

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:
INGENIERA AMBIENTAL**

**TEMA:
ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA
AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DE LA
PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) EN LAS JUNTAS PARROQUIALES “LA
ESPERANZA”, Y “TABACUNDO”, CANTÓN PEDRO MONCAYO**

**AUTORA:
NORA CARMEN YANDÚN CHIDA**

**TUTOR:
RONNIE XAVIER LIZANO ACEVEDO**

Quito, febrero del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Nora Carmen Yandún Chida, con documento de identificación N° 171741620-8, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DE LA PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) EN LAS JUNTAS PARROQUIALES “LA ESPERANZA”, Y “TABACUNDO”, CANTÓN PEDRO MONCAYO, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: INGENIERA AMBIENTAL, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Nora Carmen Yandún Chida

171741620-8

Fecha: febrero 2018

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo experimental, ESTIMACIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES BASADO EN EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA FASE AGRÍCOLA DE LA CADENA AGROALIMENTARIA CONVENCIONAL Y AGROECOLÓGICA DE LA PAPA (SOLANUM TUBEROSUM) EN LAS JUNTAS PARROQUIALES “LA ESPERANZA”, Y “TABACUNDO”, CANTÓN PEDRO MONCAYO realizado por Nora Carmen Yandún Chida, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, febrero de 2018



.....
Ronnie Xavier Lizano Acevedo

1714291588

ÍNDICE DE CONTENIDOS

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	4
	2.1 Objetivo general.....	4
	2.2 Objetivos específicos	4
3	MARCO TEÓRICO	5
	3.1 Evolución histórica de la agricultura	5
	3.2 Sistema agroalimentario convencional capitalista.....	5
	3.3 Sistema agroalimentario agroecológico.....	9
	3.4 Influencia de la agricultura ante al cambio climático.....	13
	3.5 Cambio climático.....	13
	3.6 Gases de Efecto Invernadero	14
	3.7 Secuestro de carbono	14
	3.8 Sumidero de carbono	14
	3.9 Análisis de Ciclo de Vida	14
	3.10 Indicadores de impacto ambiental (HC y HH)	15
	3.10.1 Huella de Carbono	15
	3.10.2 Huella Hídrica	15
	3.11 Producto (papa-solanum tuberosum).....	17
	3.11.1 Origen.....	17
	3.11.2 Antecedentes	17
	3.11.3 Descripción botánica.....	19
	3.11.4 Distribución geográfica de la papa.....	19
	3.11.5 Variedades de semilla	19
	3.11.6 Valor nutricional	19
4	MATERIALES Y MÉTODOS	21
	4.1 Materiales	21
	4.1.1 Fase de campo.....	21
	4.1.2 Fase de laboratorio	22
	4.2 Métodos	23
	4.2.1 Fase de campo: levantamiento de información.....	23
	4.2.2 Fase de laboratorio	24

4.3	Metodología para el cálculo de Huella de Carbono (estimación de GEI) ..	25
4.3.1	Emisiones directas de N2O	26
4.3.2	Emisiones Indirectas de N2O	29
4.3.3	Emisiones de CO2 por encalado.	30
4.3.4	Transformación de emisiones de N2O a emisiones de CO2 eq.	31
4.3.5	Unidad funcional.	31
4.3.6	Emisiones de CO2 eq generadas por el empleo de fertilizantes.	31
4.3.7	Emisiones de CO2 eq generadas por el empleo de plaguicidas.	32
4.3.8	Emisiones de CO2 equivalente por uso de combustibles.	32
4.4	Metodología para el cálculo de Huella Hídrica	35
4.4.1	Evapotranspiración de referencia (ETO) y precipitación efectiva.	35
4.4.2	Evapotranspiración del cultivo.	36
4.4.3	Datos del cultivo	36
4.4.4	Datos del tipo de suelo del cultivo	37
4.4.5	Requerimiento de agua de cultivo.	37
4.4.6	Rendimiento productivo.	37
4.4.7	Huella Hídrica Agrícola	37
4.5	Diagrama de flujo para el sistema agroecológico y convencional	39
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	41
5.1	Fase de campo: levantamiento de información	41
5.2	Fase de laboratorio.	41
5.2.1	Resultados físico-químicos para suelo.	41
5.2.2	Resultados físico- químicos para agua de riego.	44
5.2.3	Resultados de análisis de plaguicidas en suelo, agua y producto.	46
5.3	Resultados de Huella de Carbono (emisiones de GEI).	48
5.4	Resultados de Huella Hídrica.	53
5.4.1	Parámetros hídricos	53
5.5	Rendimiento productivo	54
5.6	Huella Hídrica Agrícola.	55
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
7	REFERENCIAS	63
8	ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Rendimientos productivos del cultivo de papa en Ecuador para el año 2015.	18
Tabla 2. Materiales empleados en campo.	21
Tabla 3. Materiales, insumos y equipos utilizados en laboratorio.	22
Tabla 4. Parámetros físico-químicos analizados en laboratorio.	25
Tabla 5. Factor de emisión por defecto para estimar las emisiones directas de N ₂ O.	27
Tabla 6. Factores por defecto para la estimación de N agregado a los suelos agrícolas.	28
Tabla 7. Factor de emisión por defecto para estimar las emisiones indirectas de N ₂ O por volatilización.	30
Tabla 8. Potencial de Calentamiento Global (GWP) para los principales GEI.	31
Tabla 9. Factores de emisión para fertilizantes y plaguicidas.	32
Tabla 10. Densidad específica según el tipo de combustible.	34
Tabla 11. Valor Calórico Neto (VCN) por defecto y límites inferior y superior, según el tipo de combustible a emplearse.	34
Tabla 12. Factores de emisión por defecto para fuentes de consumo de diésel y gasolina.	34
Tabla 13. Especificaciones de cada productor agroecológico y convencional	41
Tabla 14. Resultados de parámetros físicos-químicos analizados para suelo.	42
Tabla 15. Concentraciones óptimas de MO en función a la clase textual.	43
Tabla 16. Resultados de parámetros físicos-químicos analizados en agua de riego.	44
Tabla 17. Resultados de parámetros físicos-químicos analizados en agua de riego.	44
Tabla 18. Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.	45
Tabla 19. Resultados de plaguicidas analizados en suelo, agua de riego y producto (papa) para el Sistema Agroecológico.	46
Tabla 20. Resultados de plaguicidas analizados en suelo, agua de riego y producto (papa) para el Sistema Convencional.	47
Tabla 21. Resultados de Huella de Carbono para el S. Agroecológico y S. Convencional.	48
Tabla 22. Parámetros hídricos.	53
Tabla 23. Características de la estructura vegetal de papa	54
Tabla 24. Rendimiento productivo.	55
Tabla 25. Resultados de H verde, azul, y gris para el SA y SC.	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diseño del AVC agrícola de la producción de papa (<i>Solanum tuberosum</i>).	15
Figura 2. Concentraciones de nutrientes presentes en la papa	20
Figura 3. Metodología aplicable para el cálculo de la variable Combustible j , a partir de los kg de combustible consumido.....	34
Figura 4. Diagrama de flujo de producción de papa del S. Convencional.....	39
Figura 5. Diagrama de flujo de producción de papa del S. Agroecológico	40
Figura 6. Emisiones de GEI, por producción de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) del S. Agroecológico y el S. Convencional.....	49
Figura 7. Emisiones de GEI, por componente empleado en el S. Agroecológico vs el S. Convencional	50
Figura 8. Emisiones de GEI, por producción de papa (<i>Solanum tuberosum</i>) del S. Agroecológico vs el S. Convencional.	52
Figura 9. Huella Hídrica por componentes de los S. Agroecológico y S. Convencional.....	57
Figura 10. Huella Hídrica de los S. Agroecológicos y S. Convencional.	59
Figura 11. Huella Hídrica del S. Agroecológico vs el S. Convencional.....	59

