

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES  
RENOVABLES**

**VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES  
GENERADOS POR LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*) EN LA  
PARROQUIA LA LIBERTAD, CANTÓN ESPEJO**

**PLAN DE TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PARA OBTENER  
EL TÍTULO DE INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**AUTOR: VILLARREAL MIRA JIMMY ALEXANDER**

**DIRECTOR:**

Ing. Albuja Illescas Luis Marcelo MSc.

**Ibarra, julio 2024**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA**

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

<b>DATOS DE CONTACTO</b>			
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	0450061593		
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Villarreal Mira Jimmy Alexander		
<b>DIRECCIÓN:</b>	La Libertad, Barrio San Isidro		
<b>EMAIL:</b>	<a href="mailto:javillarrealm@utn.edu.ec">javillarrealm@utn.edu.ec</a>		
<b>TELÉFONO FIJO:</b>		<b>TELF.MOVIL</b>	0993033708

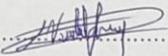
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	Valoración económica de los impactos ambientales generados por la producción de papa ( <i>Solanum tuberosum</i> ) en la parroquia La Libertad, cantón Espejo
<b>AUTOR:</b>	Villarreal Mira Jimmy Alexander
<b>FECHA:</b>	08/07/2024
SOLO PARA TRABAJOS DE TITULACIÓN	
<b>PROGRAMA:</b>	<b>GRADO X POSGRADO</b>
<b>TITULO POR EL QUE OPTA</b>	Ingeniero en Recursos Naturales Renovables
<b>DIRECTOR</b>	Ing. Marcelo Albuja MSc

## 2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin violar los derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume, la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 10 días, del mes de julio de 2024

### EL AUTOR

Firma:  .....

Nombre: Villarreal Mira Jimmy Alexander

**CERTIFICACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**



Ibarra, 08 de julio de 2024

Ing. Marcelo Albuja MSc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

CERTIFICA:

Haber revisado el presente informe final del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que se ajusta a las normativas vigentes de la Universidad Técnica del Norte; en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

(f).....

Ing. Marcelo Albuja MSc.

C.C: 1002839247..

## APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR



El comité calificador del Trabajo de Interacción Curricular “Valoración económica de los impactos ambientales generados por la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en la parroquia La Libertad, cantón Espejo” elaborado por Villarreal Mira Jimmy Alexander, previo a la obtención del título de Ingeniero En Recursos Naturales Renovables, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:

(f).....  
Ing. Marcelo Albuja MSc.  
C.C: 1002839247

(f).....  
Blgo. Renato Oquendo, PhD  
C.C: 1711401834

## DEDICATORIA

*Con inmenso agradecimiento y profundo amor, dedico este trabajo a mis padres Plutarco y Lucimelda, cuya guía, sacrificio y apoyo incondicional han sido pilares fundamentales en mi vida. Gracias, mamá y papá, por enseñarme la importancia del esfuerzo, la perseverancia y la integridad. A mis hermanos, quienes siempre han estado a mi lado brindándome su ánimo, consejos y compañerismo, gracias por ser una fuente constante de inspiración y fortaleza.*

*También quiero dedicar este trabajo a mis amigos: Samanta, Lady, Kevin, Paul, Newin, Erik y sobre todo a mi mejor amiga Junny Gómez, quienes han sido una parte vital de este viaje. Gracias por los momentos compartidos, por las risas, las conversaciones interminables y el apoyo en los momentos difíciles. Su amistad ha sido un faro de luz que ha iluminado el camino durante este arduo proceso.*

*A cada uno de ustedes, les debo más de lo que las palabras pueden expresar. Este trabajo es tanto suyo como mío.*

## **AGRADECIMIENTO**

*Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mis padres, cuyo amor, apoyo incondicional y sacrificio han sido fundamentales en cada paso de mi vida. Gracias, mamá y papá, por inculcarme los valores de la dedicación, el esfuerzo y la perseverancia, y por estar siempre presentes para guiarme y alentarme.*

*Extiendo mi gratitud al director Ing. Marcelo Albuja MSc, por su invaluable orientación, paciencia y sabiduría. Sus comentarios constructivos y su constante motivación han sido esenciales para la realización de este trabajo. A mi asesor Blgo. Renato Oquendo, PhD, le agradezco por su compromiso, sus conocimientos compartidos y por brindar siempre su apoyo y tiempo para asegurar la calidad de esta investigación.*

*A todos ustedes, gracias por creer en mí y por ser una fuente constante de inspiración y apoyo.*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Contenido	Páginas
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Antecedentes: .....	1
1.2 Planteamiento del problema y justificación.....	3
1.3 Objetivos.....	4
1.3.1 Objetivo general.....	4
1.3.2 Objetivos específicos .....	4
1.4 Preguntas directrices .....	5
<b>CAPÍTULO II.....</b>	<b>6</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
2.1 Marco teórico referencial.....	6
2.1.1 Desafíos ambientales producto de la agricultura .....	6
2.1.2 Generalidades de la papa .....	7
2.1.3 Ciclo de producción .....	8
2.1.4 Valoración económica ambiental .....	10
2.1.5 Agricultura sostenible .....	11
2.2 Marco legal .....	12
2.2.1 Constitución del Ecuador.....	12
2.2.2 Código Orgánico del Ambiente .....	12
2.2.3 Reglamento al código orgánico del ambiente.....	12
2.2.4 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralizado (COOTAD) .....	13
2.2.5 Ley orgánica de tierras rurales y territorios ancestrales .....	13
2.2.6 Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025.....	13
2.2.7 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	14
<b>CAPÍTULO III.....</b>	<b>15</b>
<b>3. METODOLOGÍA.....</b>	<b>15</b>
3.1 Descripción del área de estudio .....	15
3.1.1 Climatología .....	16
3.2 Metodología para la identificación de los impactos ambientales .....	16
3.2.1 Definición de objetivo y alcance .....	16
3.2.2 Inventario del Ciclo de Vida (ICV).....	17
3.2.3 Evaluación de impactos .....	19

3.2.4 Análisis de suelo .....	19
3.2.5 Matriz de Conesa Fernández .....	20
3.3 Metodología para valorar los impactos ambientales de la producción de papa.....	21
3.4 Metodología para proponer medidas de mitigación .....	22
3.5 Materiales y equipos .....	23
<b>CAPÍTULO IV. ....</b>	<b>24</b>
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>24</b>
4.1 Identificación de los impactos ambientales generados por un productor tradicional de papa en la parroquia La Libertad .....	24
4.1.1 Emisiones de CO <sub>2</sub> eq (resultados del ACV) .....	24
4.1.2 Uso del agua (agotamiento del recurso) (resultados del ACV) .....	25
4.1.3 Cambios en los suministros de nutrientes por la producción de papa	26
4.1.4 Significancia de los impactos ambientales de la producción de papa	28
4.2 Determinación del valor económico ambiental asociado con la producción de papa en la parroquia La Libertad, tomando en cuenta criterios económicos.....	32
4.3 Propuesta para mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente y que mejoren la producción de papa. ....	35
4.3.1 Programa de fertilización basado en el análisis de suelo.....	35
4.3.2 Programa de gestión eficiente del agua .....	37
4.3.3 Programa de conservación del suelo y cobertura vegetal en cultivos de papa.....	39
<b>CAPÍTULO V .....</b>	<b>41</b>
<b>5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>41</b>
5.1 Conclusiones.....	41
5.2 Recomendaciones .....	42
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>43</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Descripción taxonómica de la papa.....	8
<b>Tabla 2.</b> Características climáticas .....	16
<b>Tabla 3.</b> Fuentes de entrada.....	18
<b>Tabla 4.</b> Fuentes de salida .....	19
<b>Tabla 5.</b> Niveles de interpretación para los resultados.....	20
<b>Tabla 6.</b> Precio de los fertilizantes y nutrientes por unidad. ....	22
<b>Tabla 7.</b> Materiales y equipos para utilizarse.....	23
<b>Tabla 8.</b> Resultados de la categoría emisiones en la producción de papa. ....	24
<b>Tabla 9.</b> Resultados para las categorías uso del suelo y del agua .....	25
<b>Tabla 10.</b> Cambios en el suministro de los nutrientes. ....	27
<b>Tabla 11.</b> Resumen de los impactos severos. ....	30
<b>Tabla 12.</b> Costos de los resultados del ACV para las emisiones de CO <sub>2</sub> eq .....	32
<b>Tabla 13.</b> Cálculo de reducción de nutrientes. ....	33
<b>Tabla 14.</b> Cálculo del aumento de nutrientes. ....	33
<b>Tabla 15.</b> Modelo PER, programa para fomentar la correcta fertilización en cultivos de papa. ....	36
<b>Tabla 16.</b> Modelo PER para el programa de gestión eficiente del agua .....	38
<b>Tabla 17.</b> Modelo PER, programa conservación del suelo y cobertura vegetal en cultivos de papa .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Mapa de ubicación (La Libertad) .....	15
<b>Figura 2.</b> Diagrama de flujo de la producción de papa.....	18
<b>Figura 3.</b> Importancia Ambiental.....	21
<b>Figura 4.</b> Esquema del modelo PER.....	23
<b>Figura 5.</b> Valoración de los impactos ambientales. ....	28
<b>Figura 6.</b> Número de impactos por actividad. ....	29
<b>Figura 7.</b> Impactos de la fase de preparación del suelo .....	29

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Análisis previo del suelo.....	51
<b>Anexo 2.</b> Análisis del suelo posterior a la cosecha.....	51

## RESUMEN

El uso excesivo de los recursos y la agricultura intensiva conlleva efectos negativos sobre el agua, suelo y aire, provocando pérdidas en la biodiversidad y en la estructura fisicoquímica del suelo. La producción de papa en el Ecuador representa el 60% de la demanda alimentaria siendo la principal fuente de ingresos para los agricultores. De estos, el 40 % no aplican buenas prácticas agrícolas y desconocen los impactos ambientales y el valor económico ambiental que representa su producción. Para identificar los impactos ambientales se aplicó un ACV, un análisis de suelo y la metodología propuesta por Vicente Conesa. Para valoración económica se aplicó la metodología de costos de remplazo. Además, se establecieron medidas para mitigar los impactos encontrados. Los resultados de ACV muestran que se emiten 145.49 kg de CO<sub>2</sub> eq por tonelada de papa producida. Se encontró una ligera disminución en los macronutrientes (N y Ca) y un aumento en el P. La matriz de Conesa muestra que existe un impacto severo sobre el componente herbáceo y la remoción de cobertura vegetal significó la actividad de mayor impacto. Las propuestas estuvieron enfocadas en una correcta gestión de los fertilizantes y en mejorar las prácticas de conservación del suelo.

**Palabras claves:** recursos, agricultura intensiva, impactos ambientales, biodiversidad, buenas prácticas agrícolas, valor económico ambiental

## ABSTRACT

The excessive use of resources and intensive agriculture have negative effects on water, soil, and air, causing losses in biodiversity and in the physicochemical structure of the soil. Potato production in Ecuador accounts for 60% of the food demand and is the main source of income for farmers. Of these, 40% do not apply good agricultural practices and are unaware of the environmental impacts and the environmental economic value of their production. To identify environmental impacts, an LCA, a soil analysis and the methodology proposed by Vicente Conesa were applied. The replacement cost methodology was used for economic valuation. In addition, measures were established to mitigate the impacts found. The LCA results show that 145.49 kg of CO<sub>2</sub> eq are emitted per ton of potato produced. There was a slight decrease in macronutrients (N and Ca) and an increase in P. The Conesa matrix shows that there is a severe impact on the herbaceous component and the removal of vegetation cover was the activity with the greatest impact. The proposals were focused on a correct management of fertilizers and on improving soil conservation practices.

**Key words:** resources, intensive agriculture, environmental impacts, biodiversity, good agricultural practices, environmental economic value.

## CAPÍTULO I.

### 1. INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes:

El uso excesivo del agua para el riego y la contaminación del suelo por los fertilizantes químicos, herbicidas y pesticidas, además, la agricultura intensiva afecta la biodiversidad presente y contribuye a la deforestación dos factores que repercuten en la pérdida de hábitats naturales (Muñoz-Liesa et al., 2021). Según Gricelda Vázquez-Carrillo et al. (2016) la producción de papa conlleva varios efectos negativos como lo son la erosión y degradación del suelo, la contaminación de cuerpos de agua y la modificación de la distribución de la fauna edáfica, además que su producción puede alterar las características fisicoquímicas del suelo.

Según Goffart et al. (2022) la producción de papa demanda mucha energía, ya que es necesario mover y aflojar la tierra durante los procesos de arado, siembra, aporque y cosecha, a costa de emisiones de CO<sub>2</sub>, aunque gran parte de esta energía se ve reflejada en utilización de fertilizantes, en el riego y el almacenamiento, por lo que producir una tonelada de papas cuesta 80 kg de CO<sub>2</sub>. Debido a los impactos que se generan Cotler et al. (2011) valoraron económicamente la pérdida de los suelos por la producción agrícola, señalando el grave peligro ambiental que representa para México, además que amenaza la producción agrícola representando una pérdida de \$ 32.4/ha y, en cuanto a pérdidas de nutrientes, la cifra asciende a \$ 22.1/ha lo que indica un gran impacto.

La producción agrícola de papa (*Solanum tuberosum* L.) cubre el 60% de la demanda alimentaria del Ecuador, resultando una fuente importante de ingresos en los pequeños agricultores, debido a su diversidad genética en cuanto a sus semillas (Mora et al., 2018). De acuerdo INEC (2021) la provincia del Carchi ofertó 0.10 millones de toneladas para el año 2021, además que representa el 21.06% de las 19 088 hectáreas destinadas para producción.

La aplicación de fertilizantes sin considerar el balance de nutrientes resulta en un desequilibrio y pérdida de nutrientes en el suelo según Narváez (2019) un claro ejemplo de esto es el exceso de aporte de nitrógeno amoniacal en suelos secos y alcalinos produciendo amoniaco por volatilización afectando a la atmosfera, también menciona que el exceso de aplicación de N y P en forma de nitratos y fosfatos desencadenan en eutrofización de los lagos por los lixiviados y escorrentía. De acuerdo con Casasbuenas

y Estupiñan (2007) mencionan que estas prácticas agrícolas modifican la ecología de la fauna edáfica, afectando a su abundancia, ya que la capacidad depuradora de los suelos es finita.

Para algunas regiones del Ecuador la producción de papa es el principal contaminante ambiental poniendo en riesgo el bienestar humano por el excesivo uso de pesticidas para eliminar plagas como el “gusano blanco” y el “Tizón tardío” que obligan a realizar frecuentes aspersiones de agroquímicos (Martínez, 2009). Las condiciones climáticas en el Ecuador favorecen la presencia de plagas que afectan el 48% de los tubérculos, provocando elevadas pérdidas en la rentabilidad y generando dependencia al uso de pesticidas peligrosos para el control de estas (Colcha, 2009).

