la actualidad. Teniendo en cuenta los resultados arrojados por el software donde el impacto mas significativo es toxicidad no cancerígena humana. Debido al uso de la motobomba en el riego. Este elemento tienen trazas de sustancias en varias categorías de impacto y por esta razón se recomienda su cambio por otras tecnologías. Se puede concluir que el análisis de ciclo de vida es una herramienta cuantitativa que ayuda a identificar las sustancias que mas afectaciones tiene sobre el medio ambiente. Es importante identificar estas sustancias ya que de manera muy eficaz se pueden cambiar para de esta forma ayudar a los productores cultivar alimentos con bajos impactos ambientales.

El segundo objetivo específico fue diseñar una propuesta para la mitigación de los impactos ambientales negativos para la finca seleccionada, este objetivo también se pudo realizar de manera apropiada. El método escogido facilito el cumplimiento de este permitiendo generar una propuesta adecuada para las impactos identificados.

Teniendo en cuenta los impactos generados y las etapas del proceso que mayores afectaciones tuvieron se propusieron el cambio de tecnologías para el sector del riego. Los gases de efecto invernadero tienen un alto impacto sobre el sistema y se recomendaron tecnologías que redujeran los valores y los posibles impactos que esta puedan tener. En primera instancia se recomienda el cambio del tipo de riego, a una tecnología denominada riego por goteo, aunque existen variaciones muy tecnificadas se recomienda el uso de una tecnología muy artesanal que pueda disminuir los impactos ambientales cumpliendo con las funciones necesitadas. La segunda recomendación es el bombeo fotovoltaico que aunque se requeriría de una inversión más alta la tecnología podría suplir de manera eficiente la necesidad energética de la motobomba para la irrigación. Este cambio en tecnología podría disminuir significativamente los impactos que genera el cultivo. Se tuvo en cuenta la viabilidad de la aplicación como también los costos que estos podrían implicar al cultivo.

Se puede finalizar la investigación recalcando la importancia de conocer los impactos ambientales que un cultivo de quinua genera. Es importante que los productores como los actores involucrados estén conscientes de el impacto generado, para que se tengan en cuenta a la hora de toma de decisiones. Teniendo en cuenta la metodología planteada por la ISO 14044 para el análisis de ciclo de vida esta permite realizar una investigación exhaustiva sobre los impactos que genera el cultivo. Teniendo una base cuantitativa para la toma de decisiones.

9 Recomendaciones

Para realizar un mejor modelamiento del sistema se recomienda realizar estudios específicos en cuanto a las emisiones generadas por el la motobomba. También es importante realizar mediciones de la calidad del agua, teniendo en cuenta que alrededor de la finca están ubicadas varias fincas que cultivan diferentes alimentos.

Para una mejor toma de datos, se recomienda realizar el ACV en diferentes fincas ubicadas en sitios diferentes. Esto para poder comparar el proceso que se lleva a cabo. También hay que tener en cuenta las propiedades del suelo ya que estas afectan el uso de fertilizantes que se necesita.

Otro aspecto que se recomienda tener en cuenta es los cultivos que se tienen antes y después de la cosecha de la quinua, mayoría de los productores siembran la quinua después de algún otro cultivo. Esto es importante tenerlo en cuenta ya que la fertilización y el uso de insecticidas puede ser mayor o menor.

Es importante tener una visión sistemática para poder realizar un análisis de ciclo de vida, hay que tener en cuenta todas las entradas y salidas que entran al sistema. Por eso es importante conocer muy detalladamente el sistema, los productores a veces omiten pasos o cantidades que se utiliza, por eso se recomienda realizar la investigación con varias personas que conozcan detalladamente el proceso ya que el aporte podría significar un mayor impacto en una categoría.

En cuanto al uso del software también, se recomienda usar diferentes metodologías para identificar las sustancias, una de las limitaciones que tiene el uso de ReCiPe midpoints es que no se pueden

normalizar los resultados. La normalización de los resultados permite la comparación de los impactos en una manera mas sencilla. Una de las metodologías que permite realizar esta operación es IPCC, 2013.

En cuanto a Colombia hace parte de la red de Iniciativa de Ciclo de Vida, y estos deberían comprometerse a la construcción de bases de datos nacionales. De esta forma facilitar la aplicación de ACV en Colombia. Generando resultados significativos para la toma de decisiones y la generación de políticas.