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del cultivo agroecológico P1.	70
Anexo 2. Ubicación del cultivo agroecológico P2.	70
Anexo 3. Ubicación del cultivo agroecológico P3.	70
Anexo 4. Ubicación del cultivo agroecológico P4.	71
Anexo 5. Ubicación del cultivo agroecológico P5.	71
Anexo 6. Formato de encuestas utilizadas en la fase de levantamiento de información para Huella Hídrica y Huella de Carbono.	71
Anexo 7. Programa Texture utolookup (TAL)- determinación de textura.	72
Anexo 8. Fase de campo: toma de muestras de suelo, agua, abonos, encuestas, cultivos agroecológicos, convencionales, cosechas y caracterización de residuos de cosecha.	73
Anexo 9. Fase de laboratorio: análisis de parámetros físico-químicos en suelo y agua de riego.	74
Anexo 10. Formato de cálculo en Excel de emisiones de GEI por emisiones directas e indirectas de N2O ¡Error! Marcador no definido.	
Anexo 11. Formato de cálculo en Excel, para la emisión de GEI generadas por insumos-entradas del cultivo de papa.	76
Anexo 12. Evapotranspiración de referencia (ET _o), empleo del software CROPWAT 8.0	76
Anexo 13. Precipitación efectiva, empleo del software CROPWAT 8.0.	76
Anexo 14. Datos del cultivo, empleo del software CROPWAT 8.0.	77
Anexo 15. Datos del tipo de suelo del cultivo, empleo del software CROPWAT 8.0	77
Anexo 16. Requerimiento de cultivo (RAC), empleo del software CROPWAT 8.0	77
Anexo 17. Calculadoras en Excel para el cálculo de la Huella Hídrica.	78
Anexo 18. Simbología del diagrama de procesos	78

RESUMEN

La presente investigación estimó los impactos ambientales del sistema agroalimentario agroecológico de la papa (*Solanum tuberosum*) en su fase agrícola en comparación con el sistema convencional, a través del análisis de ciclo de vida (ACV) en las parroquias La Esperanza y Tabacundo del cantón Pedro Moncayo; con la finalidad de proporcionar información que permita visibilizar mediante el empleo de dos indicadores ambientales, qué sistema agroalimentario es sustentable.

Para la estimación de impactos ambientales se incluyó el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de toda la fase agrícola, a partir de la cual se elaboró un inventario de entradas y salidas dando paso al cálculo de Huella de Carbono (HC), indicador que siguió las directrices del IPCC 2006 y los lineamientos del protocolo de Gases de Efecto Invernadero (GEI). Por otro lado, la Huella Hídrica (HH) se trabajó con los manuales de la Water Footprint Network (WFN) y de la FAO, además se utilizó el software CROPWAT 8.0 y Excel. Finalmente, a través de parámetros físico-químicos analizados en suelo, agua de riego y producto se determinó la calidad de los mismos.

Los resultados de HC y HH para el sistema agroecológico (SA) son 4,7 kgCO₂eq/kg y 154,60 m³/ton respectivamente frente a 14,15 kgCO₂eq/kg y 627,03 m³/ton para el sistema convencional (SC), siendo este último el modelo que genera mayores impactos ambientales.

El presente estudio radicó en conocer cuántos kgCO₂eq/kg de producto son emitidos a la atmósfera y cuántos m³/ton de agua son consumidos por la producción de papa en dos sistemas agroalimentarios.

ABSTRACT

The present investigation estimated the environmental impact of the agroecological agro-food system of the potato (*Solanum Tuberosum*) in its agricultural phase in comparison with conventional management, through life cycle analysis (LCA) in the parishes La Esperanza and Tabacundo of the Pedro Moncayo canton; with the purpose of providing information that allows visibility through the use of two environmental indicators, which agri-food system is sustainable.

For the estimation of the environmental impact, the Life Cycle Analysis (LCA) of the entire agricultural phase was included, from which an inventory of inputs and outputs was prepared to calculate of Carbon Footprint (CF) indicator according to the guidelines of the IPCC 2006 and the guidelines of the Greenhouse Gases (GHG) protocol. On the other hand, the Water Footprint (WF) calculation was completed with the manuals of the Water Footprint Network (WFN) and the FAO, in addition CROPWAT 8.0 and Excel software were used. Finally, through physical-chemical soil parameters were analyzed, irrigation and product quality were determined.

The results of CF and WF for the agroecological system (AS) are 4.7 kgCO₂eq/kg and 154.60 m³/ton respectively vs 14.15 kgCO₂eq/kg and 627.03 m³/ton for the conventional system (CS), the latter being the model that generates the greatest environmental impacts.

The present study we were seeking for the answer to how many kgCO₂eq/kg of product are emitted into the atmosphere and how many m³/ton of water are consumed by potato production in two agri-food systems.

1 INTRODUCCIÓN

El sistema agrícola convencional bajo el principio del capitalismo fortalecida en el contexto de la revolución verde y los agronegocios ha generado grandes externalidades al ambiente que se atribuyen principalmente al consumo excesivo de agroquímicos como fertilizantes sintéticos y plaguicidas, mismos que contaminan los recursos naturales.

En Ecuador, según la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA) menciona que el 80% del recurso hídrico del país es utilizado en el sector agrícola (CEPAL, 2011). En cuanto a la infraestructura de riego, el Consejo Nacional de Recursos Hídricos del Ecuador señala, que las grandes empresas agroexportadoras debido a la demanda de sus productos como: banano, café y flores son las únicas corporaciones que cuentan con un sistema de riego tecnificado con altas inversiones en tecnología que beneficia aproximadamente a 174.000 usuarios mientras que, las pequeñas asociaciones de agricultores cuentan con un sistema de riego rudimentario basado en una red de canales habitualmente sin revestimiento y con muy baja eficiencia que beneficia tan solo a 75.000 usuarios aproximadamente, por otra parte la contaminación del recurso hídrico se atribuye al consumo de agroquímicos como fertilizantes sintéticos y pesticidas que son empleados principalmente en grandes monocultivos de flores y banano (FLACSO, MAE, y PNUMA, 2008). Para tal efecto, el cantón Pedro Moncayo se caracteriza por ser un sector florícola que demanda en su producción una serie de riesgos para los pequeños agricultores, ya que sus cultivos y fuentes de agua pueden verse afectados o contaminados por estas grandes corporaciones sin dejar de lado los efectos negativos que causan a la salud.

Por otro lado, el Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero (INGEI) para el año 2012 señala que, el sector agrícola representa el tercer emisor de GEI a nivel nacional con el 18,17%, siendo el óxido nitroso (N_2O) el principal gas emitido por suelos agrícolas con 6 791, 97 Gg de CO_2 eq lo que constituye el 46,37 % de emisiones emitidas a la atmósfera por esta categoría (MAE, 2017). El informe de agricultura mundial realizado por la FAO menciona que, las emisiones de N_2O por el sector agrícola aumentarán en un 50 % entre los años 2015-2030 (García y Fernández, 2006). En este sentido las emisiones generadas por la agricultura favorecen al cambio climático.

Conforme a lo expuesto anteriormente, el trabajo pretende responder tres interrogantes: ¿Cuántos kg de CO_2 son emitidos a la atmósfera por kg de producción de papa tanto en el Sistema Convencional (SC) como en el Sistema Agroecológico (SA)? ¿Cuántos m^3 de agua son consumidos por tonelada de producción de papa tanto para el SC como para el SA? ¿Cuáles son las ventajas y desventajas que presenta el SA y el SC en el aspecto ambiental y social? Para responder a las dos primeras preguntas, la investigación se sustenta en el cálculo de dos indicadores ambientales HC y HH calculadas independientemente para ambos sistemas agrícolas, mientras que la tercera interrogante se responde en base a los resultados obtenidos por los dos indicadores ambientales, además de considerar las realidades de los agricultores y con un aporte adicional mediante información bibliográfica que permita dar una orientación respecto a las oportunidades que presenta el SA apoyado en la propuesta de la soberanía alimentaria de la Vía Campesina frente al SC bajo el contexto del capitalismo.

La presente investigación ofrece información que actualmente no existe en el país sobre HC y HH para el producto analizado, creando principalmente un aporte para las

escuelas agroecológicas al adquirir ecoetiquetas de sus productos, garantizando que los cultivos agroecológicos generan un menor impacto ya que adoptan técnicas ecológicas además de certificar la distribución y comercialización de alimentos saludables y de mejor calidad.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Estimar los impactos ambientales del sistema agroalimentario agroecológico de la papa (*Solanum tuberosum*) en su fase agrícola en comparación con el sistema convencional a través del análisis de ciclo de vida (ACV) en las parroquias La Esperanza y Tabacundo del cantón Pedro Moncayo.

2.2 Objetivos específicos

Estimar la cantidad de CO₂ equivalente emitida a la atmósfera por kilogramo de papa a través del indicador Huella de Carbono.

Estimar la cantidad de agua requerida para producir un kilogramo de producto de papa a través del indicador Huella Hídrica.

Analizar las diferencias entre suelos, agua, fertilizantes y productos de sistemas de producción agrícola convencional y agroecológica mediante la determinación de parámetros físico-químicos en laboratorio.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Evolución histórica de la agricultura

El presente capítulo muestra una revisión bibliográfica en cuanto a la evolución que ha tenido la agricultura partiendo desde el enfoque capitalista, la revolución verde y bajo el contexto de los agronegocios.