Según Crissman et al. (2003) para la provincia del Carchi la mayoría de los agricultores utilizan fungicidas e insecticidas, mezclándolas y aplicándolas por cada fumigación cada 10 o 20 días, basándose en la economía y las condiciones climáticas. Un 47% de estos agricultores indican que utilizan hasta 38 formulaciones distintas y cada una de ellas con 24 ingredientes activos, gran parte de los agricultores utilizan carbofurano como insecticida.

Actualmente, la producción agrícola de papa está considerada como uno de los cultivos más importantes para mantener una seguridad alimentaria a nivel mundial, significando una alta generación de impactos ambientales, que no se han valorado económicamente por los productores (Food and Agriculture Organization [FAO], 2021). Según Bateman et al. (2013) valorar económicamente consiste en cuantificar, en términos financieros, cualquier alteración relacionada con el equilibrio en la calidad ambiental y en los servicios ecosistémicos en relación con las necesidades humanas.

Existen muchos métodos de valoración medioambiental y se puede clasificar en tres grupos: preferencia declarada, preferencia relevada y enfoques de función de producción. Los métodos de preferencia se enfocan en el impacto directo del medio ambiente sobre su utilidad y el método de función de producción se enfoca en el medio ambiente como recurso (Baker & Ruting, 2014). Sin embargo, antes de valorar se necesita determinar el impacto generado y para ello también existen algunas metodologías como el Análisis del Ciclo de Vida (ACV). Según Van der Werf et al. (2020) el ACV es ampliamente utilizado para estudiar los impactos de un producto como su desempeño porque contempla todo el ciclo de vida de dicho producto.

En un estudio realizado por Meng et al. (2017) valoraron económicamente los beneficios de aplicar una agricultura orgánica encontrando que el costo ahorrado es de 276.5 dólares por hectárea, significando varios beneficios ambientales como la disminución de lixiviados de nitratos, aumento de la edafofauna, aumento del secuestro de carbono y la disminución de los gases de efecto invernadero. Sin embargo, los agricultores no aplican una agricultura orgánica, pero sí están dispuestos a mejorar el sistema. Según Barrowclough y Alwang, (2018) los productores están dispuestos a pagar un 0.88% de sus costos de producción para aplicar agricultura de conservación, siempre y cuando exista un 1% de aumento en el rendimiento del cultivo.

La mejor alternativa para disminuir los impactos ambientales por la agricultura son los sistemas agroforestales. Citando a Rozo y Tudela (2014), los beneficios ecosistémicos por secuestro de carbono al aplicar estos sistemas se valoran en 310.4 millones de dólares. De la misma forma, los sistemas silvopastoriles contribuyen a la captura del carbono evitando emisiones de gases de efecto invernadero. Según Miranda et al. (2008), los beneficios de implementar estas técnicas se aproximan a \$ 946/ha/año. Resultando una mejor opción para el ambiente contribuyendo a un desarrollo sostenible.

## **1.2 Planteamiento del problema y justificación**

Los impactos ambientales no son tomados en cuenta por los agricultores dentro de los cálculos económicos al momento de sembrar. Según Wittstock et al. (2022) frente a la toma de decisiones al momento de cultivar no tienen en cuenta la parte ambiental, sino otras características de la finca o el manejo de las tierras y sobre todo el aspecto financiero. Un estudio realizado por Yaghoubi Farani et al. (2021) muestra que los factores financieros son un obstáculo para la implementación de una agricultura sostenible, fomentando el abuso ambiental, sobre todo en sectores rurales.

El cambio del uso del suelo inducido por el hombre en relación con la agricultura, generan afectaciones a largo y corto plazo sobre el suelo, causando pérdidas en la capa superficial del suelo, la acidificación de los suelos y el agotamiento de la materia orgánica (Tessema et al., 2020). Las malas prácticas agrícolas incapacitan la recuperación de los suelos, teniendo así que, a nivel mundial, se pierden más de 10 millones de hectáreas de tierras fértiles (Pimentel, 2006). En un estudio realizado por Belay & Mengistu (2021) para el año 2050 se prevé que la pérdida de suelos aumentara significativamente debido a la agricultura y las intensas lluvias, reiterando que el cambio climático solo empeorara cualquier escenario.

Dentro de este contexto, el problema de investigación que se abordará es el costo ambiental que genera la producción de papa en términos de calidad del suelo y la reducción de la edafofauna y el valor económico que representa incorporar estos impactos en los cálculos de los agricultores. Por ello, el presente estudio se realizará en la parroquia la Libertad, que permita identificar los impactos ambientales significativos en relación con la producción de papa. Además, para realizar la valoración económica se tendrá en cuenta la perspectiva de los productores y la sociedad.

A pesar de los impactos que ocasionan estas prácticas agrícolas, no son tomados en cuenta por los agricultores, fomentando externalidades negativas sobre la sociedad. Por lo que resulta necesario abordar la problemática del valor económico que generan los impactos ambientales por la producción de papa.

La presente investigación se justifica, por la importancia de comprender el costo ambiental que genera la producción de papas y el costo económico que produce la pérdida de suelos por dicha actividad, para facilitar la toma de decisiones sostenibles en los agricultores. Ya que al tomar en cuenta el valor ambiental en los cálculos de los productores, se fomenta prácticas sostenibles y la conservación ambiental. Además, se busca contribuir con el objetivo dos, hambre cero de los Objetivos del Desarrollo Sostenible. Al conocer las pérdidas generadas por la producción de papa, se puede tomar medidas para disminuir estos impactos y mantener así la seguridad alimentaria. Además, esta investigación puede ser utilizada por diferentes actores interesados en formular y tomar decisiones fundamentadas.

### **1.3 Objetivos**

#### ***1.3.1 Objetivo general***

- Valorar económicamente los impactos ambientales generados por la producción agrícola de papa en la parroquia La Libertad, catón Espejo.

#### ***1.3.2 Objetivos específicos***

- Identificar los impactos ambientales generados por un productor tradicional de papa en la parroquia la Libertad.
- Determinar el valor económico ambiental asociado con la producción de papa en la parroquia La Libertad, tomando en cuenta criterios económicos.
- Proponer medidas que permitan mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente y que mejoren la producción de papa.

#### **1.4 Preguntas directrices**

- ¿Cuáles son los impactos ambientales generados por la producción agrícola de papa en la parroquia La Libertad?
- ¿Cómo se puede cuantificar el valor económico de los impactos ambientales generados por la producción de papa?

## CAPÍTULO II.

### 2. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 Marco teórico referencial

##### 2.1.1 *Desafíos ambientales producto de la agricultura*

La producción agrícola garantiza la integridad alimentaria porque asegura gran parte del suministro de alimentos y se ve fuertemente influenciada por dinámicas humanas y naturales (Fusco et al., 2023). Sin embargo, esto representa una contribución a la depredación de los recursos naturales, ya que no se toma en cuenta los impactos que genera. Estimar estos impactos representa un punto útil para establecer mejoras en el sistema agrícola, pero la recopilación de datos resulta compleja y requieren un posterior tratamiento (Sinisterra-Solís et al., 2023).

Se han tomado muchas medidas para la reducción de los impactos de la agricultura, como el uso eficiente del recurso hídrico, fertilizantes y fungicidas, prácticas de manejo sostenible del suelo, entre otras. No obstante, prevalecen diversos desafíos que necesitan de una atención continua. Entre estos se destaca la gestión inadecuada de los residuos agrícolas y el consumo excesivo del recurso hídrico (Bergez et al., 2022). Esta problemática requiere de un monitoreo exhaustivo durante el inicio, desarrollo y culminación de la producción agrícola y puede seguir cuatro diferentes enfoques. El primero es un indicador agroambiental, el segundo es el análisis del ciclo de vida, el tercero es la evaluación de los servicios ecosistémicos y el cuarto es el análisis de la brecha del rendimiento (Soulé et al., 2021)

##### 2.1.1.1 **Enfoque de indicadores agroambientales**

Los indicadores ambientales hacen referencia a la implementación de criterios específicos que permiten evaluar y monitorear diferentes factores ambientales asociados con la agricultura, permitiendo cuantificar los impactos ambientales generados por esta actividad. Además, incluyen una amplia gama de variables para evaluar la calidad del uso, utilización de agua y energía, emisión de gases de efecto invernadero, afectaciones a la biodiversidad, entre otras (De Olde et al., 2017).

##### 2.1.1.2 **Análisis del ciclo de vida (ACV)**

El ACV es utilizado en sectores como la industria y la agricultura para evaluar de manera sistemática los impactos que tiene un producto, proceso o servicio dentro de todo

su ciclo de vida. Se basa en la recopilación de datos sobre el uso de recursos, emisiones al aire, suelo, agua y otros aspectos relevantes durante su ciclo de vida. Este evita la transferencia de impactos de una etapa a otra, ayudando a identificar áreas prioritarias que, contribuyen a la reducción de un impacto, facilitando la toma de decisiones estratégicas (Van der Werf et al., 2020).

### **2.1.1.3 Evaluación de servicios ecosistémicos**

La evaluación de los servicios ecosistémicos es una herramienta que permite comprender y valorar los beneficios de un ecosistema, tanto directos como indirectos. Esto implica identificar, cuantificar y valorar estos servicios (Food and Agriculture Organization [FAO], 2021). Los servicios ecosistémicos se clasifican por categorías como: de provisión (alimento, agua y madera), de regulación (del clima, calidad del aire y prevención de inundaciones), culturales (turismo, recreación y estética), y de soporte (polinización).

### **2.1.1.4 Análisis de la brecha de rendimiento**

El análisis de la brecha de rendimiento evalúa las variaciones entre rendimiento actual y rendimiento potencial de un proceso o un sector específico, comparando el desempeño actual con otro previamente establecido, con la finalidad de distinguir entre áreas significativamente diferenciadas. Para analizar la brecha del conocimiento se toma en cuenta la eficiencia operativa, calidad, productividad y el cumplimiento de los objetivos. Aunque puede variar en función de los objetivos, por lo general implica una recopilación y análisis de datos, comparación de puntos de referencia y la identificación de causas y problemas (Van Ittersum et al., 2013).

### ***2.1.2 Generalidades de la papa***

Según Márquez-Vasallo et al. (1996) la papa presenta un alto rendimiento de producción por su alta adaptabilidad, por lo que se la considera un cultivo necesario para la seguridad alimentaria, además es una fuente importante de nutrientes sobre todo carbohidratos, vitamina C, minerales como el potasio y diferentes fibras. Además, menciona que, la papa cuenta con un sistema radicular superficial, con periodo de crecimiento corto, su rendimiento se ve influenciado especialmente por el nitrógeno.

### **2.1.2.1 Historia y origen de la papa**

El origen de la papa remonta al menos a 7 000 años atrás en Perú y Bolivia, siendo nativa de estas regiones, donde las civilizaciones precolombinas cultivaban la papa en

terrazas en diferentes altitudes debido a su facilidad de almacenar y su gran adaptabilidad (Alfaro, 2019). Con la aparición de los conquistadores en el siglo XVI, la papa empezó a difundirse por toda Europa, convirtiéndose en un cultivo indispensable en la dieta de los europeos, influyendo en el crecimiento poblacional de Europa. Durante el siglo XIX se extendió a nivel global adaptándose a diferentes condiciones climáticas y edáficas. En la actualidad este cultivo es una fuente primordial de alimento a nivel global (Rodríguez, 2010).

### 2.1.2.2 Clasificación taxonómica de la papa

Según Márquez-Vasallo et al. (1996) en su investigación, menciona la clasificación taxonómica de la papa que se muestra en la Tabla 1:

**Tabla 1.** Descripción taxonómica de la papa

<b>Reino</b>	<b>Plantae</b>
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Solanales
<b>Familia</b>	Solanaceae
<b>Género</b>	<i>Solanum</i> L.
<b>Especie</b>	<i>Solanum tuberosum</i>

**Fuente:** (Márquez-Vasallo et al., 1996)

### 2.1.3 Ciclo de producción

#### 2.1.3.1 Actividades necesarias (previas a la siembra)

Según Montesdeoca (2005) existen tres actividades de suma importancia previas a la siembra. Primero se determina si existe presencia de nemátodos, mediante muestras de suelos, estableciendo un criterio para seleccionar la presencia de nematodos en números menores a 4 huevos por 100 gramos de muestra. Es necesario analizar la fertilidad del suelo y para ello, también se toman muestras de suelo. La tercera actividad es el trapeo del gusano blanco para definir su población y controlar la plaga en etapas posteriores. También menciona el correcto manejo de la semilla, en primer lugar, se la debe adquirir la semilla 60 días previos a la siembra, la misma que debe estar desinfectada asegurando su calidad y su almacenamiento debe ser en un lugar ventilado y con baja presencia de luz con una temperatura entre los 16 – 20 °C, ya que esto contribuye al crecimiento de los brotes.

#### 2.1.3.2 Preparación del suelo

La preparación del suelo consiste en la manipulación directa del suelo mejorando la aireación y el control de malezas, esto se lo realiza por actividades de labranza, la misma que está condicionada por factores como la textura del suelo, malezas, humedad y pendiente. Al identificar estos factores se puede aplicar tres técnicas para preparar el suelo: arado, rastra y surcado. El arado cuenta con un conjunto de discos que rompen y aflojan el suelo, es muy utilizada en suelos compactados. La rastra consiste en dos cuerpos de discos que desmenuzan el suelo con una profundidad de 15 cm. El surcado se lo realiza a favor de la pendiente con un ancho de surco de 1.45 m, favoreciendo la aireación y el control fitosanitario (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2021).

#### **2.1.3.3 Siembra**

Al momento de sembrar, la semilla debe contar con múltiples brotes de 2 cm de longitud, considerando la distancia entre surcos, alrededor de 1 m y también se toma en cuenta la distancia entre plantas que es de 0.25 cm. Estas condiciones favorecen a la densidad del cultivo, que se entiende como el número de plantas por superficie (Montesdeoca, 2005).

#### **2.1.3.4 Rascadillo**

El rascadillo es una práctica para el control de maleza consintiendo en la remoción superficial del suelo. Esta se aplica después de 30 o 35 días de sembrada la planta, cuando cuente con una altura de aproximadamente 15 cm. La aplicación de dicha actividad dependerá de la estructura y preparación del suelo, así como de la humedad (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2021).

#### **2.1.3.5 Fertilización (Aporque)**

La fertilidad del suelo depende de la disposición de nutrientes, pero existen factores que limitan esta disponibilidad, como es el caso de la compactación, el mal drenaje, plagas y enfermedades y sobre todo la falta de agua. Los cultivos de papa demandan grandes cantidades de Nitrógeno y Fósforo (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2021).

El aporque es una actividad para adicionar tierra a las plantas formando camellones. A nivel nacional se aplican dos momentos de aporque, dependiendo del nivel de desarrollo de la planta, el primer aporque se lo realiza después de los 60 días de siembra y el segundo después de 80 días, donde se aplica una fertilización extra (Montesdeoca, 2005).