Bibliografía

- (ICA), I. C. A. (2004). Resolución 2004 de junio 19 de 2015. Recuperado el 5 de septiembre de 2018, a partir de http://legal.legis.com.co.ezproxy.unbosque.edu.co/document/legcol/legcol_da2a746dd06c42879a296654024d25f7/resolucion-2004-de-junio-19-de-2015?text=quinua&type=q&hit=1
- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016a). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438–469. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>
- Ahumada, A., Ortega, A., Chito, D., & Benítez, R. (2016b). Saponinas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): un subproducto con alto potencial biológico. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 45(3), 438–469. <https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v45n3.62043>
- Alcaldía de Tuta Boyacá. (s/f). Recuperado el 4 de septiembre de 2018, a partir de http://www.tuta-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml#geografia
- Alonso, M., & Chenlo, F. (1994). Sistemas de Bombeo Fotovoltaico. *Ciemat*, 60.
- Analysis of midpoint categories. (s/f). Recuperado a partir de https://lca-net.com/files/LCIA_Background_III_Midpointcategories_final3a.pdf
- Arnold, R. D., & Wade, J. P. (2015). A Definition of Systems Thinking: A Systems Approach. *Procedia - Procedia Computer Science*, 44, 669–678. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.03.050>
- ATSDR. (s/f). Chemicals and Cancer - NTP: Known to be a human carcinogen. Recuperado el 17 de octubre de 2018, a partir de <https://www.atsdr.cdc.gov/substances/toxorganlisting.asp?sysid=23>
- Barthel, M., Fava, J., James, K., Hardwick, A., & Khan, S. (2017). Hotspots Analysis - An overarching methodological framework and guidance for product and sector level application, 86. Recuperado a partir de www.lifecycleinitiative.org
- Bertalanffy, L. von. (1968). *General system theory; foundations, development, applications*. Recuperado a partir de https://monoskop.org/images/7/77/Von_Bertalanffy_Ludwig_General_System_Theory_1968.pdf
- Blonk Agri-footprint. (2015). *Agri-footprint 2.0 - Part 1: Methodology and basic principles*. Recuperado a partir de www.agri-footprint.com
- Blonk Agri-footprint BV. (2016). Agri-footprint@_LCA food database v.3. Recuperado el 9 de octubre de 2018, a partir de <http://www.agri-footprint.com/>
- Bombas de agua usando paneles solar - Vivasolar Colombia. (s/f). Recuperado el 18 de octubre de 2018, a partir de <https://www.vivasolar-colombia.com/productos/bombas-de-aguas/>
- C. R. Camp. (1998). SUBSURFACE DRIP IRRIGATION: A REVIEW. *Transactions of the ASAE*, 41(5), 1353–1367. <https://doi.org/10.13031/2013.17309>
- Calderón Cuartas, P. A. (s/f). *UNIVERSIDAD DE MANIZALES 202 FACULTAD DE CIENCIAS*

CONTABLES, ECONÓMICAS Y ADMINISTRATIVAS environmental culture in agricultural production, specifically to ensure the implementation of cleaner production strategies in the delplátano production system. Recuperado a partir de <http://revistasum.umanizales.edu.co/ojs/index.php/Asuntosecoyadmon/article/viewFile/2297/2399>