3.2 Sistema agroalimentario convencional capitalista

De acuerdo a la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2009) la agricultura convencional se caracteriza por ser un sistema de monocultivos, el cual hace uso excesivo de productos o insumos sintéticos como fertilizantes, plaguicidas y Organismos Genéticamente Modificados (OGM), asimismo emplea en gran medida maquinaria agrícola cuya prioridad se basa en maximizar la productividad convirtiéndola en una agricultura industrializada.

El capitalismo nace en el siglo XVI, con ello el comercio y los mercados sufren un proceso de metamorfosis según las necesidades propias del sistema y especialmente de ciertos grupos dominantes (multinacionales) que reciben ayuda de sus estados corporativos convirtiéndolos bajo este principio en mercados oligopólicos y gestionados, de igual forma, la superioridad del valor de cambio sobre el valor de uso es también un factor que transformó drásticamente al mercado capitalista cuyo fin a través de la comercialización o venta de una mercancía (producto o bien) es adquirir un valor de cambio a partir de su valor de uso (Vandepitte, 2012).

En este sentido, el SC y el SA consideran al producto obtenido (alimento) a partir de su utilidad como un valor de uso cuyo principio se fundamenta en el consumo o uso de los mismos (Marx, 1873). Por lo que su producción está destinado al consumo de una gran variedad de alimentos y adquieren un valor de cambio, cuando el producto es

transportado a ferias y mercados donde son comercializados. Sin embargo, es relevante destacar la contraposición de ambos sistemas.

Por su lado el SC cuestiona al alimento como una mercancía, cuyo fin es la obtención del poder monetario-dinero que encamina a maximizar las ganancias y acumular el capital de ciertos grupos sociales dominantes, desvalorizando plenamente el trabajo del pequeño agricultor y desestimando por completo las externalidades negativas sociales, económicas y ambientales que esta puede generar. De acuerdo a lo mencionado el SC bajo el contexto del capitalismo trata de convertir un objeto o bien, los servicios, bienes naturales, las actividades y necesidades humanas en valores de cambio, a través del dominio y sometimiento (Vandepitte, 2012). En cuanto al SA el mismo considera al producto como un valor de uso desde dos perspectivas: como consumo del producto y como objeto útil.

Dentro del análisis, es relevante concebir un acercamiento del medio de transacción de un producto “mercado”, conocido como un espacio de sometimiento para el campesino, el cual es definido como: “el lugar en el que en última instancia se refieren los procesos de acumulación y reproducción de capital, frente a los cuales los campesinos no cuentan con elementos para una negociación favorable o equitativa” (Guzmán y León, 2014, p.185). Desde esta perspectiva, la venta de un producto al mercado se vuelve dependiente de una red de intermediarios, generando desventajas económicas para los campesinos al no disponer de espacios directos y justos de comercialización de sus propios productos.

Un mecanismo fulminante para la acumulación del capital (dinero) es la fuerza de trabajo, capacidad del ser humano que es considerada como un valor de cambio para generar ganancias, creando a lo largo de la historia un proceso conflictivo que

determina una posición alarmante para los derechos humanos ya que, el mecanismo se desarrolla insosteniblemente es decir cuanto más bajo es el salario de un obrero más alta es la ganancia, la riqueza y el poder se concentra en una pequeña élite o en manos de dueños de los medios de producción, mediante métodos irracionales como la explotación y la tercerización (Vandepitte, 2012). “Por tanto, la producción capitalista sólo sabe desarrollar la técnica y la combinación del proceso social de producción socavando al mismo tiempo las dos fuentes originales de toda riqueza: la tierra y el hombre” (Marx, 1873, p.277).

Bajo el contexto del capitalismo, nace la revolución verde en 1960, cuya ideología era destinar grandes hectáreas de terreno a monocultivos para incrementar la producción de alimentos y de este modo acabar con el hambre en el mundo, sin embargo hoy en día sabemos que fue un proceso fallido que no aseguró la distribución global ni equitativa de los alimentos (Ceccon, 2008). Datos revelan que, de “1.500 millones de hectáreas agrícolas, el 91% se dedica a monocultivos extensivos de maíz, soya, arroz, trigo, etc. Hay fuerzas políticas y económicas que influyen las tendencias a dedicar grandes áreas de un país al monocultivo” (Altieri, 2009, p.55). Es claro que el modelo agrícola bajo el contexto de la revolución verde se creó para beneficiar principalmente a una cierta elite de agricultores (Morales, 2007).

Es evidente que el SC bajo el contexto de la revolución verde es insostenible, ya que, los efectos ambientales más visibles se atribuyen al empleo excesivo de agroquímicos que han generado contaminación en los recursos hídricos y la emisión de grandes toneladas de óxido nitroso, mientras socialmente “para los trabajadores rurales ha significado sueldos miserables, desempleo y migración. Para los pequeños propietarios, aumento en las deudas para la obtención de insumos y aumento de la pobreza” (Ceccon, 2008, p.25). Según estadísticas, la revista Business Week

menciona que la India ha alcanzado altos rendimientos productivos en sus cosechas de trigo y arroz, sin embargo, aunque existe millones de toneladas de alimentos, diariamente mueren cerca de 5000 niños por desnutrición debido a los altos índices de pobreza (Fernández, Roa, Spendler, y Villarroel, 2006). Desde la perspectiva del recurso hídrico como fuente de riego agrícola, según el Censo Agrario, en Ecuador “ el 37% de unidades de agricultura familiar campesina tiene acceso al riego, frente al 63% de la agricultura empresarial” (Houtart, 2016, p.26). En efecto se debe a que actualmente la disponibilidad del recurso hídrico es prioridad para las grandes asociaciones de monocultivos que generan mayor “productividad” limitando al pequeño agricultor a su acceso.

Posterior a la revolución verde a partir de la década de los 90, los agronegocios toman posición y han logrado fortalecerse en los últimos años, tomando el control monopólico de la cadena agroalimentaria, de igual forma elimina todo modelo de agricultura sustentable (agricultura familiar-conocimiento tradicional), despoja al agricultor de sus tierras cultivables, es así que registros revelan que cinco millones de agricultores fueron desalojados de sus tierras en Brasil e Indonesia y cuatro millones en Colombia para crear monocultivos (León y Yumbla, 2010).

Los agronegocios socialmente acaban con las fuentes de empleo, fortalece a la migración y es injusto pues expulsa la mano de obra del campo, económicamente no es viable ya que las grandes compañías controlan los precios, el mercado y las ganancias, en cuanto al aspecto ambiental destruye la biodiversidad, contamina los recursos naturales mientras el medio de producción (la tierra) se transforma en una mercancía bajo la lógica del capitalismo financiero (Houtart, 2016).

A modo de conclusión, el campesino sumergido en el SC pierde totalmente la capacidad de toma de decisión sobre sus propios cultivos ya que las técnicas de manejo agrícola, el tipo de producto-alimento a sembrar y su producción es controlada por las agroindustrias en base a sus intereses propios e incluso el agricultor pierde la capacidad y libertad de producir cultivos diversificados, en resumen, se está perdiendo por completo su soberanía alimentaria (León y Yumbra, 2010).

Por último, la agricultura convencional se ha convertido en la tortura para el agricultor, peor aún para el pequeño productor, donde su herramienta de trabajo el medio de producción, se enfrenta a él como mecanismo de dominio, miseria, pobreza, explotación, de violación de derechos humanos e injusticia, además de perder por completo su fortaleza, libertad y dependencia en la toma de decisiones con respecto a sus sistemas productivos y todo lo que abarque en el mismo (Marx, 1873).

3.3 Sistema agroalimentario agroecológico

Somos conscientes y creemos en la importancia de apoyar a difundir un modelo agrícola (agroecológico) consciente con el ser humano y la naturaleza, distinto del sistema agrícola imperante actual que ha creado vulnerabilidad para la sociedad (pobreza, desnutrición, desigualdad etc.) y el ambiente, al tratarse de un modelo capitalista que busca la acumulación de la riqueza a costa del agotamiento de los recursos naturales y la violación a los derechos humanos.

La Vía Campesina define al SA, como un “movimiento campesino-indígena que articula demandas ecológicas, de género, de solidaridad y equidad, ...” (Rojas, 2009, p.168). Por su parte el Movimiento de Pequeños Agricultores de Brasil (MPA) define al SA como:

Sistemas cuyo principio social se basa en el trabajo familiar de las comunidades campesinas, cuya producción de sus parcelas satisface las necesidades de autoconsumo familiar y al ser policultivos garantizan la distribución en variedad de alimentos en los mercados locales, por otro lado el SA se caracteriza por incorporar en sus técnicas, la producción vegetal y animal convirtiéndose en un modelo sustentable pues aprovecha todos los subproductos vegetales de producciones anteriores e incorpora cantidades considerables de residuos de origen animal (estiércol) cuyo procesamiento final es la obtención de productos naturales como: compost, bocashi y biol, es decir se utilizan en gran medida los insumos locales, asimismo el SA hace un uso eficiente del recurso hídrico y preserva la biodiversidad además de buscar la autonomía genética del sistema, finalmente se valoriza el conocimiento tradicional de los agricultores y se integra nuevas experiencias y técnicas a las ya existentes (Da Silva, s.f.).