### **2.1.3.6 Cosecha**

El ciclo de cultivo de la papa varía según la variedad y ciertos factores como: clima, temperatura y altitud. La madurez de la variedad Superchola se alcanza en aproximadamente 180 días a 11 °C y 3 000 m de altitud. Los agricultores ecuatorianos tradicionalmente esperan a que las plantas se marchiten para cosechar. Sin embargo, en los campos de semillas, se recomienda considerar la madurez fisiológica, tamaño y apariencia de los tubérculos. Es importante revisar periódicamente su desarrollo. Una vez cosechados, los tubérculos deben retirarse rápidamente para evitar daños por el clima, enfermedades y plagas (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2021).

### ***2.1.4 Valoración económica ambiental***

La valoración económica ambiental permite evaluar las políticas medioambientales relacionadas con los beneficios y costos asociados al medio ambiente, es decir cuantifica la ganancia o pérdida que experimenta un individuo por la variación en los servicios ecosistémicos en términos económicos (Lopez-Becerra & Alcon, 2021). Los valores económicos pueden asignarse a un activo ambiental o a un servicio ecosistémico, clasificándose en valor de uso y no uso. El valor de uso es aquel que una persona cuantifica en función de lo que obtuvo ahora o en el futuro del uso de un activo ambiental y el valor de no uso, el individuo asigna otro valor adicional, el valor que proporciona a otros individuos en cuenta a disponibilidad se trate (Sartori et al., 2014).

#### **2.1.4.1 Métodos de preferencia revelada y preferencia declarada**

El método de preferencia revelada emplea los conceptos de valor de uso del mercado existente para definir el costo de un activo ambiental, pero no brinda información necesaria para realizar estimaciones comerciales para contribuir con las políticas ambientales. En cambio, el método de preferencia declarada estima valores de no uso teniendo en cuenta los valores que las personas le den a los servicios ambientales sin tener en cuenta el uso presente o futuro (Baker & Ruting, 2014).

#### **2.1.4.2 Análisis hedónico y Costos de viaje**

La metodología de análisis o precios hedónicos refleja las preferencias de las personas en función del precio de los servicios y características ambientales. Esta metodología se aplica para valorar económicamente la influencia de propiedades, proyectos o servicios al brindar una alta calidad ambiental. Por otra parte, los costos de viaje analizan el comportamiento observado, es decir, analiza el comportamiento de las personas al momento de viajar y gastar para visitar sitios recreacionales que posean un

alto valor ambiental. Los costos de viaje se aplican para valorar sitios recreativos o áreas naturales destinadas a conservación que cuentan con una alta importancia ambiental (Dixon y Pagiola, 1998).

#### **2.1.4.3 Costos de reposición**

Esta metodología es ampliamente utilizada para valorar servicios ecosistémicos como suministro de agua, polinización, filtración, entre otros. El método consiste en estimar el costo económico de un servicio ambiental mediante el valor de remplazar el servicio natural con otro artificial. Para la validez del método se deben considerar tres condiciones: i) condición sustitutiva perfecta, consiste en que el sistema artificial sea equivalente a la calidad del servicio ecosistémico, ii) condición de rentabilidad, el sistema artificial es el de menor costo para remplazar al servicio ecosistémico, iii) condición de disposición a pagar, si la población está dispuesta a asumir los costos por la ausencia del servicio ecosistémico (Horváthová et al., 2021).

#### **2.1.5 Agricultura sostenible**

La agricultura sostenible tiene como objetivo el equilibrio entre producción de alimentos y conservación de los recursos naturales, incluyendo otros factores como la protección del medio ambiente y la participación social. Esto surge con base en el concepto de desarrollo sostenible, en donde la agricultura debe satisfacer las necesidades actuales, pero sin comprometer las futuras generaciones, centrandose en prácticas amigables con el medio ambiente y económicamente viables (Organización de las Naciones Unidas, 2023).

##### **2.1.5.1 Conservación de recursos naturales**

Un recurso natural es cualquier elemento natural al cual se le ha dado un uso o aprovechamiento, pueden ser de origen biótico o abiótico y que satisfacen alguna necesidad establecida (Fink & Ducoing, 2022). El hecho de transformar un elemento natural a un recurso natural requiere factores como el conocimiento humano, la disponibilidad tecnológica, la demanda de mercado, y la capacidad de extracción y utilización (Kane et al., 2022).

Conservar un recurso natural significa mantener su disposición para futuras generaciones, preservando su calidad. Consiste en aprovechar el recurso de forma eficaz y sostenible, evitando agotarlo, degradarlo o contaminarlo. Abarca una gran gama de elementos bióticos y abióticos como los bosques, el aire, entre otros. Permitiendo un

equilibrio ecosistémico, ya que conservar estos recursos garantiza la sostenibilidad (Owen, 2000).

### **2.1.5.2 Agroecología**

La agroecología es una disciplina que se enfoca en la ecología y la agricultura, comprendiéndolos como un sistema integrado y reconociendo la relación existente entre los aspectos bióticos, los ciclos biogeoquímicos, los recursos naturales y factores ambientales (Fenta et al., 2021). Está enfocada en prácticas sostenibles que sean amigables con el medioambiente, justas en aspectos socioeconómicos, además, busca la reducción en la implementación de insumos externos como pesticidas, fertilizantes sintéticos, apoyando los métodos naturales para el control de plagas, la fertilización del suelo y el uso de los recursos naturales (Scherber, 2022).

## **2.2 Marco legal**

### ***2.2.1 Constitución del Ecuador***

El artículo 3 de la constitución se establece los deberes del Estado y en el numeral cinco se reconoce y se garantiza los derechos del pueblo, se definen políticas agrícolas y alimentarias, tomando en cuenta aspectos sociales, culturales y económicos. Significando que los pueblos y comunidades tiene el derecho de elegir, producir y distribuir alimentos, además de salvaguardar sus tradiciones y prácticas ancestrales para mantener la seguridad alimentaria (Constitución del Ecuador, 2008).

### ***2.2.2 Código Orgánico del Ambiente***

El artículo 11 establece los principios de responsabilidad ambiental, lo que implica que, aquellos que causan impactos negativos al ambiente, deberán asumir la responsabilidad de ser restauración o su compensación (Código Orgánico Del Ambiente, 2017). Respaldando la importancia de valorar los impactos ambientales generados por la producción de papa, ya que permitirá identificar y cuantificar los costos asociados a dicho impacto, así como determinar acciones para mitigar o reparar el medio.

### ***2.2.3 Reglamento al código orgánico del ambiente***

En los artículos 256 y 257 establece que la autoridad Ambiental Nacional en coordinación con los demás sistemas gobierno cuantificará la pérdida o ganancia de los servicios ambientales, además, se evaluará las variaciones de los servicios ambientales exponiendo las principales causas del por qué se han producido dichas variaciones

(Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica, 2019). Justificando la importancia de realizar una valoración económica ambiental.

#### ***2.2.4 Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralizado (COOTAD)***

Con base en el artículo 6 donde se establecen los principios fundamentales de los sistemas descentralizados en el Ecuador, se menciona la importancia de la toma de decisiones y la participación ciudadana en materia de gestión ambiental y agrícola, además, se establecen los principios de sostenibilidad para asegurar la conservación de los recursos (Código Orgánico de Organización Territorial Descentralizado, 2019).

#### ***2.2.5 Ley orgánica de tierras rurales y territorios ancestrales***

El artículo 10 impulsa una producción agrícola sostenible para mantener la soberanía alimentaria mediante programas y proyectos que dicten medidas económicas para las organizaciones agrarias. El artículo 12 aborda la recuperación y protección de los suelos, incentivando el uso racional del suelo y el mantenimiento de su fertilidad para conservar el recurso. También busca asegurar la disponibilidad del recurso agua a nivel de cuenca hidrográfica para mantener la aptitud productiva. El artículo 54 promueve la prevención de la contaminación hídrica y edáfica por el uso inadecuado de productos agrotóxicos (Ley Orgánica de Tierras Rurales y Territorios Ancestrales, 2016).

#### ***2.2.6 Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025***

La promoción de la agricultura sostenible, contemplada en el Plan de Desarrollo para el Nuevo Ecuador 2024-2025 del Ecuador, dentro del objetivo 5, se centra en fomentar prácticas agrícolas que sean social, económica y ambientalmente sostenibles. Esto implica el uso de técnicas respetuosas con el medio ambiente, como el cultivo orgánico y la reducción de agroquímicos, así como la implementación de prácticas de conservación del suelo y el agua. Además, se busca optimizar el uso eficiente de los recursos naturales, como el agua y la energía, y conservar la biodiversidad mediante la protección de los hábitats naturales y la promoción de la diversificación de cultivos. La promoción de la agricultura sostenible también aboga por la inclusión social y la equidad, garantizando el acceso equitativo a los recursos y promoviendo la participación de los agricultores locales en la toma de decisiones.

### ***2.2.7 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)***

El presente estudio se enmarca en los objetivos 2 y 12, hambre cero y producción y consumo responsable, respectivamente. Con respecto al objetivo 2 el estudio se enfoca en la meta de garantizar la soberanía alimentaria a través de una agricultura sostenible, complementándose con el objetivo 12 que impulsa el uso y consumo sostenible de los recursos naturales promoviendo un estilo de vida más sostenible (Naciones Unidas, 2023).

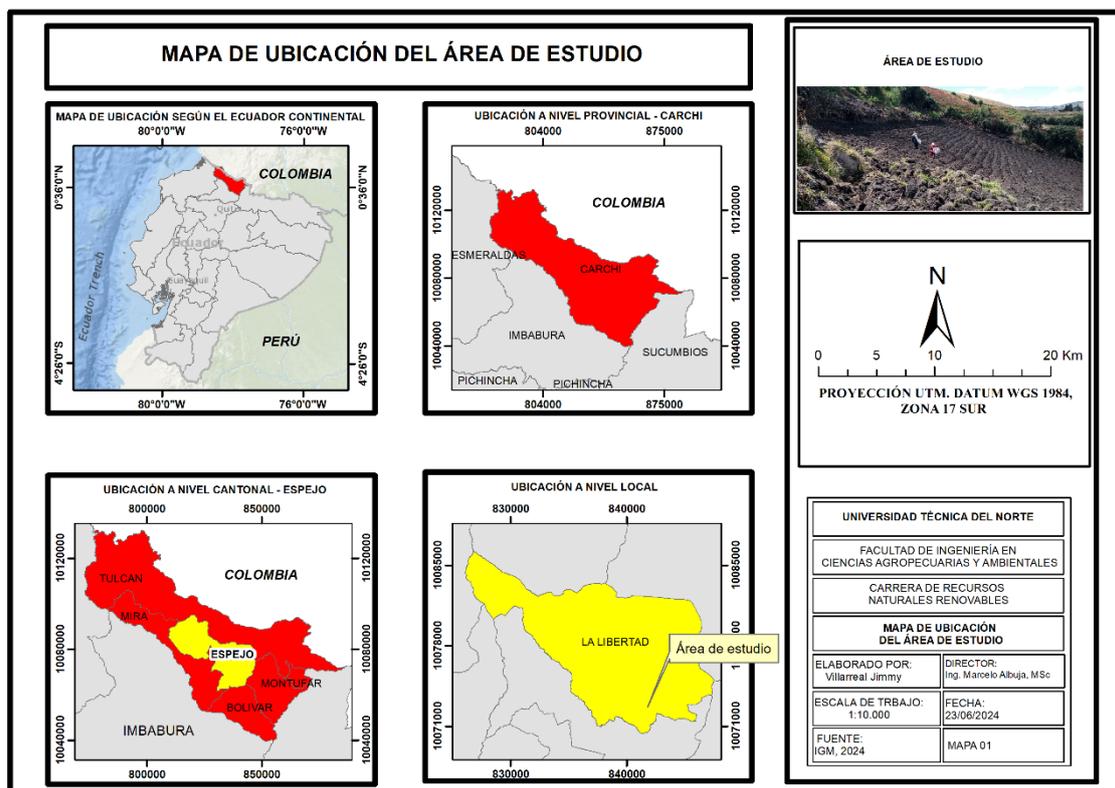
## CAPÍTULO III.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1 Descripción del área de estudio

La parroquia la Libertad pertenece a la provincia del Carchi, cantón Espejo, constituyéndose como una parroquia rural, ubicada dentro de las estribaciones en la cordillera andina occidental a 3.61 Km del El Ángel. Presenta una población de 3 502 habitantes y un área de 153.2 Km<sup>2</sup> (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Espejo (GADME), 2023). El área designada para el cultivo de papa se encuentra dentro de la parroquia la Libertad. Cuenta con una superficie de 3 380.66 m<sup>2</sup> perteneciente a un agricultor representativo de la localidad que practica una agricultura tradicional, el uso del suelo previo al cultivo pertenecía a pastos dedicados a ganadería.

Figura 1. Mapa de ubicación (La Libertad)



La parroquia La Libertad se encuentra limitada por el Norte y Oriente con las parroquias de Maldonado y Tufiño, también presenta límites naturales como la laguna la Esperanza, el río Bobo y el río Guaro (Grupo ACME, 2015). Según Cazares Valdiviezo et al, (2017) el 61.3 % de la superficie de la parroquia La Libertad está cubierta por páramo, seguida de una cobertura de pastizales con un 25.07 %. Además, mencionan que

dentro de la parroquia se encuentra un 42.36 % de la superficie de la Reserva Ecológica El Ángel, la cual conserva una gran variedad biodiversidad endémica, siendo parte del Hotspot de biodiversidad del Ecuador.

### **3.1.1 Climatología**

**Tabla 2.** *Características climáticas*

<b>Descripción</b>	<b>Dato</b>
Precipitación	1 700 – 1 800 mm
Temperatura media	10 °C
Rango altitudinal	3 000 – 4 000 m.s.n.m

*Nota.* (Grupo ACME, 2015)

### **3.2 Metodología para la identificación de los impactos ambientales**

Para identificar los impactos generados por la producción agrícola de papa en la parroquia La Libertad se utilizaron tres metodologías diferentes (Análisis de Ciclo de Vida, análisis de suelo y la matriz de Conesa Fernández). Para aplicar el ACV, se tomó en cuenta lo establecido en la normativa internacional ISO 14 040 y 14 044. La ISO 14 040 establece los principios y procedimientos para llevar a cabo el ACV, proporcionando los pasos y requisitos que se deben seguir, dividiéndolos en 4 etapas: definición del objetivo y alcance del estudio, análisis de inventario, evaluación de impacto e interpretación de resultados (ISO, 2006). La ISO 14 044 es un complemento a la ISO 14 040, centrándose en aspectos técnicos y metodológicos, garantizando la coherencia de los resultados (Shahmohammadi et al., 2018).