- Cancino-Espinoza, E., Vázquez-Rowe, I., & Quispe, I. (2018). Organic quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) production in Peru: Environmental hotspots and food security considerations using Life Cycle Assessment. *Science of the Total Environment*, 637–638, 221–232. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.029>
- Cantarino, M. C. (1999). *Estudio De Impacto Ambiental, El. Digitalia* - University De Alicante. Recuperado a partir de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=49295>
- Cardona Leon, J. O. (2012). Plan de desarrollo 2012-2015. Recuperado a partir de <http://cdim.esap.edu.co/bancomedios/documentos/pdf/tutaboyacápd20122015.pdf>
- Colombia, C. de. (1991). Constitución Política de Colombia. *Presidencia de la república*. <https://doi.org/42867930>
- Conservation Tillage | SSWM - Find tools for sustainable sanitation and water management! (s/f). Recuperado el 17 de octubre de 2018, a partir de <https://sswm.info/sswm-university-course/module-4-sustainable-water-supply/further-resources-water-use/drip-irrigation>
- Curran, M. A. (2012). *Life Cycle Assessment Handbook. Life Cycle Assessment Handbook*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118528372>
- Dane. (2016). *ENCUESTA NACIONAL AGROPECUARIA ENA BOYACA-2012. I* (Vol. 1). Recuperado a partir de <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/agropecuario/encuesta-nacional-agropecuaria-ena>
- de Lima Andrade, A., & Aurélio dos Santos, M. (2017). Hydroelectric plants environmental viability: Strategic environmental assessment application in Brazil. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.07.152>
- Decision, C. on the D. and E. of S. C. S. A., Industry, F. to I. G. and, Technology, B. on C. S. and, Toxicology, B. on E. S. and, Studies, D. on E. and L., & Council, N. R. (2014). Assessment of Ecotoxicity. Recuperado a partir de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK253975/>
- Encuentro, I. V, La, P., & La, P. Y. (2009). Política nacional para la productividad y competitividad. Recuperado a partir de http://www.mincit.gov.co/publicaciones/10337/programa_nacional_para_la_productividad_y_competitividad
- Erkman, S. (1997). Industrial ecology: An historical view. *Journal of Cleaner Production*, 5(1–2), 1–10. [https://doi.org/10.1016/S0959-6526\(97\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0959-6526(97)00003-6)
- FAO-ALADI. (2014). *Tendencias y perspectivas del comercio internacional de quinua*. Santiago. [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)
- Frischknecht, R., Jungbluth, N., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., ... Nemecek, T. (2007).

Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. ecoinvent report No. 3, v2.0. Swiss Centre for Life Cycle Inventories. Recuperado a partir de https://www.ecoinvent.org/files/201007_hischier_weidema_implementation_of_lcia_methods.pdf

- García Botero, C. (2016). *PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017-2022*. Recuperado a partir de http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf
- Girotti, G., Raimondi, A., Blengini, G. A., Fino, D., & Duca, C. (2011). The Contribution of Lube Additives to the Life Cycle Impacts of Fully Formulated Petroleum-Based Lubricants Department of Materials Science and Chemical Engineering , DISMIC , Politecnico di Torino , Corso Duca degli Abruzzi 24 , 10129 Turin , Italy CNR-I. *American Journal of Applied Sciences*, 8(11), 1232–1240. Recuperado a partir de <http://sites.google.com/site/addnanoeu/>
- Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponsioen, T., & Meijer, E. (2016). *Introduction to LCA with SimaPro. Report version 5.2*. Recuperado a partir de www.pre-sustainability.com
- Goldberg, D., Gornat, B., & Rimon, D. (1976). *Drip irrigation: principles, design and agricultural practices*. Drip Irrigation Scientific Publications. Recuperado a partir de <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/19780360141>
- Gómez P., L., & Aguilar C., E. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Recuperado a partir de www.fao.org/publications/es
- González-García, S., Esteve-Llorens, X., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2018). Carbon footprint and nutritional quality of different human dietary choices. *Science of the Total Environment*, 644, 77–94. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.339>
- Güereca, L. P., Sosa, R. O., Gilbert, H. E., & Reynaga, N. S. (2015). Life cycle assessment in Mexico: overview of development and implementation. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 20(3), 311–317. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0844-9>
- Hasler, K., Bröring, S., Omta, S. W. F., & Olf, H. W. (2015). Life cycle assessment (LCA) of different fertilizer product types. *European Journal of Agronomy*, 69, 41–51. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2015.06.001>
- Hawkins, T. R., Singh, B., Majeau-Bettez, G., & Strømman, A. H. (2013). Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Conventional and Electric Vehicles. *Journal of Industrial Ecology*, 17(1), 53–64. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00532.x>
- Health, A. (2002). World Health Organization Geneva 2002. *International Classification*, 5. Recuperado a partir de <http://www.who.int/ipcs/publications/cicad/en/cicad40.pdf>
- Healy, N. M. (2009). What is systematic theology? *International Journal of Systematic Theology*, 11(1), 24–39. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2400.2008.00421.x>
- Hoballah, A. (2015). Objetivo 12—Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles: un requisito esencial para el desarrollo sostenible | Crónica ONU. Recuperado el 5 de septiembre de 2018, a partir de <https://unchronicle.un.org/es/article/objetivo-12-garantizar-modalidades-de>