De igual forma el modelo desarrolla espacios de comunicación, interrelación y participación, donde se comparten experiencias colectivas, la toma de decisiones es libre y democrática, surgen ideas de producción bajo un contexto de respeto y responsabilidad con los consumidores y el ambiente aisladas completamente de sistemas tradicionales globales del comercio de alimentos y su lógica capitalista, se valora el trabajo no solo del hombre sino también se integra y destacan el rol fundamental de la mujer, donde la participación de la misma es contemplada (Simón, Copena, y Rodríguez, 2010).

Por lo antes mencionado, la agroecología se presenta como un modelo sostenible en sus tres enfoques: *socialmente*, genera empleo ya que se sustituye el uso de agroquímicos como plaguicidas y fertilizantes por abonos orgánicos y sistemas de control biológico o productos naturales, esto hace que se requiera más mano de obra incrementando las fuentes de empleo rural (Soto, 2003). *Ambientalmente*, reduce la

contaminación de los recursos naturales ya que se elimina totalmente el empleo de fertilizantes sintéticos. *Económicamente*, el “ modelo se dirigirá a los mercados locales y directos de cercanía, eliminando los intermediarios, favoreciendo la transformación artesanal de los productos primarios, buscando los precios justos y la relación con los consumidores y consumidoras urbanas” (García y Fernández, 2006, p.172). Desde el mismo enfoque el modelo es “viable puesto que minimizan los costos de producción al aumentar la eficiencia de uso de los recursos localmente disponibles” (Altieri, 2009, p.80).

El SA busca transformar la ideología que actualmente tenemos sobre el valor del alimento, ya que la misma lo concibe como un valor de uso, frente a las ventajas sociales, culturales y ambientales que provee el alimento principalmente en salud.

La agroecología propone un concepto muy amplio ya que no solamente abarca el contexto de la sostenibilidad y sustentabilidad, también incorpora la integridad cultural, donde los saberes del agricultor se conciben como “Un conocimiento subjetivo que valoriza positivamente las experiencias personales y las creencias como recursos de conocimiento en vez de un obstáculo para entender al mundo” (Rojas, 2009, p.161). La agroecología incluye un diálogo de saberes, es decir valoriza el conocimiento tradicional y ancestral y la combina con el conocimiento actual es decir con la ciencia agrícola moderna (Altieri, 2009).

A continuación, se mencionan las ventajas que ha proporcionado el SA implementado en algunos escenarios. Pretty, según estudios agroecológicos revisados en 57 países, este sistema presenta varios beneficios: en un 64% aumenta el rendimiento productivo, existe mayor acumulación de materia orgánica por tal razón aumenta la fertilidad del suelo, el capital humano incrementa significativamente a

través de la capacidad de los agricultores para resolver problemas locales, de la misma manera se valora el trabajo de las mujeres, mejora las condiciones de salud y finalmente se han reportado índices menores de migración (Rojas, 2009). Por otra parte de acuerdo a las experiencias más significativas en el sistema agroalimentario español, el SA reduce las emisiones de CO₂ en un 40% y 60% frente al SC, ya que no utiliza agroquímicos ni maquinaria agrícola lo que reduce notablemente la contaminación ambiental, en relación a fuentes de empleo el modelo agroecológico genera un 20 % más trabajo, frente al modelo convencional (González y Infante, 2010).

Finalmente, la agroecología de acuerdo a la Vía Campesina, se apoya en la ideología de la soberanía alimentaria, que según la definición proporcionada por el movimiento en la cumbre contra el hambre de la FAO en 1996 la concibe como:

El derecho de los pueblos, de los países y regiones a definir sus propias políticas agropecuarias y de producción de alimentos, sin imponer el dumping¹ a terceros países, ... En este sentido, la soberanía alimentaria es presentada como una alternativa a las políticas neoliberales, que preconiza un comercio internacional más justo, que da la prioridad a una producción agrícola local para alimentar a las poblaciones, las cuales participan en la elección de las políticas agrícolas y alimentarias, y que reconoce el derecho de los campesinos a producir alimentos y a recibir un precio justo, así como el derecho de los consumidores a escoger sus alimentos con precios accesibles. (Heinisch, 2011, p.11)

¹ Es una práctica de comercio en la cual un producto en el extranjero es vendido a un precio inferior al que se vendería en su propio mercado Nacional (Mavila y Luyo, 2010).

Es así que, la soberanía alimentaria se enfoca en desarrollar políticas para combatir la pobreza y desnutrición además de proporcionar los medios necesarios para adquirir una alimentación sana, adecuada, y con altos niveles nutritivos (Nicholson, 2006).

3.4 Influencia de la agricultura ante al cambio climático

De acuerdo, al Instituto Nacional de Estadística y Censos (INGEI) para el año 2012, el sector agrícola, representa el tercer emisor de GEI a nivel Nacional con el 18,17%, actividad que contribuye al cambio climático (MAE, 2017).

Actualmente, las tierras de cultivo se ven gravemente afectadas y amenazadas por las condiciones del cambio climático (sequías, pluviometría irregular, tormentas), razón por la cual es fundamental que se lleven a cabo programas de adaptación que permita la participación activa de las instituciones nacionales junto a los grupos más vulnerables para impulsar iniciativas que promuevan la conservación y gestión sostenible de los recursos naturales además de fomentar la seguridad alimentaria y erradicar la pobreza (FAO, 2014). Una de las estrategias que promueve la FAO para contrarrestar al cambio climático es la adopción a una agricultura sostenible (agroecología) cuyas prácticas agrícolas consideren técnicas sustentables que permitan la reducción de emisiones de GEI (FAO, 2017).

3.5 Cambio climático

Según la definición proporcionada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático (CMCC), señala que el termino hace alusión al “cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera global y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables” (Cepssa, 2015, p.3).

3.6 Gases de Efecto Invernadero

Según el Instituto de Normas Técnicas de Costa Rica (INTECO) los GEI son “un componente atmosférico, tanto natural como antropogénico, que absorbe y emite radiación a longitudes de onda específicas dentro del espectro de radiación infrarroja emitida por la superficie de la Tierra, la atmósfera y las nubes” (Chassoul, Marín, Morales, y Fallas, 2017, p.70). El dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), y el óxido nitroso (N_2O) son los tres gases más importantes según el sector de Agricultura, Silvicultura, y Otros Usos de la tierra por su siglas AFOLU, que requieren de mayor atención y preocupación ya que la emisión en aumento de estos gases induce al cambio climático (IPCC, 2006c).

3.7 Secuestro de carbono

Proceso por el cual mediante la fotosíntesis remueve carbono de la atmósfera para posteriormente almacenarlo en el suelo en forma de materia orgánica, por lo tanto es necesario se adopte un modelo de agricultura ecológica, para aumentar y mantener la fertilidad del suelo y con ello incrementar a largo plazo los niveles de materia orgánica (Etcheverría y Barahona, 2017).

3.8 Sumidero de carbono

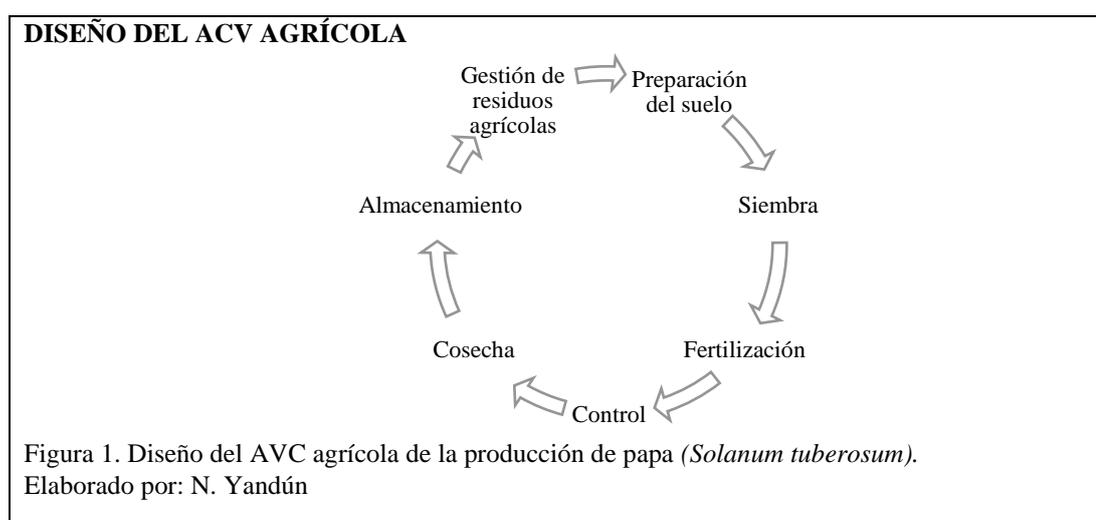
Un sumidero acumula carbono en forma de compuestos orgánicos que constituyen la materia orgánica y la biomasa del suelo, contribuyendo así a la reducción de Dióxido de Carbono (CO_2) y en definitiva mitigando el efecto invernadero (Martino, 2000).