#### **3.2.1 Definición de objetivo y alcance**

El objetivo para implementar el ACV es identificar los impactos ambientales generados por la producción de papa en la parroquia la Libertad, determinando su magnitud y extensión. El estudio tuvo un enfoque cualitativo que permitió, valorar los impactos ambientales identificados para facilitar la toma de decisiones y establecer medidas de mitigación.

El alcance del sistema se estableció como “de la cuna a la puerta” es decir, se tomó en cuenta los procesos, desde la adquisición de la semilla hasta la cosecha del producto, considerando el transporte de la semilla y fertilizantes hasta el área de estudio. Los límites del estudio incluyen, i) las operaciones internas como: arado, preparación del suelo, siembra, deshierbe, aporque (fertilización), riego, fumigación y cosecha, ii) un pequeño productor tradicional de la región, iii) un tipo de operación posterior a la cosecha

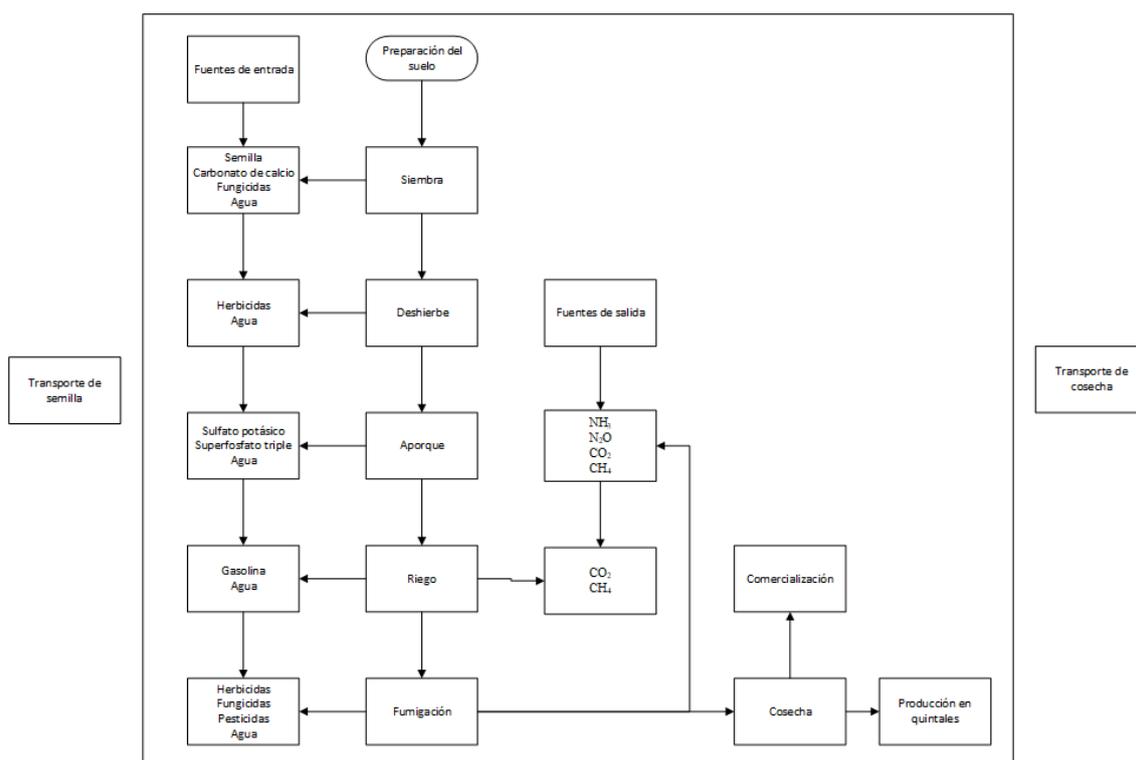
(comercialización). Los límites que se utilizó se basan en los empleados por Shahmohammadi et al. (2018) donde comparan los impactos producidos por productores que emplean métodos tradicionales y productores que utilizan métodos mecanizados, incluyendo los límites mencionados, además que, no incluyen el almacenamiento de la semilla ni la mano de obra.

Como unidad funcional para apreciar la sensibilidad de los impactos en este estudio, se utilizó la tonelada, considerando que la producción agrícola no solo depende de los servicios ecosistémicos. Además, esta medida es ampliamente utilizada en la industria agrícola en la producción y distribución de productos (FAO, 2021). La elección de la unidad funcional permitió comparar con otros sistemas de producción de papa, permitiendo identificar posibles mejoras en el sistema.

### ***3.2.2 Inventario del Ciclo de Vida (ICV)***

Para el ICV se elaboró un diagrama de flujo para la producción de papa Figura 2, además, se identificaron las fuentes de entrada y salida para el sistema Tabla 3 y 4 respectivamente. Se dividió el sistema en subprocesos (preparación del suelo, siembra, deshierbe, aporque, riego, fumigación, cosecha, comercialización) para recopilar datos más precisos. Los datos sobre las fuentes de entrada se recopilaron directamente en campo para cada subproceso, siguiendo la metodología de (Giuliana et al., 2022; Shahmohammadi et al., 2018). Para el consumo de agua se tuvo en cuenta el tipo de riego (por surcos o por bombeo), según el caudal, el tiempo y la cantidad utilizada. De la misma manera se determinó el consumo de combustible por el transporte, maquinaria y bombeo.

**Figura 2.** Diagrama de flujo de la producción de papa



**Tabla 3.** Fuentes de entrada

Entradas	Unidades
Gasolina	kg
Pesticidas químicos	kg
Urea	kg
Superfosfato triple	kg
Sulfato de potasio	kg
Consumo de agua	m <sup>3</sup>

La medición de las fuentes de salida no se realizó debido a su elevado costo. Sin embargo, se utilizó la metodología propuesta por Brentrup et al. (2000) donde mencionan que la urea es el fertilizante más utilizado por hectárea y contiene un 46% de nitrógeno y del nitrógeno total utilizado en forma de urea, el 17 % se volatiliza en forma de amoníaco. Para las emisiones de N<sub>2</sub>O se consideró que el 1 % del nitrógeno total utilizado es emitido de esta forma y para las emisiones de NO<sub>x</sub> se consideró el 10 %. También se tomó en cuenta las emisiones que producen la combustión de un litro de gasolina (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O y CH<sub>4</sub>). Las emisiones liberadas a la atmósfera por cada litro de gasolina quemada son 2.73 kg de CO<sub>2</sub>, 18.1x10<sup>-6</sup> kg de N<sub>2</sub>O y 173 x10<sup>-6</sup> kg de CH<sub>4</sub> (Tzilivakis et al., 2005).

**Tabla 4. Fuentes de salida**

<b>Salidas</b>	<b>Unidades</b>
Producción	kg
<b>Emisiones a la atmosfera</b>	
NH <sub>3</sub>	kg
N <sub>2</sub> O	kg
NO <sub>x</sub>	kg
CO <sub>2</sub>	kg
CH <sub>4</sub>	kg

### **3.2.3 Evaluación de impactos**

Para evaluar los impactos ambientales se tuvo en cuenta tres fases: selección de categorías de impacto, clasificación y caracterización, establecidas en la norma ISO 14044. Para este estudio se seleccionaron dos categorías de impacto de punto medio (cambio climático (emisiones de CO<sub>2</sub> Eq) y uso del agua) con base a la metodología aplicada por (Shahmohammadi et al., 2018). Además, se estimó las emisiones para el cantón Espejo (2019) y la provincia del Carchi (2023) en función de la producción de papa utilizando los datos de (MAG, 2023;GADM-E, 2019). Se utilizó la metodología de ReCiPe Midpoint para tener un mejor desempeño en la clasificación y caracterización, ya que cuenta con 18 categorías de impacto, lo que proporciona un resultado más completo y específico, brindando mayor detalle de los impactos que otras metodologías (Huijbregts et al., 2017). Los resultados interpretados se detallan en el capítulo cuatro de resultados y discusión.

### **3.2.4 Análisis de suelo**

Se realizó un análisis de suelo previo a la siembra y posterior a la cosecha. Se analizó pH, materia orgánica, nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc, para comparar la pérdida de nutrientes en porcentaje que genera la producción de papa, conforme a la tabla 5, propuesta por el INIAP. Se tomó una muestra compuesta, para ello se debe limpiar la superficie del lugar a tomar la submuestra (15 puntos recomendados) para eliminar las malezas y el exceso de materia orgánica, efectuando un recorrido en zigzag que cubra toda la superficie del terreno. Se debe cavar un hoyo en forma de V de una profundidad aproximada de 20 cm y la submuestra se deposita en un recipiente graduado para su homogeneización hasta obtener un kilogramo de muestra (Agrocalidad, 2023).

**Tabla 5.** Niveles de interpretación para los resultados.

Parámetro	Niveles de interpretación			
	Bajo	Medio	Alto	Tóxico
<b>N (ppm)</b>	< 30.0	30.0 – 60.0	> 60.0	
<b>P (ppm)</b>	< 10.0	10.0 – 20.0	> 20.0	
<b>S (ppm)</b>	< 12.0	12.0 – 24.0	> 24.0	
<b>K</b> (meq/100ml suelo)	< 0.2	0.2 – 0.38	> 0.38	
<b>Ca</b> (meq/100ml suelo)	< 2.0	2.0 – 5.0	> 5.0	
<b>Mg</b> (meq/100ml suelo)	< 0.5	0.5 – 1.5	> 1.5	
<b>Cu (ppm)</b>	< 1.0	1.0 – 4.0	> 4.0	
<b>Fe (ppm)</b>	< 20.0	20.0 – 40.0	> 40.0	
<b>Mn (ppm)</b>	< 5.0	5.0 – 15.0	> 15.0	
<b>Zn (ppm)</b>	< 3.0	3.0 – 7.0	> 7.0	
<b>B (ppm)</b>	< 1.0	1.0–2.0	2– 4	> 4.0
<b>MO (%)</b>	< 3.0	3.0 - 5.0	> 5.0	
<b>MO (%) en Andisoles</b>	< 5.0	5.0 – 10.0	> 10.0	

**Nota.** (Ochoa et al., 2009).

### 3.2.5 Matriz de Conesa Fernández

La matriz de impactos ambientales permitió asignar la importancia de cada actividad determinada en sus fases establecidas. El medio, los componentes, los factores y los impactos ambientales se definieron siguiendo la metodología propuesta por Conesa Fernández. De la misma forma, para cuantificar los impactos se tomó en cuenta todos los parámetros que establece esta metodología (Conesa Fernández-Vitoria, 2009). Para la aplicación de la matriz se identificaron 9 fases, las mismas que se estableció en los límites del ACV incluyendo la comercialización y para valorar la significancia se tomó en cuenta la figura 3.

**Figura 3. Importancia Ambiental**

Importancia Ambiental	Nivel de importancia	Significancia
0 - 25	Irrelevante	No significativo
26 - 50	Moderado	No significativo
51 - 75	Severo	significativo
>75	Crítico	Muy significarivo

Nota. (Conesa Fernández-Vitoria, 2009)

### **3.3 Metodología para valorar los impactos ambientales de la producción de papa**

Para valorar económicamente los impactos generados por la producción de papa se tomó en cuenta los resultados del ACV y del análisis del suelo. El costo medioambiental para los impactos de los resultados del ACV se calculó en dólares por kg de emisiones, siguiendo la metodología de Yadav et al. (2020) donde indican que los precios calculados indican la pérdida en términos monetarios que se generan cuando un kilogramo extra de contaminante llega a la atmosfera. Para ello se multiplicó el impacto ambiental de la categoría del ACV (emisiones de CO<sub>2</sub>) por sus costos externos. Para la categoría emisiones de CO<sub>2</sub> Eq se utilizó el precio de \$ 0.064/kg, los mismos que se tomaron de (De Bruyn et al., 2018).

También se estimó el costo ambiental del impacto de la producción de papa en función de los precios de las fuentes de entrada como los fertilizantes y fungicidas con cierto contenido de nutrientes, generando el costo total por cada fase de la producción. En el caso de las fuentes de salida no se estimó ningún precio en función de la producción de papa.

Para los resultados del análisis del suelo se calculó la reducción o el cambio del contenido de los nutrientes en kg/ha. Para ello se obtuvo la diferencia entre los resultados de pre y post cosecha para el cálculo de la reducción, el mismo que se transforma a kg de nutriente puro siguiendo la metodología del INIAP (Ochoa et al., 2009). Con los valores de la reducción listos se calculó el valor económico mediante el método de remplazo de costos, donde la reducción de los nutrientes o pérdida se transforma a formas de fertilizantes existentes en el mercado. Además, se tomó en cuenta los costos por la erosión hídrica por la reducción de nutrientes y se aplicó la fórmula propuesta por Telles et al., (2013) donde:

$$C = \sum_{i=1}^m (C_i Q_i)$$

Siendo: C costos de la erosión del suelo relacionados con la erosión hídrica;  $C_i$  precio de diferentes tipos de nutrientes por unidad;  $Q_i$  cantidad de nutrientes perdidos. Para los precios de los nutrientes, los fertilizantes utilizados fueron: i) NPK 18-46-0, con concentración de nitrógeno del 18%; ii) muriato de potasio 0-0-60, con concentración de KCl del 60%; iii) carbonato de calcio, con concentración del 55% de CaO; iv) sulfato de magnesio, con concentración del 27% de MgO; v) sulfato ferroso, con concentración del 20% de Fe y vi) borax, con concentración del 11.32% de B. De los fertilizantes utilizados se calculó los kg de nutriente activos como se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6.** Precio de los fertilizantes y nutrientes por unidad.

Parámetro	Valor (\$)	Concentración (%)	Símbolo	Peso (kg)	Kg por nutriente	\$ por unidad (kg)
NPK 18-46-0	42.12	18	N	50	9	7.58
Muriato de potasio 0-0-60	32.00	60	KCl	50	15.71	10.06
Carbonato de calcio	10.00	55	CaO	45	17.69	3.93
Sulfato de magnesio	25.32	27	MgO	50	8.14	4.12
Sulfato ferroso	23.00	20	Fe	25	5	4.60
Borax	36.60	11.32	B	25	2.83	4.14

### 3.4 Metodología para proponer medidas de mitigación

Para proponer medidas que mitiguen los impactos significativos se consideraron los impactos negativos identificados en las anteriores metodologías. Para ello se aplicó el modelo Presión-Estado-Respuesta (PER), permitiendo vincular las actividades humanas con el ambiente. El modelo implementado facilita la toma de decisiones, ya que se basa en un principio de causalidad donde las actividades humanas afectan directa o indirectamente (presiones) al ambiente, alterando la calidad de los recursos naturales (estado) lo que lleva a la sociedad a tomar acciones correctivas (respuesta) (Polanco, 2006). El esquema del modelo se muestra en la figura 4, el mismo que es ampliamente utilizado para detectar impactos negativos y corregirlos esperando una recuperación del medio ambiente (Fajardo Pandia, 2016).