consumo-y-producci-n-sostenibles-un-requisito-esencial

- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., ... van Zelm, R. (2017). ReCiPe2016: a harmonised life cycle impact assessment method at midpoint and endpoint level. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 22(2), 138–147.
<https://doi.org/10.1007/s11367-016-1246-y>
- IGI Global. (s/f). What is Systemic Approach. Recuperado el 10 de septiembre de 2018, a partir de <https://www.igi-global.com/dictionary/systemic-approach/29095>
- ISO. Ntc-Iso 14040, Icontec § (2007). Recuperado a partir de http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007 Analisis_CicloVida.pdf
- Johansen-Bertoglio, O. (1993). *Introducción a la Teoría General de Sistemas*. Limusa.
- Kelly, J., Dai, Q., Elgowainy, A., Group, S. A., & Division, E. S. (2015). Updated Life Cycle Inventory of Copper : Imports from Chile, (September).
- Knop, V., Nicolle, A., & Colin, O. (2013). Modelling and speciation of nitrogen oxides in engines. *Proceedings of the Combustion Institute*, 34(1), 667–675.
<https://doi.org/10.1016/j.proci.2012.06.082>
- Komínková, D. (2013). Environmental Impact Assessment and Application — Part 2. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*, 1329–1339. Recuperado a partir de <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.unbosque.edu.co/referencework/9780124095489/earth-systems-and-environmental-sciences>
- Laguna, P., Cáceres, Z., & Carimentrand, A. (2006). Del altiplano sur boliviano hasta el mercado global: coordinación y estructuras de gobernanza en la cadena de valor de la quinua orgánica y del comercio justo. *Agroalimentaria*, 22(22), 65–76. Recuperado a partir de http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542006000100006&lang=es
- Langfitt, Q. M. (2017). *ANALYSES OF FUNCTIONAL UNIT AND NORMALIZATION OPTIONS FOR PRESENTATION OF TRANSPORTATION LIFE CYCLE ASSESSMENT RESULTS*. Recuperado a partir de https://research.libraries.wsu.edu:8443/xmlui/bitstream/handle/2376/12939/Langfitt_wsu_0251E_11962.pdf?sequence=1
- Larsen, H. F. (2011). Review on methodology for LCIA of marine eutrophication. *Poster*. Recuperado a partir de www.lc-impact.eu
- Life Cycle Approach - GSA Sustainable Facilites Tool. (s/f). Recuperado el 4 de septiembre de 2018, a partir de <https://sftool.gov/plan/399/life-cycle-approach>
- Life, S., Ageing, A., The, P., & Life, S. (2005). Fuel News Long Term Storage of Diesel, 3–5. Recuperado a partir de www.bp.com.au/fuelnews
- Loiseau, E., Junqua, G., Roux, P., & Bellon-Maurel, V. (2012). Environmental assessment of a

territory: An overview of existing tools and methods. *Journal of Environmental Management*, 112, 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2012.07.024>

Martínez-Alier, J. (2003). *ECOLOGÍA INDUSTRIAL Y METABOLISMO SOCIOECONÓMICO: CONCEPTO Y EVOLUCIÓN HISTÓRICA*. Recuperado a partir de <http://www.mincotur.gob.es/Publicaciones/Publicacionesperiodicas/EconomiaIndustrial/RevistaEconomiaIndustrial/351/Economia02.pdf>

Matiz Acosta, alberto jose, Arciniegas Riveros, E., Arias Walteros, C. H., & Ruiz Romero, A. (2013). *Proyecto Sistema De Información Geográfica Municipal 2013 Ministerio De Agricultura y Desarrollo Rural*. Recuperado a partir de http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11438/7547/1/SIG-MUNICIPALES_TUTA_BOYACÁ.pdf

MAZDA. (s/f). MAZDA bt-50 2010. Recuperado el 4 de octubre de 2018, a partir de <https://www.coches.net/prueba-mazda-bt50-25-crtd-doble-cabina-sportive-trabajo-ocioso-11173-prno>

McIntosh, A., & Pontius, J. (2017). *Case Studies for Integrating Science and the Global Environment. Science and the Global Environment*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801712-8.00004-4>

McManus, M. C., & Taylor, C. M. (2015). The changing nature of life cycle assessment. *Biomass and Bioenergy*, 82, 13–26. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.04.024>

Mérida García, A., Fernández García, I., Camacho Poyato, E., Montesinos Barrios, P., & Rodríguez Díaz, J. A. (2018). Coupling irrigation scheduling with solar energy production in a smart irrigation management system. *Journal of Cleaner Production*, 175, 670–682. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.093>

Milà I Canals, L., Bauer, C., Depestele, J., Dubreuil, A., Knuchel, R. F., Gaillard, G., ... Rydgren, B. (2007, enero 6). Key elements in a framework for land use impact assessment within LCA. *International Journal of Life Cycle Assessment*. Ecomed. <https://doi.org/10.1065/lca2006.05.250>

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2016). La quinua en Colombia es uno de los cultivos con gran potencial de crecimiento. *Colombia recibió a países andinos productores de quinua*.

Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia. (2016). La quinua en Colombia es uno de los cultivos con gran potencial de crecimiento. *Colombia recibió a países andinos productores de quinua*.

MINISTERIO DE AMBIENTE, V. Y. D. T. (2008). *Resolución 909 de 2008. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo*. Recuperado a partir de <http://www.ideam.gov.co/documents/51310/527650/Resolucion+909+de+2008.pdf/a3bcdf0d-f1ee-4871-91b9-18eac559dbd9>

Ministerio del Medio Ambiente. (1995). Decreto 948 de 1995. *Diario Oficial No. 41.876, 1995(41), 12,14*. <https://doi.org/https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&sqi=2&ved=0CCIQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.alcaldiabogota.gov.co%2Fsis>

jur%2Fnormas%2FNorma1.jsp%3Fi%3D1479&ei=sDQaU6jFBaTR0wGuzICgBg&usg=AFQjCNHWOepGypon6e0wpeG1WiRCihO3ew&bvm

- Mohankumar, S., & Senthilkumar, P. (2017, diciembre 1). Particulate matter formation and its control methodologies for diesel engine: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Pergamon. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.133>
- Muralikrishna, I., & Manickam, V. V. (2017). Chapter Five - Life Cycle Assessment. *Environmental Management*, 57–75. Recuperado a partir de <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811989-1.00005-1>
- Nemecek, T., Kägi, T., & Dübendorf, Z. (2007). *Swiss Centre for Life Cycle Inventories A joint initiative of the ETH domain and Swiss Federal Offices Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems Data v2.0 (2007)*. Recuperado a partir de www.art.admin.ch
- Omersa, K. (2017). NOx emissions from diesel engines. Recuperado el 16 de octubre de 2018, a partir de <http://clean-carbonenergy.com/nox-emissions.html>
- Ost, F. (s/f). *Júpiter, Hércules, Hermes: tres modelos de juez**. Recuperado a partir de http://www.derecho.uba.ar/publicaciones/rev_academia/revistas/08/jupiter-hercules-hermes-tres-modelos-de-juez.pdf
- Ponsioen, T. (2018). The Difference Between the ecoinvent 3.1 System Models. Recuperado el 17 de octubre de 2018, a partir de <https://www.pre-sustainability.com/news/ecoinvent-different-system-models>
- PORTAFOLIO. (2017). Área cultivada en Colombia durante el 2016 | Economía | Portafolio. Recuperado el 26 de septiembre de 2018, a partir de <http://www.portafolio.co/economia/area-cultivada-en-colombia-durante-el-2016-508508>
- Preedy, V. R., Watson, R. R. (Ronald R., & Patel, V. B. (2011). *Flour and breads and their fortification in health and disease prevention*. Elsevier/Academic Press.
- Ramirez, A. (s/f). *Metodología de la Investigación Científica*. Universidad Javeriana. Recuperado a partir de www.postgradoune.edu.pe/pdf/documentos-academicos/ciencias-de-la-educacion/1.pdf
- Realidad, U., Oportunidad, Y., & Colombia, P. (s/f). *PLAN DE ACCIÓN INDICATIVO DE EFICIENCIA ENERGÉTICA 2017-2022*. Recuperado a partir de http://www.lupme.gov.co/DemandaEnergetica/MarcoNormatividad/PAI_PROURE_2017-2022.pdf
- Red Colombia Compite. (s/f). Recuperado el 5 de septiembre de 2018, a partir de http://www.mincit.gov.co/publicaciones/12156/red_colombia_compite
- Sala, S., Benini, L., Castellani, V., Vidal-Legaz, B., & Pant, R. (2016). *Environmental Footprint - Update of Life Cycle Impact Assessment methods; DRAFT for TAB Resources, water, land*. <https://doi.org/10.1016/j.jbtep.2017.10.002>
- Sampieri, D. R. H. (s/f). *METODOLOGÍA de la investigación (Sexta)*. McGrawHill. Recuperado a partir de www.elosopanda.com%7Cjamespoetrodriguez.com