3.9 Análisis de Ciclo de Vida

Es una herramienta de gestión medioambiental que permite evaluar los impactos ambientales generados por un proceso productivo, actividad o producto, considerando todo su ciclo completo es decir desde la cuna hasta la tumba (Martín, s.f.).

Según las normas ISO 14040 e ISO 14044, el ACV es una herramienta que permite la medición, cuantificación y direccionamiento de la carga ambiental y huella ecológica de un proceso actividad o producto (Arango, Carmona, y Romero, 2014).

El ACV toma en cuenta dos elementos: entradas (recursos, materias primas, productos y energía) y salidas (descargas, emisiones y residuos) la cual se la conoce como Inventario de Ciclo de Vida (ICV) (Ihobe, 2009).



3.10 Indicadores de impacto ambiental (HC y HH)

3.10.1 Huella de Carbono

Considerado como un indicador ambiental y herramienta que permite cuantificar las emisiones directas e indirectas de GEI, expresadas en toneladas de CO₂ equivalente, emitidos a la atmósfera y que son generados por actividades, procesos productivos, productos y servicios (Espíndola y Valderrama, 2012).

3.10.2 Huella Hídrica

Es un indicador ambiental que estima el volumen de agua dulce utilizado de manera directa o indirecta durante un proceso (Rios y Navarrete, 2017). La HH considera en su cálculo tres componentes: *huella azul* que corresponde al consumo de agua superficial o subterránea evaporado, proporcionado al cultivo por medio de sistemas

de riego, *huella verde* es el volumen de agua lluvia utilizado por las plantaciones o cultivos y es devuelta a la atmósfera por procesos de evapotranspiración (Seguí, García, y Guerrero, 2016). De la misma forma la *huella gris*, se refiere al volumen de agua dulce que se requiere para absorber la carga contaminante generados por el empleo de productos químicos (Silva, 2015).

3.10.2.1 Evapotranspiración

La evapotranspiración (ET) se refiere a la cantidad de agua perdida de la superficie del suelo expresada en milímetros (mm) a través de la combinación de dos procesos por separados: *la evaporación*, a partir de la cual el agua líquida se convierte en vapor, fenómeno que se da lugar en el suelo y *la transpiración* que se efectúa por la vaporización del agua líquida presente en los tejidos de las plantas y que son emitidas a la atmósfera posteriormente, ambos procesos se dan por acción de la radiación solar, la temperatura ambiente, viento y humedad atmosférica, en síntesis el 100% de la ET se alcanza en la fase de siembra en forma de evaporación, mientras que el 90% se efectúa cuando la cobertura vegetal es completa en forma de transpiración (Allen, Pereira, Raes, y Smith, 2006).

Según el Manual de la FAO, el concepto de evapotranspiración incluye tres variables que son necesarias para el cálculo de HH, sin embargo se considera definir dos componentes que son requeridas en el estudio: la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0), definida como una variable que estudia el poder evaporante de la atmósfera sin tomar en consideración las técnicas de manejo y características del cultivo, ya que es un parámetro que toma únicamente en cuenta variables climatológicas a partir de datos meteorológicos mientras la evapotranspiración del cultivo en condiciones estándares (ET_c), se refiere a la evapotranspiración de un cultivo en estado óptimo es decir presenta un suelo con excelentes concentraciones en

nutrientes, adecuado manejo del cultivo libre de enfermedades y plagas, el suministro de agua es óptimo además de lograr altos rendimientos productivos en relación a las condiciones climatológicas (Allen et al., 2006).

3.10.2.2 *Requerimiento de agua del cultivo*

Denominado RAC por sus siglas, se refiere a la cantidad de agua que requiere una planta para satisfacer sus necesidades hídricas, cuya fuente procede de la precipitación absorbida por el suelo o el suministro en forma de riego cuando los requerimientos de agua verde (agua lluvia) son insuficientes (Mallma, 2015).

3.11 Producto (*papa-solanum tuberosum*)

3.11.1 Origen

Según Cuesta, Caballero, Rivadeneira, y Andrade el origen de la papa fue en América del Sur y a partir del continente el producto se extendió al resto del mundo (Naranjo, 2015).

3.11.2 Antecedentes

El Ministerio de agricultura de Perú menciona que “el cultivo de papa es considerado como uno de los cuatro cultivos alimenticios más importantes del mundo, junto al trigo, arroz y maíz” (Flores, Bravo, Lima, y Machaca, 2017, p.12). En Ecuador, según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (ESPAC) para el año 2015 señala que la papa “ocupa el décimo lugar entre los productos más consumidos por la población y se encuentra entre los ocho cultivos de mayor producción del país” (Monteros, 2016, p.1).

Los altos rendimientos productivos que exige el SC bajo la modalidad de monocultivos, requiere de un alto consumo de agroquímicos principalmente de plaguicidas altamente tóxicos para combatir la lancha, enfermedad devastadora del

cultivo, sin embargo, a pesar de generar altos beneficios económicos los efectos en la salud se han evidenciado, es así que según el diagnóstico de la situación actual de la cadena agroalimentaria de la papa en Ecuador (OFIAGRO) en el año 2008 reportaron que el índice por intoxicación de plaguicidas en el país y especialmente en la provincia del Carchi se encuentra entre los más altos del mundo, mientras se reporta que 4 de cada 10.000 habitantes mueren cada año por el contacto con plaguicidas y 4 de cada 10.000 habitantes sufren casos de intoxicación, por esta razón en algunas regiones el cultivo de papa es considerado uno de los principales causantes de contaminación ambiental además de causar problemas a la salud (Villacrés, 2014).

El Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAGAP) revela los rendimientos productivos de papa en Ecuador para el año 2015, mismos que se presentan a continuación (ver tabla 1).

Tabla 1.

Rendimientos productivos del cultivo de papa en Ecuador para el año 2015.

Provincia	Área sembrada (ha)				Rendimiento (Ton/ha)
	0.03-0.40 (%)	0.5-1 (%)	1.25-5 (%)	mayor a 5 (%)	
Carchi	-	46	46	8	27.3
Pichincha	46	35	19		14.9
Chimborazo	47	47	6		14.5
Tungurahua	73	25	2		14.2
Cotopaxi	73	23	4		12.8
Nacional	51	35	13	1	16.1

Nota: De acuerdo a las distintas provincias productoras de papas, y en función de las áreas destinadas para el cultivo, se presenta los rendimientos productivos a nivel provincial y nacional.

Fuente: (Monteros, 2016).

La extensión de cultivo de papa a nivel nacional, según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) en el año 2012 fue de 50.000 hectáreas, con una producción de alrededor de 450.000 toneladas métricas, siendo el 88% de esta producción destinada al consumo interno (Villacrés, 2014).

3.11.3 Descripción botánica

Según (Soto, 2016) la papa pertenece a las siguientes categorías taxonómicas:

Familia: *Solanaceae*

Género: *Solanum*

Especie: *S. tuberosum*

3.11.4 Distribución geográfica de la papa

En el Ecuador, la distribución de papa se concentra en 3 zonas productoras: **norte** (Carchi e Imbabura), representa la zona con mayor producción a nivel nacional, sus siembras se realizan durante todo el año debido a las condiciones climatológicas favorables para el cultivo; **centro** (Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar) y finalmente la zona **sur** (Cañar, Azuay y Loja) su producción es relativamente baja como consecuencia a las bajas precipitaciones por ende es considerado como un cultivo de poca importancia (Andrade, Bastidas, y Sherwood, 2002).