**Figura 4.** Esquema del modelo PER.



Nota. (Fajardo Pandia, 2016).

### 3.5 Materiales y equipos

**Tabla 7.** Materiales y equipos para utilizarse

<b>Materiales</b>	
<b>Libreta de campo, lápiz</b>	
Recipientes	con volumen conocido
Impresiones	
Barreno	
<b>Equipos</b>	
Impresora	
Laptop	
Cámara fotográfica y filmadora	

## CAPÍTULO IV.

### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 Identificación de los impactos ambientales generados por un productor tradicional de papa en la parroquia La Libertad

##### 4.1.1 Emisiones de CO<sub>2</sub> eq (resultados del ACV)

Se identificó los impactos de la producción agrícola de papa en función de las fuentes de entrada y salida, lo que se traduce en emisiones de CO<sub>2</sub> eq. Los resultados para la categoría emisiones de CO<sub>2</sub>, fue de 1 653.08 kg CO<sub>2</sub> eq, como se muestra en la tabla 8. Como la unidad funcional fue la tonelada se obtuvo que por cada tonelada de papa producida se emiten a la atmósfera 154.49 kg de CO<sub>2</sub> eq y por cada hectárea se emiten 185.17 kg de CO<sub>2</sub> eq/ha. El cantón Espejo en el año 2019 llegó a emitir 1 374.26 toneladas de CO<sub>2</sub> eq por la producción de papa y la provincia del Carchi para el año 2023 emitió 17 832.01 toneladas de CO<sub>2</sub> eq. En un estudio realizado por Shahmohammadi et al. (2018) mencionan que producir una tonelada de papa de manera tradicional resulta en 152.89 kg de CO<sub>2</sub> eq, por la utilización de gasolina en la implementación del sistema de riego.

**Tabla 8.** Resultados de la categoría emisiones en la producción de papa.

Fases	Emisiones (kg de CO <sub>2</sub> eq)	Emisiones (kg de CO <sub>2</sub> eq/ha)
Preparación del suelo	617.83	1 827.55
Siembra	261.50	773.51
Primer aporque	204.88	606.03
Deshierbe	0.27	0.79
Segundo aporque	205.26	607.17
Riego	92.23	272.83
fumigación	1.70	5.02
Cosecha	0.00	0.00
Comercialización	597.64	1 767.83
<b>Total</b>	<b>1 981.32</b>	<b>5 860.74</b>

Moudrý et al. (2013) realizaron un estudio de los gases de efecto invernadero en la República Checa y encontraron que por una tonelada de papa que se produce, se emiten a la atmósfera 145 kg de CO<sub>2</sub> eq de gases de efecto invernadero. Estos gases (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O,

CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>) se clasifican dentro de la categoría de cambio climático porque expresan la participación de estos al cambio climático. Como el estudio se enfocó en un productor convencional, no se utilizó energía eléctrica durante la producción, por ende, las emisiones se deben al uso de fertilizantes. Yousefi et al., (2014) demostraron que los fertilizantes químicos desempeñan un rol importante en la categoría de emisiones de CO<sub>2</sub>, además, el uso de energía durante toda la producción depende de estos.

#### **4.1.2 Uso del agua (agotamiento del recurso) (resultados del ACV)**

Se identificó el impacto para la categoría uso del agua con un valor de 501 050 litros, significando que por cada tonelada de papa producida se utilizan 46 827.10 litros y por cada hectárea se utilizan 46 828.03 litros, como se muestra en la tabla 9. El uso del agua fue la categoría de mayor impacto y la que está presente en más fases, deshierbe, riego y fumigación, ya que esta se refiere a la utilización del recurso, que es ampliamente demandado en la etapa de riego y fumigación. (Bonilla & López, 2015) mencionan que para producir una tonelada de papa se necesitan 32.80 m<sup>3</sup>/t, en función de la huella hídrica azul, lo que resulta del aprovechamiento del agua para el riego. Según Tang et al. (2022) la huella hídrica azul puede variar entre los 32.1 a 67.4 m<sup>3</sup>/t dependiendo de la temporada. El consumo del agua fue de 46.82 m<sup>3</sup>/t y 46.83 m<sup>3</sup>/ha, que en su mayoría se debe a la fase de riego y por la temporada seca que abarco el periodo de cultivo.

**Tabla 9.** Resultados para las categorías uso del suelo y del agua

<b>Fases</b>	<b>Uso del agua (Litros)</b>	<b>Uso del agua (Litros/ha)</b>
Preparación del suelo	60.00	177.48
Siembra	70.00	207.06
Primer aporque	40.00	118.32
Deshierbe	80.00	236.64
Segundo aporque	100.00	295.80
Riego	500 000.00	1 479 001.14
fumigación	700.00	2070.60
Cosecha	0.00	0.00
Comercialización	0.00	0.00
<b>Total</b>	<b>501 050.00</b>	<b>1 482 107.04</b>

En un estudio realizado por Giuliana et al. (2022) muestran que el riego tiene un impacto significativo sobre la mayoría de las categorías del ACV en cultivos de arroz,

además, mencionan que el riego combinado con los fertilizantes y pesticidas inducen una carga ambiental masiva, debido a que la unión de estos factores genera emisiones de CH<sub>4</sub> a la atmósfera. Por otra parte, Xu et al. (2022), demostraron que el impacto del riego se debe al uso de energía y contribuye a la explotación de los recursos fósiles. También mencionan que el riego tiene un alto impacto en la eutrofización de las aguas superficiales por los lixiviados que generan los fertilizantes nitrogenados.

#### ***4.1.3 Cambios en los suministros de nutrientes por la producción de papa***

Se identificó en el análisis de suelo previo de los nutrientes mostrado en el anexo 1, que existe una alta disponibilidad de calcio, hierro y materia orgánica, una disponibilidad media de nitrógeno, potasio, magnesio y manganeso, una disponibilidad baja de fósforo, azufre, zinc, cobre y boro. Tomando en cuenta que el suelo presenta un pH ácido y una alta cantidad de materia orgánica, se recomendó encalar el suelo para mejorar estas condiciones durante la siembra. Según Koch et al. (2019) el nitrógeno, el fósforo y el potasio son los nutrientes más analizados para la producción de papa, porque contribuyen significativamente al rendimiento y la calidad de los tubérculos.

El suministro inicial de N, P y K fue de 46.25; 9.89 y 0.36 respectivamente, el mismo que se lo denominó suministro autóctono. En un estudio realizado por X. Xu et al. (2022) demostraron que las condiciones autóctonas de N, P y K contribuyeron con el 68.5 %, 83.1 % y 78.9 % al rendimiento de los tubérculos, además mencionan que bajo estas condiciones las emisiones de gases de efecto invernadero son menores, resultando una reducción en los riesgos ambientales. Los resultados del análisis del suelo posterior a la cosecha muestran una ligera disminución en el suministro de macronutrientes N y K de 46.25 a 43.78 ppm y 0.36 a 0.27 meq/100 ml, mostrados en la tabla 10.

La pérdida del nitrógeno se produce mediante la volatilización de este en forma de amoníaco o por la desnitrificación, produciendo óxido nitroso N<sub>2</sub>O, además, de la lixiviación del nitrógeno producto el riego intensivo, ya que la papa posee raíces poco profundas dificultando la captura del N (Vos & Van Der Putten, 1998). La reducción del K se debe a su alta concentración en los tubérculos y otros tejidos vegetales como las hojas, teniendo un papel decisivo en el crecimiento de los tubérculos y por ende una alta tasa de eliminación de K (White et al., 2009). La ligera disminución en el suministro de nutrientes está relacionada con el manejo desequilibrado de los nutrientes, ya que el suministro inicial de estos más la aplicación de fertilizantes nitrogenados reducen la

contribución de los nutrientes al cultivo, además del alto contenido de materia orgánica (Ning et al., 2023).

Otros nutrientes de suma importancia son el Ca y el Magnesio que redujeron su concentración a 6.25 meq/100 ml y 1.18 meq/100 ml respectivamente. Según Mengel y Kirkby (2001) los niveles bajos de calcio se dan por un pH ácido del suelo por la deficiencia de cationes esenciales para las plantas como el Ca y Mg. Los análisis de suelo muestran que el nivel del pH se mantiene ácido, justificando la reducción del Ca. En el caso del magnesio, la reducción se debe a que su absorción por parte de las plantas es bloqueada por altas concentraciones de K reduciendo la disponibilidad de Mg para las raíces (Gransee & Führs, 2013). En este estudio los niveles de K se mantuvieron medios por lo que no dificultó la absorción del Mg generando su reducción. Otros micronutrientes que disminuyeron fueron el Fe y B, además, la materia orgánica también disminuyó su porcentaje. Indicando que se logró aprovechar por la aplicación de Carbonato de calcio. Por otra parte, el P y K y los micronutrientes Zn, Cu y Mn aumentaron su concentración, esto se debe a la aplicación de fertilizantes

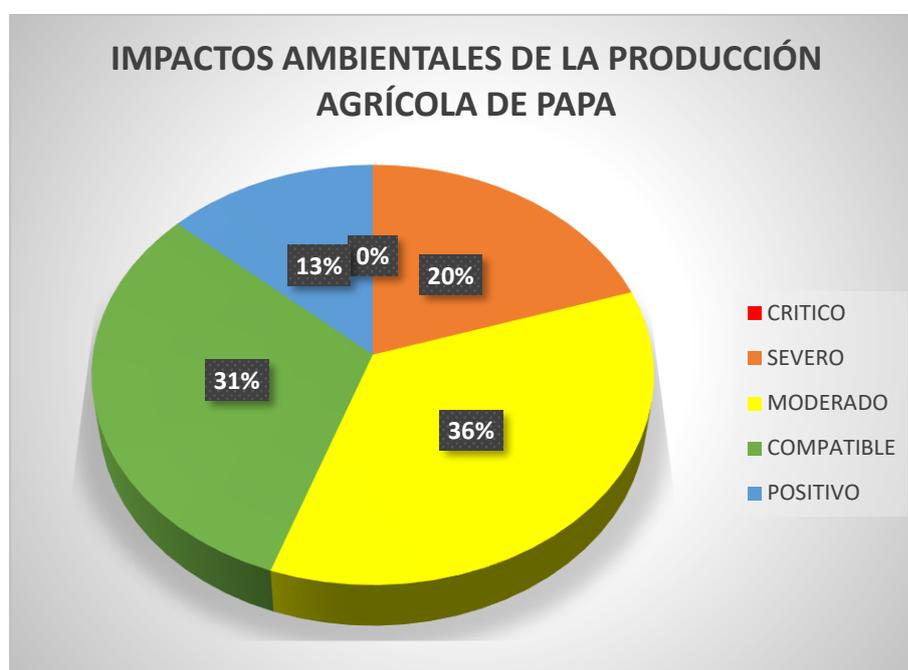
**Tabla 10.** Cambios en el suministro de los nutrientes.

<b>Nutriente</b>	<b>Análisis precosecha</b>	<b>Análisis post cosecha</b>	<b>Reducción (%)</b>	<b>Unidades</b>
Nitrógeno	46.25	43.78	-2.47	Ppm
Potasio	0.36	0.27	-0.09	meq/100 ml
Calcio	8.1	6.25	-1.85	meq/100 ml
Magnesio	1.19	1.18	-0.01	meq/100 ml
Hierro	356.54	344.9	-11.64	Ppm
Boro	0.38	0.34	-0.04	Ppm
pH	5	4.83	-0.17	
<b>Nutriente</b>	<b>Análisis precosecha</b>	<b>Análisis post cosecha</b>	<b>Aumento (%)</b>	<b>Unidades</b>
Fósforo	9.89	24.97	15.08	Ppm
Azufre	8.5	9.25	0.75	Ppm
Zinc	2.86	6.21	3.35	Ppm
Cobre	0.95	3.77	2.82	Ppm
Manganeso	10.8	21	10.2	Ppm
Conductividad	0.17	0.28	0.11	mS/cm
Materia orgánica	15.49	16.51	1.02	%

#### 4.1.4 Significancia de los impactos ambientales de la producción de papa

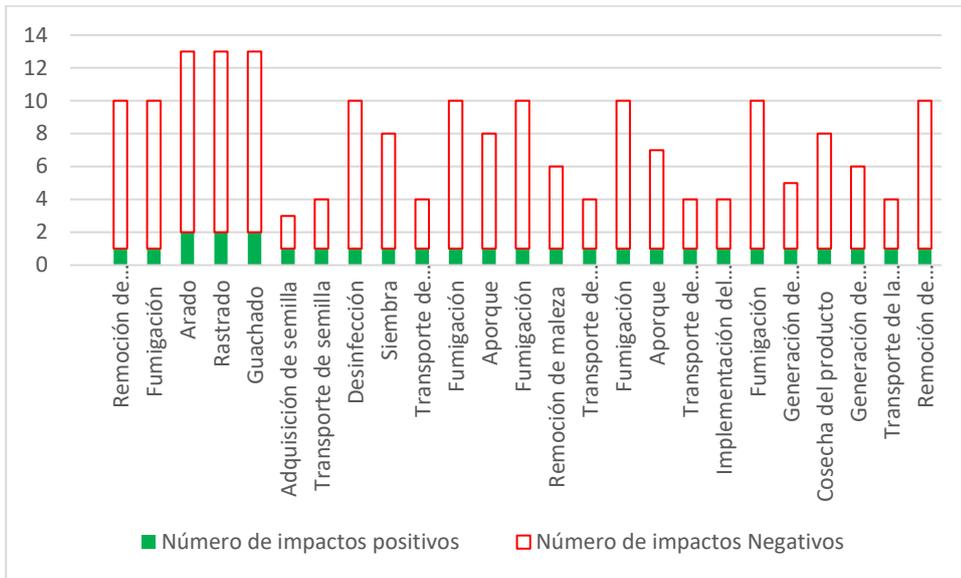
Se identificó que el 36% de las actividades de la producción agrícola de papa generan un impacto ambiental moderado, el 31% representa un impacto compatible, el 20% un impacto severo y el 13% un impacto positivo, apreciándose en la figura 5. Indicando que la producción agrícola de papa analizada no es una actividad muy significativa a nivel general, pero sí requiere de medidas de manejo en función de las actividades y fases más significativas. No se identificaron impactos críticos en ninguna de las 9 fases establecidas, esto se debe a la naturaleza de la actividad y a la extensión porque se trabajó únicamente con un pequeño productor de la zona.