- Sánchez, J. C. (2012). *Los métodos de investigación*. Ediciones Díaz de Santos.
- September 2013 Issue 5 IN-DEPTH REPORT Soil Contamination: Impacts on Human Health Environment Science for Environment Policy. (s/f). Recuperado a partir de <http://ec.europa.eu/science-environment-policy>
- Shaver, T. M., Westfall, D. G., & Ronaghi, M. (2007). Zinc fertilizer solubility and its effects on zinc bioavailability over time. *Journal of Plant Nutrition*, 30(1), 123–133. <https://doi.org/10.1080/01904160601055145>
- Shewmake, S., Okrent, A., Thabrew, L., & Vandenberg, M. (2015). Predicting consumer demand responses to carbon labels. *Ecological Economics*, 119, 168–180. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.08.007>
- SimaPro. (s/f). ecoinvent v3 | High-Quality LCI Database Integrated in SimaPro. Recuperado el 9 de octubre de 2018, a partir de <https://simapro.com/databases/ecoinvent/>
- Sistema de Bombeo de Agua Solar | Schneider Electric. (s/f). Recuperado a partir de <http://www.schneider-electric.com.co/es/product-range/62208-sistema-de-bombeo-de-agua-solar/>
- Sontake, V. C., & Kalamkar, V. R. (2016). Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1038–1067. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.021>
- Speight, J. (2017). *Environmental organic chemistry for engineers*. Recuperado a partir de <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0169772296000307>
- Subcomité Técnico ISO/TC 207. (2006). Gestión ambiental Análisis del ciclo de vida. Requisitos y directrices (ISO 14044:2006). *Normas ISO*, 56. Recuperado a partir de http://www.iso.org/iso/catalogue_detail?csnumber=38498
- Sustainable Minds. (2017). Fossil fuel depletion | Sustainable Minds. Recuperado el 17 de octubre de 2018, a partir de <https://app.sustainableminds.com/learning-center/methodology/fossil-fuel-depletion>
- Syngenta S.A. (2012). *HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD (HDS) Karate*. Recuperado a partir de http://www.afipa.cl/web/files/afipa/syngenta/Karate_Zeon.pdf
- The, O. F., Society, A., & Science, H. (2012). Of the american society for horticultural science 137,. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1(1), 102–107. Recuperado a partir de <http://journal.ashspublications.org/content/140/1/102.full>
- Tilman, D. (1999). Global environmental impacts of agricultural expansion: The need for sustainable and efficient practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 96(11), 5995–6000. <https://doi.org/10.1073/pnas.96.11.5995>
- UN Environment. (2017). Benefits of Life Cycle Approaches – Life Cycle Initiative. Recuperado el 10 de septiembre de 2018, a partir de <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/benefits/>

- UNEP-SETAC. (2014). Hotspots Analysis: mapping of existing methodologies, tools and guidance and initial recommendations for the development of global guidance. *UNEP/SETAC Life Cycle Initiative - Flagship Project 3a (Phase 1), 2014*(December). Recuperado a partir de <https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2014/12/UNEP-Hotspots-Mapping-Project-Final-Report-Phase-1.pdf>
- UNEP. (2004). *Why take a life cycle approach?* Recuperado a partir de <http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DTIx0585xPA-WhyLifeCycleEN.pdf>
- UNEP. (2013). *The 10 Year Framework of Programmes on Sustainable Consumption and Production*. Recuperado a partir de www.start.spcclearinghouse.org
- United Nations. (2017). Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible. Recuperado el 5 de septiembre de 2018, a partir de <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- US Life Cycle Inventory Database, NREL. (s/f). Recuperado el 10 de octubre de 2018, a partir de <https://www.nrel.gov/lci/>
- What is Life Cycle Thinking? (s/f). Recuperado el 2 de octubre de 2018, a partir de <https://www.lifecycleinitiative.org/starting-life-cycle-thinking/what-is-life-cycle-thinking/>
- Williams, A., Kennedy, S., Philipp, F., & Whiteman, G. (2017). Systems thinking: A review of sustainability management research. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.02.002>