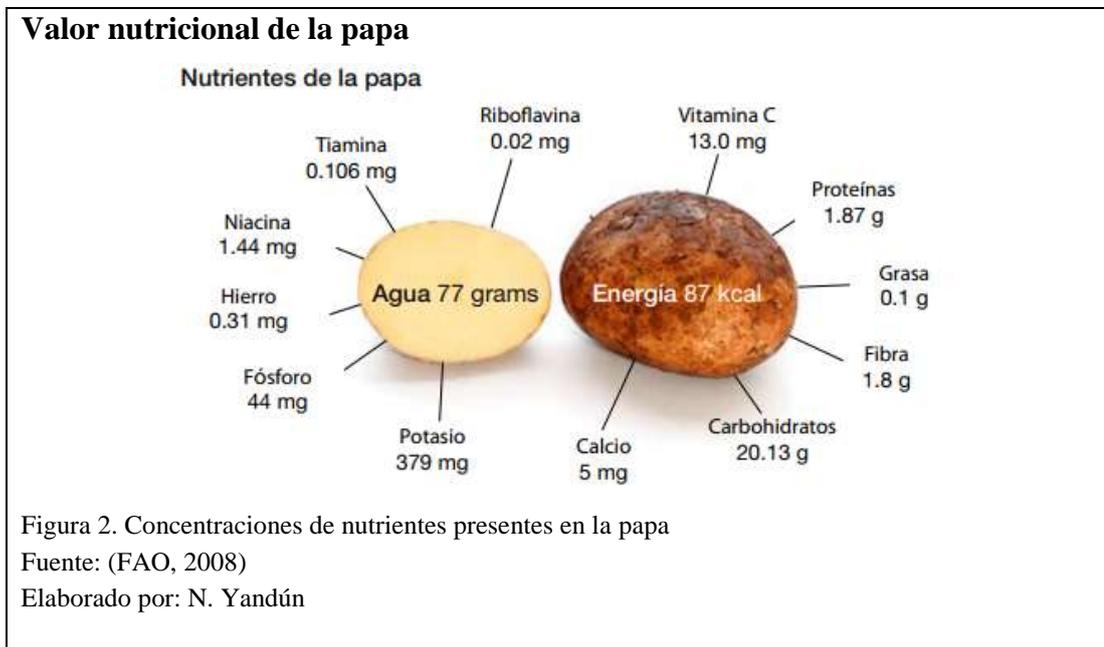
3.11.5 Variedades de semilla

Según el INIAP en Ecuador se siembran 30 variedades de papa, de las cuales las de mayor representatividad son súper chola (38%), única (10%), chola (8%) y cecilia (6%)” (Monteros, 2016).

3.11.6 Valor nutricional

La papa como fuente principal de energía, es un importante alimento básico que contiene grandes cantidades de micronutrientes, siendo la vitamina C su principal nutriente, también presenta concentraciones moderadas de hierro, vitaminas B1, B3 y

B6, incluyendo otros minerales como fósforo, potasio y magnesio fundamentales para una dieta equilibra (FAO, 2008).



4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

4.1.1 Fase de campo

Levantamiento de información (entrevistas) y toma de muestras de suelo, agua, fertilizantes y producto.

Tabla 2.

Materiales empleados en campo.

Fases	Materiales	Equipos
Recopilación de información (Entrevistas)	-Libreta de campo, esferos (azul, negro) y cinta adhesiva. -Marcadores punta fina (negro). -Cuestionarios previamente elaborados.	-Cámara fotográfica. -Grabador de voz (aplicación de celular)
Muestreo de suelo	-Pala. -Balde mediano de 20 lt. -Machete. -Cooler con hielo. -Fundas ziploc (fundas grandes). -1 botella de agua de 1 lt. -Flexómetro. -Cilindros de metal (8 unidades). -Papel aluminio.	-Cámara fotográfica. -Balanza digital de 10 kg.
Muestreo de agua	-2 baldes (de 5 lt y de 20 lt). -Recipientes de polietileno con tapas de 1 litro (15 unidades). -Cooler con hielo. -Alcohol- algodón. -Encendedor.	-Cámara fotográfica. -Peachimetro. -Cronómetro (aplicación de celular).
Muestreo de fertilizantes	-5 Botellas de plástico vacías de 1 lt (preferiblemente de agua). -Fundas ziploc (10 grandes). -Cooler con hielo.	-Cámara fotográfica.
Muestreo de alimento	-Fundas ziploc (4 grandes).	-Cámara fotográfica.
Georreferenciación	-Libreta de campo-esferos.	-GPS GARMIN. -Drone Phantom 3
Caracterización de residuos	-Lona negra de 5 x 5 metros. -4 estacas. -Piola. -Flexómetro. -Balanza. -5 costales de 100 libras. -Guantes de caucho.	-Cámara fotográfica.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

4.1.2 Fase de laboratorio

Determinación de parámetros físico-químicos para suelo y agua.

Tabla 3.

Materiales, insumos y equipos utilizados en laboratorio.

Parámetro físico-químico	Materiales	Insumos	Equipos
Suelo y agua			
pH- CE.	- Muestras de agua y suelo.	-Agua	-Potenciómetro.
	-Vasos de precipitación de 100ml.	destilada.	-Conductímetro eléctrico de lectura directa.
	-Piseta.		-Balanza de precisión
	-Vasos pequeños de plástico.		
	-Gradilla rectangular.		
	-Agitador de vidrio.		
Suelo			
Textura y Densidad Aparente.	-Muestra de suelo.	Agua destilada.	-Balanza de precisión.
	-Cilindros con muestras de suelo.	Hexametáfosfato de sodio al 4%.	-Estufa a 105°C.
	-Bandeja de plástico.		
	-Tamiz de 2 y 0.5 mm.		
	-Fundas de plástico.		
	-Tarrinas de plástico		
	-Vaso de precipitación de 500ml.		
	-Papel bond.		
	-Pipeta de 10ml.		
	-Cilindro de sedimentación con tapa de 1 litro.		
	-Pinzas.		
	-Densímetro.		
	-Reloj.		
	-Espátula.		
Materia orgánica (MO)	-Muestras de suelo tamizadas.	-Dicromato de potasio (K_2CrO_7).	-Balanza de precisión.
	-Vasos de precipitación de 50 y 500 ml	-Ácido Sulfúrico (H_2SO_4).	-Cámara de gases
	-Agitador.	-Ácido fosfórico ($H_3P_2O_4$).al 56%	
	-Balones aforados.	- Almidón	
	-Pipetas (5 y 10ml).	-Disulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$).	
	-Vasos de plástico pequeños.	-Yoduro de potasio (KI)	
	-Soporte universal.		
Respiración del suelo	- Pipetas (10ml)	-Rojo de metilo	-Balanza de precisión.
	-Bureta	-Ácido Clorhídrico (HCL)	-Estufa a 105°C.
	-Vasos de precipitación de 50 (ml)	-Fenoltaleína	
	-Piseta	-Agua destilada	
	-Soporte universal.	-Hidróxido de sodio 0,1 N (NaOH).	
	-Botella de vidrio de 250 ml con tapa.		
	-Gasas		

Elaborado por: N. Yandún, 2017

4.2 Métodos

4.2.1 Fase de campo: levantamiento de información.

La presente investigación se realizó con la colaboración de la asociación del Buen Vivir de productores agroecológicos de la parroquia de Tabacundo y La Esperanza, movimiento perteneciente al Sistema de Participación de Garantía (SPG), actualmente cuenta con 30 agricultores que se dedican a la siembra de diversos productos siendo los más destacados las hortalizas y los tubérculos.

Para determinar el número de productores que intervinieron en el estudio se ejecutó una socialización previa con la organización, en la cual se dio a conocer información relevante del proyecto y posteriormente se llegó a un consenso de trabajo con los agricultores que disponían de cultivos de papa (*Solanum tuberosum*).

Una vez identificadas las parcelas se procedió a realizar visitas de campo a los cuatro cultivos agroecológicos y al cultivo convencional, donde se recopiló información mediante entrevistas, metodología que por medio del diálogo permite obtener respuesta a una serie de preguntas que fueron elaboradas previamente a la entrevista (ver Anexo 6), proceso que permitió realizar un inventario de entradas y salidas para el SC y el SA, dando así las directrices para el cálculo de HH y HC.

Por otra parte, con ayuda de un Drone Phantom 3, se logró conocer la ubicación geográfica de los predios o parcelas de estudio y posterior a la captura de fotografías aéreas se generó el procesamiento de imágenes para la obtención de la ortofotos georreferenciadas (Ver Anexos 1-5). Finalmente, con el empleo del GPS GARMIN se tomó todas las coordenadas geográficas de cada parcela.

4.2.1.1 Toma de muestras de suelo, agua de riego y fertilizantes.

En cuanto a la metodología utilizada para el muestreo de agua, se siguió los lineamientos descritos por el Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA, 2011) e Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN, 2013). Se tomó 2 muestras compuestas de 1 litro cada una por cada productor (Ver anexo 8).

Para el muestreo de suelo, se siguió las directrices del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP, 2006). Se tomó 2 muestras compuestas de 1 kg cada una por cada productor (Ver anexo 8).