**Figura 5.** Valoración de los impactos ambientales.



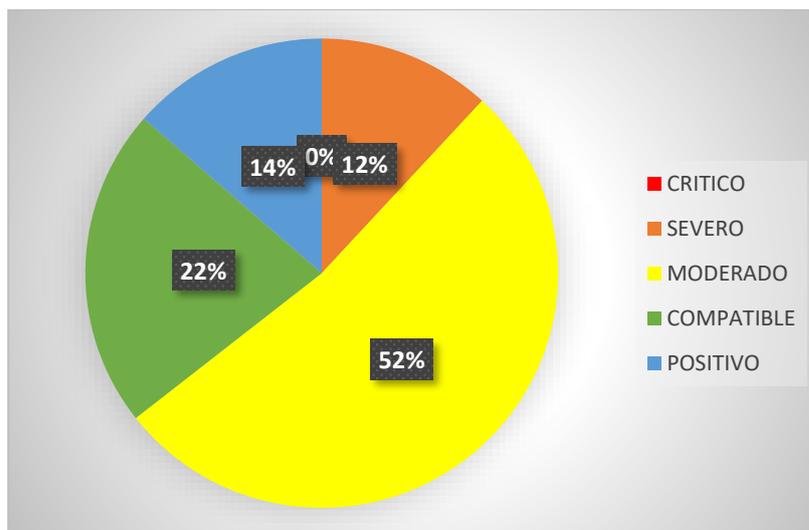
Las actividades con más número de impactos negativos son el arado, rastrado, guachado, remoción de cobertura vegetal en la fase de preparación del suelo y comercialización, como se muestra en la figura 6. En el caso de la comercialización se debe a la remoción de maleza y toda cobertura del suelo y del camino de acceso al área de estudio, debido a que se encuentra en una zona alejada y de difícil acceso. En cuanto al número de impactos positivos, todas las actividades presentan un impacto irrelevante, porque generan empleo, pero no es a gran escala, excepto por la generación de residuos porque no se les da ningún tratamiento y manejo.

**Figura 6.** *Número de impactos por actividad.*



La fase que más impactos presenta es la de preparación del suelo, mostrada en la figura 7, por la utilización de maquinaria para preparar el mismo afecta directamente las propiedades físico-mecánicas de este y la remoción de la cobertura vegetal previa afecta de forma sinérgica al resto de actividades. En un estudio realizado por Lombo y Mancipe (2020) donde aplicaron la metodología de Leopold, encontraron que las actividades que generan mayor impacto fueron la fertilización del suelo, control de plagas, preparación del suelo para la siembra, control de enfermedades y de maleza, además, el componente más afectado fue el biótico, en especial la flora y la fauna.

**Figura 7.** *Impactos de la fase de preparación del suelo*



El aspecto ambiental con mayor número de impactos es el suelo, como se muestra en la tabla 11, alternado a la vegetación herbácea y arbustiva, además, afecta la edafofauna presente en el suelo. En un estudio realizado por Chimarro Imbaquingo (2021), menciona que el impacto severo en los suelos se debe por la aplicación de pesticidas como Eltra y Matador y pese al impacto que significan no están regularizados por la normativa ambiental ecuatoriana. Los impactos sobre el suelo se presentan en todas las fases de producción y la utilización de agroquímicos en la mayoría de las fases, por lo que se debe tomar medidas ante estos impactos en la producción agrícola de papa.

Se identificó que los impactos ambientales, alteración de las características físico-mecánicas del suelo (compactación), destrucción de suelos, alteración en la permeabilidad, erosión, contaminación de aguas superficiales, alteración en la calidad visual y posibles accidentes en la salud, presentan un nivel de importancia moderado. Los impactos alteración y/o reducción de la cobertura vegetal (árboles, arbustos y hierbas) muestran un nivel de importancia severo resultando impactos significativos.

**Tabla 11.** Resumen de los impactos severos.

<b>FASE</b>	<b>ACTIVIDAD</b>	<b>Aspecto Ambiental</b>	<b>IMPACTO</b>	<b>CATEGORÍA DE IMPACTO</b>
<b>PREPARACIÓN DEL SUELO</b>	<b>Remoción de cobertura vegetal</b>	<b>Flora</b>	Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	<b>SEVERO</b>
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
	<b>Fumigación</b>		Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
	<b>Fauna</b>	Alejamiento temporal de la fauna		
<b>SIEMBRA</b>	<b>Desinfección</b>	<b>Flora</b>	Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	

FASE	ACTIVIDAD	Aspecto Ambiental	IMPACTO	CATEGORÍA DE IMPACTO
PRIMER APORQUE	Fumigación	Flora	Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	SEVERO
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
	Fauna	Alejamiento temporal de la fauna		
Aporque	Suelo	Erosión		
DESHIERBE	Fumigación	Flora	Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
	Fauna	Alejamiento temporal de la fauna		
Remoción de maleza	Suelo	Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal		
SEGUNDO APORQUE	Fumigación	Flora	Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
	Fauna	Alejamiento temporal de la fauna		
Aporque	Suelo	Erosión		
FUMIGACIÓN	Fumigación	Flora	Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
	Fauna	Alejamiento temporal de la fauna		
Generación de residuos sólidos	Agua	Contaminación aguas superficiales		
COSECHA	Cosecha del producto	Suelo	Alteración de las características físico-mecánicas	
		Suelo	Destrucción de Suelos	
		Flora	Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
	Generación de residuos sólidos	Agua	Contaminación aguas superficiales	
COMERCIALIZACIÓN	Remoción de cobertura vegetal (camino de transporte)	Paisaje	Alteración de la calidad visual	
		Flora	Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	
			Alteración y/o reducción de la cobertura vegetal	

#### 4.2 Determinación del valor económico ambiental asociado con la producción de papa en la parroquia La Libertad, tomando en cuenta criterios económicos

Se determinó el costo ambiental para la categoría emisiones de CO<sub>2</sub>, fue de \$ 105.80, presentados en la tabla 12, resultando en \$ 9.9/tonelada de papa producida. Lv et al. (2010) calcularon el costo ambiental externo que producen los gases de efecto invernadero generados por el cultivo de arroz, obtenido un costo de \$ 3.61 X 10<sup>7</sup>. Esto se debe a las emisiones de los tres principales gases de efecto invernadero, metano, óxido nitroso y dióxido de carbono, el primero resulta ser muy variable y sensible a los cambios de temperatura, a las condiciones el suelo y el fertilizante aplicado, el segundo aumenta conforme la disponibilidad del agua. En este caso el estudio no mostro altos niveles de gases de efecto invernadero por la forma de producción la misma que no fue mecanizada en su totalidad y por ende el costo ambiental no es muy elevado.

Los valores económicos por las emisiones de los gases de efecto invernadero estuvieron directamente relacionados con su factor de caracterización, el mismo que está en función del valor del dióxido de carbono, como impuesto al carbono, estimando los costos de captura y almacenamiento de este. Además, se incluye el factor social dentro de la caracterización, representando el costo de emitir una tonelada extra de carbono a la atmosfera, ya que no es almacenado por la disminución de la regulación climática y por el cambio del uso del suelo, fundamento en el hecho de que las emisiones tendrán consecuencias en las generaciones futuras que tendrán que pagar dicho costo (Cao et al., 2015).

**Tabla 12.** Costos de los resultados del ACV para las emisiones de CO<sub>2</sub> eq

Fases	Costos
Preparación del suelo	\$ 39.54
Siembra	\$ 16.74
Primer aporque	\$ 13.11
Deshierbe	\$ 0.02
Segundo aporque	\$ 13.14
Riego	\$ 5.90
fumigación	\$ 0.11
Cosecha	\$ -
Comercialización	\$ 17.24

El valor económico de los nutrientes, que presentaron una reducción frente a la producción de papa, para estos se estimó la compensación necesaria para que vuelva al estado antes de la cosecha. Los valores de los cálculos de la diferencia y la reducción resultantes de los análisis del suelo pre y post cosecha se presentan en la tabla 13. El calcio presentó mayor reducción con un valor de 111.22 kg/ha y necesitando 282.95 kg/ha para volver a sus condiciones iniciales seguido del potasio, siendo estos nutrientes de suma importancia para los cultivos de papa. Para el caso de los nutrientes que presentaron un aumento no se realizó el cálculo de compensación como se muestra en la tabla 14 y siendo el fósforo el nutriente que más aumento con 19.88 kg/ha.

**Tabla 13.** *Cálculo de reducción de nutrientes.*

<b>Nutriente</b>	<b>Reducción (kg/ha)</b>	<b>Compensación (kg)</b>	<b>Costo ambiental</b>	<b>Unidades</b>
Nitrógeno	3.26	18.09	\$ 24.69	ppm
Potasio	35.60	216.23	\$ 358.03	meq/100 ml
Calcio	375.99	956.52	\$ 437.18	meq/100 ml
Magnesio	1.23	7.57	\$ 5.08	meq/100 ml
Hierro	15.35	76.73	\$ 70.60	ppm
Boro	0.05	0.47	\$ 0.22	ppm

**Tabla 14.** *Cálculo del aumento de nutrientes.*

<b>Nutriente</b>	<b>Adicción</b>	<b>Aumento (kg/ha)</b>	<b>Unidades</b>
Fósforo	15.08	19.88	ppm
Azufre	0.75	0.99	ppm
Zinc	3.35	4.42	ppm
Cobre	2.82	3.72	ppm
Manganeso	10.2	13.45	ppm

Los costos ambientales por la reducción de nutrientes asociados con la erosión hídrica alcanzaron los \$ 819.89 dólares por 31.65 toneladas de papas producidas por hectárea para los macronutrientes N, K y Ca. El menor costo se observa en el nitrógeno, con un valor de \$ 24.69 (2.3 \$/t de papa) debido a su mediana concentración antes y después de la cosecha y es el que menos se redujo en kg de nutriente puro, seguido del potasio y el calcio respectivamente. El calcio resultó con un costo de \$ 437.18 (40.86 \$/t de papa) siendo el que mayor reducción presentó por kg de nutriente puro. El potasio se valoró en \$ 358.03 (\$ 33.46/t de papa). Los precios calculados están en función de fertilizantes existentes en el mercado.

En una investigación realizada por Nathan et al. (2022) donde analizaron el costo económico de la pérdida de nutrientes en diferentes cultivos, encontraron que los valores monetarios alcanzan los 28 dólares por la reducción del nitrógeno, 73 dólares para el fósforo y 140 dólares por el potasio (por tonelada de tierra). La alta pérdida de nutrientes está asociada a erosión por escorrentía y la falta de medidas de manejo frente a esta. Las prácticas de manejo y gestión del suelo y agua reducen las pérdidas de nutrientes significativamente y por ende el valor económico asociado disminuye, debido a la disminución de la escorrentía, lo que mejora la tasa de infiltración y disminuye la velocidad del agua (Zhao et al., 2020).

Los micronutrientes como el Mg, Fe y B presentaron una sumatoria de \$ 75.90 (\$ 7.09/t de papa), constituyéndose por un 96% por el costo ambiental del hierro con un valor de \$ 70.60 (\$ 6.6/t de papa) (presentar por hectárea). El costo ambiental total del desequilibrio de los macros y micronutrientes que presentaron una reducción fue de \$ 895,79 contando con una mayor significancia los macronutrientes, significando un costo de \$ 83.72/t de papa producida. Para el resto de los nutrientes como el fósforo, azufre, zinc, cobre y manganeso, no se los valoro económicamente porque presentaron un aumento en comparación con los niveles iniciales o previos a la producción, por lo que no significaron un impacto negativo al medio ambiente, pero si pueden significar un ahorro para el agricultor. Además, estos no se los incluyo dentro de la propuesta para las mejores prácticas agrícolas.

El enriquecimiento del suministro de nutrientes se debe a la erosión hídrica y puede aumentar en un 24.2% para el P, 16.9% para el K y 34.3% para el C. significando un ahorro de 92.60 dólares por ha<sup>-1</sup> por año (Bertol et al., 2017). A esto se le suma la adicción de un suministro de nutrientes que pueden llegar a aumentar la dotación final de los mismos. En otras palabras, si se desea agregar 200 kg de N por ha<sup>-1</sup> conlleva un costo de 217.91 dólares, favoreciendo la fertilidad alrededor de un 3% (Schmutz et al., 2007). Para el presente estudio, el aumento de la carga de nutrientes se debe al suministro agregado de nutrientes para compensar el exceso de materia orgánica y el pH ácido del suelo, el mismo que fue agregado en forma de fertilizante y carbonato de calcio.

En un estudio realizado por Cao et al. (2015) donde valoraron económicamente los impactos ambientales por la producción de cultivos de yuca, caña de azúcar y maíz para algunos países como Brasil y Estados Unidos encontraron el costo ambiental que representa siendo de \$ 44.21 y 50.01/ por el peligro inminente de la erosión y lixiviación,

debido a la falta de buenas prácticas agrícolas. Por otra parte, Meng et al. (2017) valoraron los impactos ambientales de la agricultura orgánica en China, mencionando que los beneficios ambientales ahorrados se estiman en 320.2 millones de dólares, sobre todo en la disminución de lixiviados, aumento del secuestro del carbono y la mejora de la biodiversidad del suelo.

#### **4.3 Propuesta para mitigar los impactos negativos sobre el medio ambiente y que mejoren la producción de papa.**

Las estrategias propuestas fueron para mitigar los impactos ambientales más significativos, reducción de nutrientes, uso excesivo del agua, alteración de la cobertura vegetal y uso del suelo. Para ello se planteó los siguientes programas en función del modelo PER: programa para fomentar la correcta fertilización en cultivos de papa, programa de gestión eficiente del agua, programa de conservación del suelo y cobertura vegetal en cultivos de papa.

##### ***4.3.1 Programa de fertilización basado en el análisis de suelo***

###### **Objetivo general**

- Fomentar la correcta fertilización en cultivos de papa para optimizar el uso de nutrientes, mejorar la productividad y mantener la fertilidad del suelo.

###### **Objetivos específicos**

- Elaborar guías sobre prácticas de fertilización adecuada para los cultivos de papa
- Realizar campañas de difusión y talleres educativos para agricultores sobre la importancia y los métodos de fertilización correcta

**Tabla 15.** Modelo PER, programa para fomentar la correcta fertilización en cultivos de papa.

<b>Presión</b>	<b>Estado</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Estrategia</b>
Bajo conocimiento sobre los requerimientos nutricionales del cultivo y exceso de fertilización.	Reducción del suministro de nutrientes en los principales macronutrientes (N, K y Ca)	Elaborar guías sobre prácticas de fertilización adecuadas para papas que incluya una clasificación de los nutrientes, la cantidad de nutrientes que necesita el cultivo, la época y forma de fertilización (fraccionada), las porciones en función de las necesidades del cultivo y el tipo de fertilizantes. SegúnX. Xu et al. (2022b) aplicar una gestión correcta de nutrientes puede reducir en un 24.3% las emisiones de CO <sub>2</sub> eq por la pérdida de nitrógeno. Por ende, con la aplicación de esta guía se busca disminuir las emisiones del cantón Espejo a 1 040.31 toneladas de CO <sub>2</sub> eq y para la provincia a 13 498.8 toneladas de CO <sub>2</sub> eq.	Elaboración de guías de fertilización
		Realizar campañas de difusión y talleres educativos dirigidos a pequeños agricultores sobre la importancia de una adecuada nutrición en el cultivo de papa para garantizar una mejor producción.	Educación ambiental
		Fomentar la implementación de abonos orgánicos en parcelas resaltando los beneficios ambientales, como la mejora de la estructura del suelo, para mejorar la responsabilidad ambiental entre los agricultores, mediante capacitaciones continuas con técnicos especializados.	Educación ambiental
		Fomentar la formación de cooperativas o asociaciones de agricultores para difundir el conocimiento y recursos sobre una correcta fertilización.	Redes colaborativas

### ***4.3.2 Programa de gestión eficiente del agua***

#### **Objetivo general**

Gestionar el uso eficiente del agua en los cultivos de papa para mejorar la productividad y minimizar los impactos ambientales.