Asimismo, para el muestreo de fertilizantes líquidos-sólidos y de alimentos se tomó en cuenta la guía dada por el manual técnico para usuarios y laboratorios de control de calidad de fertilizantes (AGROCALIDAD, s.f.) perteneciente a la Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de Calidad del Agro (Ver anexo 8).

4.2.2 Fase de laboratorio

Los análisis físicos-químicos para suelo y agua de riego se realizaron en el laboratorio de suelos de Cayambe, sede perteneciente a la Universidad Politécnica Salesiana, sin embargo, se consideró relevante enviar al laboratorio AGROCALIDAD muestras de agua para el análisis de cloruros y sólidos suspendidos (SS), de la misma manera se envió al mismo laboratorio muestras de fertilizantes naturales para su análisis, mientras que la determinación de plaguicidas para suelo, agua y producto se enviaron al laboratorio certificado LABOLAB.

Tabla 4.

Parámetros físico-químicos analizados en laboratorio.

Parámetro físico-químico	Método	Fuente
Suelo y agua		
pH	Potenciómetro	(Fernández, et al., 2006)
Conductividad (CE)	Conductímetro	(Fernández, et al., 2006)
Suelo		
Textura	Bouyoucos	(Andrades, Moliner, y Masaguer, 2015)
Densidad aparente	Cilindro de volumen conocido	(Flores y Alcalá, 2010)
Materia orgánica	Walkley-Black	(Cano, 2015)
Respiración del suelo		(Witkamp & Van Der Drift, 1961)

Nota: La información que se presenta en la siguiente tabla corresponde a los análisis realizados por el investigador en el laboratorio de suelos de Cayambe sede de la UPS.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

4.3 Metodología para el cálculo de Huella de Carbono (estimación de GEI).

El cálculo de HC considera las emisiones generadas en todas aquellas actividades que se llevan a cabo en la fase agrícola, mismas que se reducen a un cálculo de kg CO₂ eq, empleando las ecuaciones (1) y (2).

$$kg\ CO_2\ eq = \text{Datos de actividad} * \text{Factor de emisión} * GWP \quad (1)$$

Fuente: (WRI & WBCSD, 2011)

$$kg\ CO_2\ eq = kg\ CO_2\ eq\ preparación\ del\ suelo\ del\ cultivo + kg\ CO_2\ eq\ siembra + kg\ CO_2\ eq\ fertilización + kg\ CO_2\ eq\ control\ fitosanitario + kg\ CO_2\ eq\ almacenamiento + kg\ CO_2\ eq\ cosecha + kg\ CO_2\ eq\ gestión\ de\ residuos. \quad (2)$$

Fuente: La investigación

Elaborado por: El autor

Para la estimación de GEI, por emisiones de N₂O (directas e indirectas) para suelos gestionados y por emisiones de CO₂ emitidos por la aplicación de cal a cultivos, se siguió las directrices presentadas por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) de 2006 para los inventarios nacionales de GEI, detalladas en el capítulo 11. El método a emplearse es de Nivel 1, escogido mediante un análisis del árbol de decisiones que muestra el manual.

4.3.1 Emisiones directas de N₂O

La metodología empleada, incluyó ecuaciones para el cálculo de emisiones de N₂O por agregados de nitrógeno de manera antropogénica, es decir por suministros de productos como fertilizantes sintéticos u orgánicos, residuos agrícolas y depósitos de estiércol (IPCC, 2006a). Es importante destacar que las ecuaciones se simplificaron acorde a los requerimientos y especificaciones que se detallan en los inventarios de cada uno de los cultivos tanto para el SA como para el SC (Ver anexo 10 y 11).

En base a lo mencionado, se empleó la ecuación 3:

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - N_{N\ aportes} \quad (3)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico y convencional.

Fuente: (IPCC, 2006a)

Dónde: Emisiones anuales $N_2O_{Directas} - N$ (kg N₂O – N año⁻¹), es igual a las Emisiones anuales de $N_2O - N_{N\ aportes}$ producidas por aportes de N (kg N₂O – N año⁻¹).

Ecuación 4

$$N_2O - N_{N\ aportes} = (F_{ON} + F_{CR}) * EF_1 \quad (4)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico.

Fuente: (IPCC, 2006a)

Dónde: F_{ON} corresponde a los kg N año⁻¹ de estiércol animal, compost y otros suplementos suministrados a los suelos de estudio, F_{CR} son los kg N año⁻¹ de residuos agrícolas aéreos y subterráneos, y EF_1 es el factor de emisión de N₂O de aportes de N, kg N₂O – N (kg aporte de N)⁻¹(ver tabla 5).

Ecuación 5

$$N_2O - N_{N\ aportes} = (F_{SN} + F_{CR}) * EF_1 \quad (5)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema convencional.

Fuente: (IPCC, 2006a)

Dónde: F_{SN} Son los kg N año^{-1} de N suministrado a los cultivos en forma de fertilizantes sintéticos.

La ecuación 4 difiere de la ecuación 5, ya que el SA utiliza una variedad de fertilizantes orgánicos (compost, bioles, bocashi, residuos domiciliarios, estiércol, etc.), mientras que el SC emplea exclusivamente productos sintéticos.

Tabla 5.

Factor de emisión por defecto para estimar las emisiones directas de N_2O .

Factor de Emisión	Descripción	Valor por defecto
EF 1	Factor de emisión por aportes de N para abonos orgánicos, fertilizantes minerales y residuos agrícolas [$\text{kg N}_2\text{O-N (kg N)}^{-1}$]	0,01

Fuente: (IPCC, 2006a)

Ecuación 6

Para el cálculo de F_{ON} se empleó la siguiente ecuación:

$$F_{ON} = F_{COMP} + F_{OOA} \quad (6)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico.

Fuente: (IPCC, 2006a)

Dónde: F_{COMP} corresponde a los kg N año^{-1} de compost suministrada a los suelos, F_{OOA} son los kg N año^{-1} de abonos orgánicos utilizados como fertilizantes (p. ej., gallinaza, desechos domiciliarios, Bioles, etc.)

Ecuación 7

Para el cálculo de F_{CR} se empleó la ecuación 11.7A del manual (IPCC, 2006a) que se reduce a la ecuación:

$$F_{CR} = \sum_T [(AGDM_{(T)} * N_{AG(T)} * (1 - R_{BG-BIO(T)}) * N_{BG(T)}] \quad (7)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico y convencional.

Fuente: (IPCC, 2006a)

Dónde: $AGDM_{(T)}$ son los mg/ha de materia seca de los residuos aéreos ($AGDM_{(T)}$), $N_{AG(T)}$ representa los $\text{kg N (kg d. m.)}^{-1}$ de contenido de N de los residuos aéreos del

Cultivo_(T) (Ver tabla 6), $R_{BG-BIO(T)}$ es la relación de residuos subterráneos/biomasa aérea, (Ver tabla 6), $N_{BG(T)}$ corresponde a los kg N (kg d. m.)⁻¹ de contenido de N de los residuos subterráneos del Cultivo_(T). (Ver tabla 6).

$$AGDM_{(T)} \left(\frac{Mg}{ha} \right) = Cultivo_{(T)} * Declive + Intercept_{(T)} \quad (8)$$

$$AGDM_{(T)} \left(\frac{Mg}{ha} \right) = kg \text{ de los residuos} * 0.10 + 1.06$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico y convencional.
Fuente: (IPCC, 2006a)

$$Cultivo_{(T)} = SECO \quad (9)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico y convencional.
Fuente: (IPCC, 2006a)

Dónde: SECO son los kg d.m (kg peso fresco.)⁻¹ de materia seca del cultivo cosechado.

Tabla 6.

Factores por defecto para la estimación de N agregado a los suelos agrícolas.

Cultivo	Fracción de materia seca del producto cosechado (SECO)	Materia seca de los residuos aéreos		Contenido de N de residuos aéreos (N _{AG})	Relación subterráneos / biomasa aérea (R _(BG-BIO))	Contenido de N de residuos subterráneos (N _{BG})
		AGDM _(T) = Cultivo _(T) * Declive _(T) + Intercept _(T)	Declive			
Patatas	0,22	0,10	1,06	0,019	0,2	0,014

Fuente: (IPCC, 2006a)

De esta forma, para obtener un valor en emisiones de N₂O a partir de emisiones N₂O – N se procedió a utilizar la siguiente ecuación.

$$N_2O = \left(N_2O - N * \frac{44}{28} \right) \quad (10)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico y convencional.
Fuente: (IPCC, 2006a)

$$Kg \text{ C}_2\text{Oeq} = N_2O * GWP \quad (11) \text{ (Ver tabla 8)}$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico y convencional.
Fuente: (IPCC, 2006a)

4.3.2 Emisiones indirectas de N₂O

Para la estimación de emisiones indirectas se empleó la ecuación 11.9 del manual (IPCC, 2006a).