#### **Objetivos específicos**

- Fomentar el uso de sistemas de riego eficientes en los productores de papa.
- Promover el uso de técnicas de conservación del agua

**Tabla 16.** Modelo PER para el programa de gestión eficiente del agua

<b>Presión</b>	<b>Estado</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Estrategia</b>
Uso intensivo del agua para riego	Disminución del suministro de agua para riego y aumento de la erosión hídrica	Realizar talleres y demostraciones en campo sobre el uso y mantenimiento de sistemas de riego eficientes, como el riego por goteo y como beneficia al ambiente este sistema y mejora la productividad.	Educación ambiental
		Establecer un sistema de monitoreo del consumo de agua y las condiciones del suelo mediante el uso de sensores de humedad para optimizar el consumo de agua en cultivos de papa.	Seguimiento
		Capacitar a los agricultores sobre prácticas agrícolas que ayuden a conservar el agua en el suelo y reducir la evaporación con la técnica de mulching (cobertura del suelo)	Capacitaciones

### ***4.3.3 Programa de conservación del suelo y cobertura vegetal en cultivos de papa***

#### **Objetivo general**

Promover la conservación y restauración del suelo con el fin de mejorar la salud del suelo, prevenir la erosión y fortalecer la resiliencia.

#### **Objetivos específicos**

- Capacitar a los agricultores sobre las buenas prácticas de conservación del suelo.
- Establecer estrategias para prevenir la erosión y fomentar la resiliencia de los suelos.

**Tabla 17.** Modelo PER, programa conservación del suelo y cobertura vegetal en cultivos de papa

<b>Presión</b>	<b>Estado</b>	<b>Respuesta</b>	<b>Estrategia</b>
Baja aplicación de prácticas de conservación del suelo	Cambio en el uso del suelo y alteraciones en la estructura y edafofauna del suelo	Zonificación de áreas de manejo en función de sus características como la pendiente y necesidades de conservación, análisis de suelo y posibles riesgos, para establecer categorías como: alta pendiente, baja fertilidad, riesgo de erosión.	Zonificación
		Capacitaciones a los agricultores en la práctica de rotación de cultivos teniendo en cuenta la duración y secuencia, alternado entre leguminosas y cereales como el maíz que ayudan a fijar el nitrógeno en el suelo.	Educación ambiental
		Promover la práctica de labranza mínima como el huachado rozado, donde se construyen surcos en pastizales, con las chambas cortadas y volteadas para mejorar la estructura del suelo y prevenir la erosión.	Labranza mínima
		Implementación de cultivos en contorno determinando las curvas de nivel con ayuda del nivel A que facilita el diseño del patrón de siembra, contribuyendo a la disminución de la erosión hídrica y conservación del agua.	Cultivos en contorno.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Los principales impactos ambientales por la producción de papa fueron: i) la reducción del suministro de nutrientes del suelo sobre todo en el nitrógeno y el calcio por ser macronutrientes esenciales para el cultivo y por otra parte el fósforo tuvo un aumento considerable debido a su difícil asimilación; ii) por cada tonelada de papa producida se emiten 154,49 Kg de CO<sub>2</sub> eq a la atmósfera, el mismo que está relacionado con la utilización de fertilizantes inorgánicos y el uso de gasolina para el transporte y riego, siendo el uso del agua la categoría más significativa dentro del ACV; iii) el aspecto ambiental con mayor número de impactos fue el suelo y la fase que mayor influencia tuvo fue la de preparación del suelo. Aunque no se presentaron impactos críticos, el 20% de estos fueron severos y necesitan medidas de manejo.

El costo ambiental total de los impactos negativos valorados representa una pérdida del 29.67% en las ganancias del productor, siendo la reducción de los nutrientes la que mayor aporta a este costo (26.54%). El valor económico para la categoría uso del agua del ACV fue de \$ 105,80. Estos gastos son el reflejo de daños potenciales a la sociedad que tendrá que asumir los costos a futuro. La fase que mayor costo presentó fue la de preparación del suelo debido a la utilización de maquinaria.

Los programas y estrategias propuestos estuvieron enfocados en fomentar buenas prácticas agrícolas y de conservación del suelo, mejorar la forma de fertilizar los cultivos para mejorar su rendimiento y disminuir los impactos, reducción de la labranza promoviendo la minimización de esta, fomentar una conciencia ambiental frente a la producción agrícola sin dejar a un lado el rendimiento del cultivo. Esto se debe a que los impactos de la producción de papa abarcan varios aspectos ambientales y los agricultores desconocen mejores alternativas que mitiguen estos impactos, ya que pueden llegar a tener un ahorro en sus costos de producción y ambientales.

## **5.2 Recomendaciones**

Realizar diferentes investigaciones con agricultores que practiquen diferentes formas de cultivar, utilicen una mayor área para su producción, implementen un sistema mecanizado, para identificar los impactos ambientales a una mayor escala y magnitud. Además, para la aplicación del ACV se puede buscar más metodologías para la medición de las fuentes de salida para incluir más categorías que pueden reflejar más impactos y así identificar las categorías más significativas.

Se recomienda buscar una metodología de valoración económica que incluya la disponibilidad a pagar por la reposición de un recurso o servicio ambiental y los precios del mercado para ciertos recursos, para obtener una mejor valoración del precio ambiental de los impactos generados por la producción de papa. Además, es esencial considerar factores como la pérdida de biodiversidad, la degradación del suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero. La combinación de estos enfoques garantizará una valoración económica robusta que refleje adecuadamente los costos ambientales y fomente prácticas agrícolas más sostenibles y responsables.

Se sugiere implementar un programa integral que combine educación y capacitación continua para los agricultores en buenas prácticas agrícolas y técnicas de conservación del suelo, con incentivos económicos. Además, es crucial fomentar la colaboración entre investigadores, agricultores y autoridades para desarrollar y difundir tecnologías innovadoras que optimicen la fertilización y minimicen la labranza.

## REFERENCIAS

- AGROCALIDAD. (2023). *Muestreo para análisis de suelos*.  
[https://www.agrocalidad.gob.ec/?page\\_id=39193](https://www.agrocalidad.gob.ec/?page_id=39193)
- Alfaro, R. C. (2019). SOBRE EL ORIGEN, EVOLUCIÓN Y DIVERSIDAD GENÉTICA DE LA PAPA CULTIVADA Y LA SILVESTRE. *Ciencia & Desarrollo*, 0(10), 111–120. <https://doi.org/10.33326/26176033.2006.10.213>
- Baker, R., & Ruting, B. (2014). *Environmental policy analysis: A guide to non-market valuation*.  
<https://ageconsearch.umn.edu/nanna/record/165810/files/Baker%20SP.pdf?withWatermark=0&version=1&registerDownload=1>
- Barrowclough, M. J., & Alwang, J. (2018). Conservation agriculture in Ecuador's highlands: a discrete choice experiment. *Environment, Development and Sustainability*, 20(6), 2681–2705. <https://doi.org/10.1007/S10668-017-0011-0/FIGURES/3>
- Bateman, I. J., Harwood, A. R., Mace, G. M., Watson, R. T., Abson, D. J., Andrews, B., Binner, A., Crowe, A., Day, B. H., Dugdale, S., Fezzi, C., Foden, J., Hadley, D., Haines-Young, R., Hulme, M., Kontoleon, A., Lovett, A. A., Munday, P., Pascual, U., ... Termansen, M. (2013). Bringing ecosystem services into economic decision-making: Land use in the United Kingdom. *Science*, 341(6141), 45–50. [https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1234379/SUPPL\\_FILE/1234379.DATA.ZIP](https://doi.org/10.1126/SCIENCE.1234379/SUPPL_FILE/1234379.DATA.ZIP)
- Belay, T., & Mengistu, D. A. (2021). Impacts of land use/land cover and climate changes on soil erosion in Muga watershed, Upper Blue Nile basin (Abay), Ethiopia. *Ecological Processes*, 10(1). <https://doi.org/10.1186/s13717-021-00339-9>
- Bergez, J. E., Béthinger, A., Bockstaller, C., Cederberg, C., Ceschia, E., Guilpart, N., Lange, S., Müller, F., Reidsma, P., Riviere, C., Schader, C., Therond, O., & van der Werf, H. M. G. (2022). Integrating agri-environmental indicators, ecosystem services assessment, life cycle assessment and yield gap analysis to assess the environmental sustainability of agriculture. *Ecological Indicators*, 141, 109107. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.109107>
- Bertol, I., Luciano, R. V., Bertol, C., & Bagio, B. (2017). Nutrient and organic carbon losses, enrichment rate, and cost of water erosion. *Revista Brasileira de Ciencia Do Solo*, 41, e0160150. <https://doi.org/10.1590/18069657rbcS20160150>
- Bonilla, V. A., & López, D. M. (2015). Evaluación de huella hídrica en la producción de un cultivo de papa R12 ubicado en el municipio El Rosal Cundinamarca. *Ingeniería Ambiental y Sanitaria*. [https://ciencia.lasalle.edu.co/ing\\_ambiental\\_sanitaria/315](https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria/315)
- Brentrup, F., Kusters, J., Lammel, J., & Kuhlmann, H. (2000). Methods to estimate on-field nitrogen emissions from crop production as an input to LCA studies in the agricultural sector. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 5(6), 349–357. <https://doi.org/10.1007/BF02978670/METRICS>

- Cao, V., Margni, M., Favis, B. D., & Deschênes, L. (2015). Aggregated indicator to assess land use impacts in life cycle assessment (LCA) based on the economic value of ecosystem services. *Journal of Cleaner Production*, 94, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.01.041>
- Casasbuenas, L., & Estupiñan, L. (2007). *Efecto del cultivo de papa sobre la fauna edáfica en el Páramo de Guerrero*. <https://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/582/513>
- Cazares Valdiviezo, W. P., Aranguren Carrera, J. R., & Moncada, J. A. (2017). Educación para el turismo sustentable en la escuela ecuatoriana: Una propuesta para la Parroquia La Libertad, Cantón Espejo, Provincia del Carchi. *Revista de Investigación*, 41(92), 34–55. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-29142017000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-29142017000300003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Chimarro Imbaquingo, J. D. (2021). *Evaluación del impacto ambiental en el suelo causado por pesticidas aplicados en cultivos transitorios en la parroquia Pimampiro - Imbabura*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/11045>
- Código Orgánico de Organización Territorial Descentralizado (2019). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Código Orgánico Del Ambiente (2017). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Colcha, E. (2009). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE TECNOLOGÍAS PARAPRODUCCIÓN DE PAPA (Solanum tuberosum) CON ALTERNATIVAS AL USO DE PLAGUICIDAS PELIGROSOS EN TIAZO SAN VICENTE, PROVINCIA DE CHIMBORAZO* [Tesis de pregrado]. ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO.
- CONESA FERNANDEZ-VITORIA, V. (2009). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental*. [https://books.google.com.co/books?id=wa4SAQAAQBAJ&hl=es&source=gbs\\_navlinks\\_s](https://books.google.com.co/books?id=wa4SAQAAQBAJ&hl=es&source=gbs_navlinks_s)
- CONSTITUCION DE LA REPUBLICA DEL ECUADOR 2008 Decreto Legislativo 0 Registro Oficial (2008). [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Cotler, H., Andrés López, C., & Martínez-Trinidad, S. (2011). *¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México “Soil is our most underappreciated, least value, and yet essential natural resource”* (Vol. 3, Issue 2).
- Crissman, C., Cole, D., & Carpio, F. (2003). *Impactos en producción, salud y medio ambiente en Carchi, Ecuador*.
- De Bruyn, S., Bijleveld, M., De Graaff, L., Schep, E., Schroten, A., Vergeer, R., & Ahdour, S. (2018). *Environmental Prices Handbook EU28 version N54- Environmental Prices Handbook Environmental Prices Handbook EU28 version*.
- de Olde, E. M., Moller, H., Marchand, F., McDowell, R. W., MacLeod, C. J., Sautier, M., Halloy, S., Barber, A., Bengé, J., Bockstaller, C., Bokkers, E. A. M., de Boer, I. J.

- M., Legun, K. A., Le Quellec, I., Merfield, C., Oudshoorn, F. W., Reid, J., Schader, C., Szymanski, E., ... Manhire, J. (2017). When experts disagree: the need to rethink indicator selection for assessing sustainability of agriculture. *Environment, Development and Sustainability*, 19(4), 1327–1342. <https://doi.org/10.1007/S10668-016-9803-X/METRICS>
- Dixon, J., & Pagiola, S. (1998). *Economic Analysis and Environmental Assessment*.
- Fajardo Pandia, A. E. (2016). *Modelo presión, estado, respuesta (p-e-r), para la clasificación de indicadores ambientales y gestión de la calidad del agua caso: cuenca del río Puyango Tumbes* (Vol. 19).
- Fenta, A. A., Tsunekawa, A., Haregeweyn, N., Tsubo, M., Yasuda, H., Kawai, T., Ebabu, K., Berihun, M. L., Belay, A. S., & Sultan, D. (2021). Agroecology-based soil erosion assessment for better conservation planning in Ethiopian river basins. *Environmental Research*, 195, 110786. <https://doi.org/10.1016/J.ENVRES.2021.110786>
- Fink, J., & Ducoing, C. (2022). Does natural resource extraction compromise future well-being? Norwegian Genuine Savings, 1865-2018. *The Extractive Industries and Society*, 11, 101127. <https://doi.org/10.1016/J.EXIS.2022.101127>
- Food and Agriculture Organization. (2021). World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021. *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021*. <https://doi.org/10.4060/CB4477EN>
- Fusco, G., Campobasso, F., Laureti, L., Frittelli, M., Valente, D., & Petrosillo, I. (2023). The environmental impact of agriculture: An instrument to support public policy. *Ecological Indicators*, 147, 109961. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2023.109961>
- GADM-E, G. A. D. M. de E. (2019). *Planificación del desarrollo y del ordenamiento territorial*.
- Giuliana, V., Lucia, M., Marco, R., & Simone, V. (2022). Environmental life cycle assessment of rice production in northern Italy: a case study from Vercelli. *International Journal of Life Cycle Assessment*, 1, 1–18. <https://doi.org/10.1007/S11367-022-02109-X/FIGURES/5>
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Espejo (GADME). (2023). *Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Espejo – GADME*. <https://www.gadme.gob.ec/>
- Goffart, J. P., Haverkort, A., Storey, M., Haase, N., Martin, M., Lebrun, P., Ryckmans, D., Florins, D., & Demeulemeester, K. (2022). Potato Production in Northwestern Europe (Germany, France, the Netherlands, United Kingdom, Belgium): Characteristics, Issues, Challenges and Opportunities. *Potato Research*, 65(3), 503–547. <https://doi.org/10.1007/S11540-021-09535-8/TABLES/14>
- Gransee, A., & Führs, H. (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth

- conditions. *Plant and Soil*, 368(1–2), 5–21. <https://doi.org/10.1007/S11104-012-1567-Y/FIGURES/5>
- Gricelda Vázquez-Carrillo, M., Santiago-Ramos, D., Ángel Rubio-Covarrubias, O., Margot Torres-Cervantes, C., Rosa Ayala-Rosas, A., & Luisa Patricia Vargas-Vázquez, M. (2016). Efecto ambiental en características físicoquímicas de papas de la Mesa Central de México. In *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (Vol. 7).
- Grupo ACME. (2015). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Parroquia La Libertad (Alizo) 2015-2020*.
- Horváthová, E., Badura, T., & Duchková, H. (2021). The value of the shading function of urban trees: A replacement cost approach. *Urban Forestry & Urban Greening*, 62, 127166. <https://doi.org/10.1016/J.UFUG.2021.127166>
- Huijbregts, M. A. J., Steinmann, Z. J. N., Elshout, P. M. F., Stam, G., Verones, F., Vieira, M., Zijp, M., Hollander, A., & 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/TABLES/2>
- Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2021). *Boletín Técnico. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua 2021*.
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2021). *MANUAL DE PRODUCCIÓN DE TUBÉRCULOSEMILLA DE PAPA*. [www.iniap.gob.ec](http://www.iniap.gob.ec)
- ISO. (2006). *Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework*. ISO 14040. <https://www.iso.org/standard/37456.html>
- Kane, D. S., Pope, K. L., Koupal, K. D., Pegg, M. A., Chizinski, C. J., & Kaemingk, M. A. (2022). Natural resource system size can be used for managing recreational use. *Ecological Indicators*, 145, 109711. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLIND.2022.109711>
- Koch, M., Naumann, M., Pawelzik, E., Gransee, A., & Thiel, H. (2019). The Importance of Nutrient Management for Potato Production Part I: Plant Nutrition and Yield. *Potato Research 2019 63:1*, 63(1), 97–119. <https://doi.org/10.1007/S11540-019-09431-2>
- LEY ORGANICA DE TIERRAS RURALES Y TERRITORIOS ANCESTRALES. (2016). *LEY ORGANICA DE TIERRAS RURALES Y TERRITORIOS ANCESTRALES*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Lombo, Lady, & Mancipe, diego. (2020). *ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS AMBIENTALES OCASIONADOS POR EL USO DE LOS FERTILIZANTES NITROGENADOS, EN EL CULTIVO DE PAPA EN EL MUNICIPIO DE ZIPAQUIRÁ*. UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS.
- Lopez-Becerra, E. I., & Alcon, F. (2021). Social desirability bias in the environmental economic valuation: An inferred valuation approach. *Ecological Economics*, 184, 106988. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2021.106988>

- Lv, Y., Gu, S. zhong, & Guo, D. mei. (2010). Valuing environmental externalities from rice-wheat farming in the lower reaches of the Yangtze River. *Ecological Economics*, 69(7), 1436–1442. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLECON.2008.12.014>
- MAG, M. de A. y G. (2023). *Información productiva territorial*. <https://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Martínez, D. (2009). *EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL DE TECNOLOGÍAS PARA PRODUCCIÓN DE PAPA (Solanum tuberosum) CON ALTERNATIVAS AL USO DE PLAGUICIDAS PELIGROSOS. CUTUGLAHUA, PICHINCHA*. [Tesis de grado ]. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR.
- Meng, F., Qiao, Y., Wu, W., Smith, P., & Scott, S. (2017). Environmental impacts and production performances of organic agriculture in China: A monetary valuation. *Journal of Environmental Management*, 188, 49–57. <https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2016.11.080>
- Mengel K., & Kirkby EA. (2001). Principles of Plant Nutrition (5th edition). Kluwer, Dordrecht, The Netherlands. *Principles of Plant Nutrition*.
- Ministerio del Ambiente Agua y Transición Ecológica. (2019). *REGLAMENTO AL CODIGO ORGANICO DEL AMBIENTE*. [www.lexis.com.ec](http://www.lexis.com.ec)
- Miranda, T., Machado, R., Machado, H., Brunet, J., & Duquesne, P. (2008). Valoración económica de bienes y servicios ambientales en dos ecosistemas de uso ganadero. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 187–189. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0798-72692008000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-72692008000300005&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Montesdeoca, F. (2005). *Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de calidad*. [www.pnrtpapa.org.ec](http://www.pnrtpapa.org.ec)
- Mora, J., Velasco, C., Mejía, A., & Flores, R. (2018). *Midiendo pérdidas en la cadena papa en Ecuador*.
- Moudrý, J., Jelínková, Z., Jarešová, M., Plch, R., Moudrý, J., & Konvalina, P. (2013). Assessing Greenhouse Gas Emissions from Potato Production and Processing in the Czech Republic. *Http://Dx.Doi.Org/10.5367/Oa.2013.0138*, 42(3), 179–183. <https://doi.org/10.5367/OA.2013.0138>
- Muñoz-Liesa, J., Toboso-Chavero, S., Mendoza Beltran, A., Cuerva, E., Gallo, E., Gassó-Domingo, S., & Josa, A. (2021). Building-integrated agriculture: Are we shifting environmental impacts? An environmental assessment and structural improvement of urban greenhouses. *Resources, Conservation and Recycling*, 169. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105526>
- Naciones Unidas. (2023). *Objetivos de Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/>
- Narváez, J. (2019). *EFFECTO DE LA ASOCIACIÓN CON CULTIVOS ALTERNATIVOS EN LA PRODUCCIÓN, EFICIENCIA DE LA FERTILIZACIÓN Y CALIDAD DE*

*FRITURA DE PAPA (Solanum tuberosum L.), VAR. SÚPER CHOLA, EN EL ÁNGEL, CARCHI, ECUADOR* [Tesis Magistral ]. Universidad Técnica del Norte .

- Nathan, O. O., Monicah, M. M., Jayne, M. N., Isaya, S., George, N., & Daniel, M. N. (2022). Nutrient and organic carbon losses by erosion, and their economic and environmental implications in the drylands of Kenya. *Environmental Challenges*, 7, 100519. <https://doi.org/10.1016/J.ENVC.2022.100519>
- Ning, L., Xu, X., Qiu, S., Lei, Q., Zhang, Y., Luo, J., Ding, W., Zhao, S., He, P., & Zhou, W. (2023). Balancing potato yield, soil nutrient supply, and nitrous oxide emissions: An analysis of nitrogen application trade-offs. *Science of The Total Environment*, 899, 165628. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2023.165628>
- Ochoa, S. A., Valverde, F., Novoa, V., Cartagena, Y., & Parra, R. (2009). *Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del callejón interandino*.
- Organización de las Naciones Unidas, O. (2023). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible - Desarrollo Sostenible*. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- Owen, O. S. 1920-. (2000). *Conservación de recursos naturales*. [https://books.google.com/books/about/Conservaci%C3%B3n\\_de\\_recursos\\_naturales.html?hl=es&id=0Z\\_KmG0yOvEC](https://books.google.com/books/about/Conservaci%C3%B3n_de_recursos_naturales.html?hl=es&id=0Z_KmG0yOvEC)
- Pimentel, D. (2006). Soil erosion: A food and environmental threat. In *Environment, Development and Sustainability* (Vol. 8, Issue 1, pp. 119–137). <https://doi.org/10.1007/s10668-005-1262-8>
- Polanco, C. (2006). *Indicadores ambientales y modelos internacionales para toma de decisiones*.
- Rodríguez, L. E. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9–17. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99652010000100002&lng=en&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652010000100002&lng=en&nrm=iso&tlng=es)
- Rozo, Y., & Tudela, G. (2014). Valoración económica de servicios ambientales en sistemas agroforestales en América Latina. *Revista Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas-FACCEA*, 4(2), 141–150. <https://editorial.uniamazonia.edu.co/index.php/faccea/article/view/155/144>
- Sartori, D., Catalano, G., Genco, M., ... C. P-E. appraisal tool, & 2014, undefined. (2014). Guide to cost-benefit analysis of investment projects. *Zefe.Org*. <http://www.zefe.org/studium/studium-wykonalnosci-wytyczne-dla-analzy-ekonomicznej.htm>
- Scherber, C. (2022). Agroecology – Reconciling biodiversity and production in farming systems. *Basic and Applied Ecology*, 65, 62–66. <https://doi.org/10.1016/J.BAAE.2022.10.002>

- Schmutz, U., Rayns, F., & Firth, C. (2007). Balancing fertility management and economics in organic field vegetable rotations. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(15), 2791–2793. <https://doi.org/10.1002/JSFA.3063>
- Shahmohammadi, A., Veisi, H., & Khoshbakht, K. (2018). Comparative life cycle assessment of mechanized and semi-mechanized methods of potato cultivation. *Energy, Ecology and Environment*, 3(5), 288–295. <https://doi.org/10.1007/s40974-018-0099-6>
- Sinisterra-Solís, N. K., Sanjuán, N., Ribal, J., Estruch, V., & Clemente, G. (2023). Dataset to monitor regionalised environmental impacts of the main agricultural products in Spain. *Data in Brief*, 46, 108883. <https://doi.org/10.1016/J.DIB.2023.108883>
- Soulé, E., Michonneau, P., Michel, N., & Bockstaller, C. (2021). Environmental sustainability assessment in agricultural systems: A conceptual and methodological review. *Journal of Cleaner Production*, 325, 129291. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2021.129291>
- Tang, J., Bai, H., Zhang, X., Wang, R., Guo, F., Xiao, D., & Zhou, H. (2022). Reducing potato water footprint by adjusting planting date in the agro-pastoral ecotone in North China. *Ecological Modelling*, 474, 110155. <https://doi.org/10.1016/J.ECOLMODEL.2022.110155>
- Telles, T. S., Dechen, S. C. F., de Souza, L. G. A., & Guimarães, M. de F. (2013). Valuation and assessment of soil erosion costs. *Scientia Agricola*, 70(3), 209–216. <https://doi.org/10.1590/S0103-90162013000300010>
- Tessema, Y. M., Jasińska, J., Yadeta, L. T., Świtoniak, M., Puchałka, R., & Gebregeorgis, E. G. (2020). Soil loss estimation for conservation planning in the welmel watershed of the Genale Dawa Basin, Ethiopia. *Agronomy*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/agronomy10060777>
- Tzilivakis, J., Warner, D. J., May, M., Lewis, K. A., & Jaggard, K. (2005). An assessment of the energy inputs and greenhouse gas emissions in sugar beet (*Beta vulgaris*) production in the UK. *Agricultural Systems*, 85, 101–119. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2004.07.015>
- van der Werf, H. M. G., Knudsen, M. T., & Cederberg, C. (2020). Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability* 2020 3:6, 3(6), 419–425. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>
- Van Ittersum, M. K., Cassman, K. G., Grassini, P., Wolf, J., Tittonell, P., & Hochman, Z. (2013). Yield gap analysis with local to global relevance—A review. *Field Crops Research*, 143, 4–17. <https://doi.org/10.1016/J.FCR.2012.09.009>
- Vos, J., & Van Der Putten, P. E. L. (1998). Effect of nitrogen supply on leaf growth, leaf nitrogen economy and photosynthetic capacity in potato. *Field Crops Research*, 59(1), 63–72. [https://doi.org/10.1016/S0378-4290\(98\)00107-5](https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00107-5)
- White, P. J., Bradshaw, J. E., Dale, M. F. B., Ramsay, G., Hammond, J. P., & Broadley, M. R. (2009). Relationships Between Yield and Mineral Concentrations in Potato Tubers. *HortScience*, 44(1), 6–11. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.1.6>

- Wittstock, F., Paulus, A., Beckmann, M., Hagemann, N., & Baaken, M. C. (2022). Understanding farmers' decision-making on agri-environmental schemes: A case study from Saxony, Germany. *Land Use Policy*, *122*, 106371. <https://doi.org/10.1016/J.LANDUSEPOL.2022.106371>
- Xu, Q., Dai, L., Gao, P., & Dou, Z. (2022). The environmental, nutritional, and economic benefits of rice-aquaculture animal coculture in China. *Energy*, *249*, 123723. <https://doi.org/10.1016/J.ENERGY.2022.123723>
- Xu, X., He, P., Qiu, S., Zhao, S., Ding, W., & Zhou, W. (2022a). Nutrient management increases potato productivity and reduces environmental risk: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, *369*, 133357. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133357>
- Xu, X., He, P., Qiu, S., Zhao, S., Ding, W., & Zhou, W. (2022b). Nutrient management increases potato productivity and reduces environmental risk: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, *369*, 133357. <https://doi.org/10.1016/J.JCLEPRO.2022.133357>
- Yadav, P., Athanassiadis, D., Yacout, D. M. M., Tysklind, M., & Upadhyayula, V. K. K. (2020). Environmental Impact and Environmental Cost Assessment of Methanol Production from wood biomass. *Environmental Pollution*, *265*, 114990. <https://doi.org/10.1016/J.ENVPOL.2020.114990>
- Yaghoubi Farani, A., Mohammadi, Y., Ghahremani, F., & Ataei, P. (2021). How can Iranian farmers' attitudes toward environmental conservation be influenced? *Global Ecology and Conservation*, *31*, e01870. <https://doi.org/10.1016/J.GECCO.2021.E01870>
- Yarisyen Márquez-Vasallo, Jorge Luis Salomón-Díaz, & Rosa Acosta-Roca. (1996). Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cultivos Tropicales*, *3–37*. [https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9855-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-4615-9855-8_1)
- Yousefi, M., Khoramivafa, M., & Mondani, F. (2014). Integrated evaluation of energy use, greenhouse gas emissions and global warming potential for sugar beet (*Beta vulgaris*) agroecosystems in Iran. *Atmospheric Environment*, *92*, 501–505. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSENV.2014.04.050>
- Zhao, J., Feng, X., Deng, L., Yang, Y., Zhao, Z., Zhao, P., Peng, C., & Fu, B. (2020). Quantifying the Effects of Vegetation Restorations on the Soil Erosion Export and Nutrient Loss on the Loess Plateau. *Frontiers in Plant Science*, *11*, 573126. <https://doi.org/10.3389/FPLS.2020.573126/BIBTEX>