Ecuación 12

$$N_2 O_{(ATD)} - N = (F_{ON} * Frac_{GASM}) * EF_4 \quad (12)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico.

Fuente: (IPCC, 2006a)

Dónde: $N_2 O_{(ATD)} - N$ corresponde a los kg N₂O-N año⁻¹ producida por la deposición atmosférica de N volatizado de suelos gestionados, F_{ON} son los kg N año⁻¹ de estiércol animal gestionado, compost y otros suplementos suministrados a los suelos, $Frac_{GASM}$ es la fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (F_{ON}) kg N volatizado (kg de N aplicado o depositado)⁻¹(Ver tabla 10), EF_4 es el factor de emisión para aporte de N por volatilización. (Ver tabla 10).

Ecuación 13

$$N_2 O_{(ATD)} - N = (F_{SN} * Frac_{GASF}) * EF_4 \quad (13)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema convencional.

Fuente: (IPCC, 2006a)

Dónde: F_{SN} son kg N año⁻¹ de N suministrado a los cultivos en forma de fertilizante sintético, $Frac_{GASF}$ es la fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH₃ y NO_x), kg N volatizado (kg de N aplicado)⁻¹(Ver tabla 7).

De la misma forma, para obtener un valor de emisiones de N₂O a partir de emisiones $N_2 O_{(ATD)} - N$ se procedió a utilizar la siguiente ecuación.

$$N_2 O_{(ATD)} = N_2 O_{(ATD)} - N * \frac{44}{28} \quad (14)$$

Nota: Ecuación utilizada para el sistema agroecológico y convencional

Fuente: (IPCC, 2006a)

Tabla 7.

Factor de emisión por defecto para estimar las emisiones indirectas de N₂O por volatilización.

Factor de emisión	Descripción	Valor por defecto
EF_4	Factor de emisión para aportes de N por volatilización kg N ₂ O–N (kg NH ₃ –N + NO _x – N).	0,010
$Frac_{GASM}$	Factor de emisión de N por volatilización de todos los fertilizantes orgánicos suministrados al suelo. (kg NH ₃ –N + NO _x – N) (kg de N aplicado o depositado) ⁻¹	0,20
$Frac_{GASF}$	Factor de emisión de N por volatilización de fertilizantes sintéticos. (kg NH ₃ –N + NO _x – N) (kg de N aplicado) ⁻¹	0,10

Fuente: (IPCC, 2006a)

4.3.3 Emisiones de CO₂ por encalado.

El presente estudio contó con un productor agroecológico (P4), que suministra cal para mejorar el crecimiento de sus cultivos. La aplicación de este compuesto, conduce a la generación de emisiones de C₂O, por lo cual se empleó la siguiente ecuación:

$$CO_2 - C = (M_{Caliza} * EF_{Caliza}) \quad (15)$$

Fuente: (IPCC, 2006a)

Dónde: $CO_2 - C$ corresponde a las toneladas C año⁻¹ emitidas por el suministro de cal a cultivos, M_{Caliza} representa la cantidad de piedra caliza cálcica (CaCO₃) anual en toneladas año⁻¹, EF_{Caliza} es el factor de emisión para la piedra caliza, ton de C.

Finalmente, para obtener un valor en emisiones de CO₂ a partir de emisiones $CO_2 - C$ se procedió a utilizar la siguiente ecuación.

$$CO_2 = CO_2 - C * \frac{44}{12} \quad (16)$$

Fuente: (IPCC, 2006a)

4.3.4 Transformación de emisiones de (N₂O) a emisiones de (CO₂ eq).

En definitiva, se empleó el potencial de calentamiento global GWP del óxido nitroso (N₂O) para calcular las emisiones de CO₂ equivalente a partir de la sumatoria de las emisiones directas e indirectas de N₂O calculadas previamente.

$$Emisiones (N_2O) = Emisiones Directas (N_2O) + Emisiones Indirectas (N_2O) \quad (17)$$

Fuente: (FAO, 2015)

$$Emisiones (CO_2 eq) = Emisiones (N_2O) * GWP \quad (18) \text{ (ver tabla 8)}$$

Fuente: (FAO, 2015)

Tabla 8.

Potencial de Calentamiento Global (GWP) para los principales GEI.

GEI	GWP
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1
Metano (CH ₄)	25
Óxido Nitroso (N ₂ O)	298

Fuente: (BID, 2013)

4.3.5 Unidad funcional.

Los cálculos efectuados para HC se expresan por kg de producto por lo cual se empleó la ecuación 19:

$$Emisiones de GEI = \frac{\frac{Kg \text{ de } CO_2 \text{ eq}}{ha \cdot \text{año}}}{\frac{Kg \text{ de producto}}{ha \cdot \text{año}}} = \frac{Kg \text{ de } CO_2 \text{ eq}}{Kg \text{ de producto}} \quad (19)$$

Fuente: (Centro de Comercio Internacional [ITC], 2012)

4.3.6 Emisiones de CO₂ eq generadas por el empleo de fertilizantes

Para la estimación de emisiones por el empleo de fertilizantes se aplicó las herramientas de cálculo (factores de emisión) descrito por BioGrace, utilizando la ecuación 20.

$$kg \text{ de } CO_2 \text{ eq} = Cantidad \text{ de nutrientes disponibles en el fertilizante} * \\ Factor \text{ de emisión} \quad (20) \text{ (Ver tabla 8)}$$

4.3.7 Emisiones de CO₂ eq generadas por el empleo de plaguicidas.

Este apartado corresponde únicamente al cálculo de emisiones CO₂ eq por empleo de plaguicidas para el SC, puesto que el SA emplea productos preparados naturalmente. Actualmente no se disponen de factores de emisión para dichos productos naturales. La ecuación utilizada en esta sección corresponde a:

$$kg \text{ de CO}_2 \text{ eq} = kg/kg \text{ de plaguicida aplicado} * \text{Factor de emisión (21)} \text{ (Ver tabla 8)}$$

Tabla 9.

Factores de emisión para fertilizantes y plaguicidas

Nutrientes	Factor de emisión (kg CO₂ eq/kg)
N total	1,30
P ₂ O ₅	0,20
K ₂ O	0,20
Plaguicidas	Factor de emisión (kg CO₂ eq/kg)
Insecticidas	5,1
Fungicidas	3,9

Nota: Los factores de emisión para plaguicidas que se muestran en la tabla 9, fueron utilizados únicamente para el sistema agrícola convencional.

Fuente: (Pishgar, Ghahderijani, & Sefeedpari, 2012).

4.3.8 Emisiones de CO₂ equivalente por uso de combustibles.

Para el cálculo de emisiones de CO₂ generadas por el empleo de combustibles (gasolina, diésel), se siguió las directrices descritas en manual IPCC (2006), capítulo 1 y 3. El método a emplearse es de Nivel 1, escogido según las características del estudio.

Conforme a las especificaciones del estudio se escogió la categoría transporte todo terreno, que hace referencia al uso de maquinaria agrícola y equipos utilizados para la aplicación de productos sintéticos como son las bombas de aspersión. En relación a la información recopilada en campo, solo un productor agroecológico (P2) hace uso de

maquinaria agrícola, mientras que el productor convencional (P5) emplea maquinaria agrícola y bombas de aspersión a motor.

Por ende, se empleó la ecuación 22 para estimar las emisiones de GEI por consumo de combustibles.

$$Emisiones = \sum_j (Combustible\ j * EF_j) \quad (22)$$

Fuente: (IPCC, 2006b)

Dónde: *Emisiones* corresponde a los (kg) de CO₂ emitidos a la atmósfera, *Combustible j* son los (TJ) de combustible consumido, y finalmente *EF_j* representa al factor de emisión (kg/TJ).

Por lo tanto, para calcular la variable *Combustible j*, se partió de la ecuación de la densidad donde se obtiene el valor de masa (m) a partir de valores conocidos, la densidad se presenta en la tabla 10 según el tipo de combustible a emplear, mientras el valor de volumen corresponde a los m³ de combustible (diésel/gasolina) que se emplea en maquinaria o equipos agrícolas.

Tabla 10.

Densidad específica según el tipo de combustible.

Tipo de Combustible	Densidad (kg/m³)
Diésel Oíl	832
Gasolina para motores	745

Fuente: (BioGrace, 2011)

ESQUEMA GEOGRÁFICO PARA EL CÁLCULO DE EMISIONES DE (CO₂) (CH₄) (N₂O).

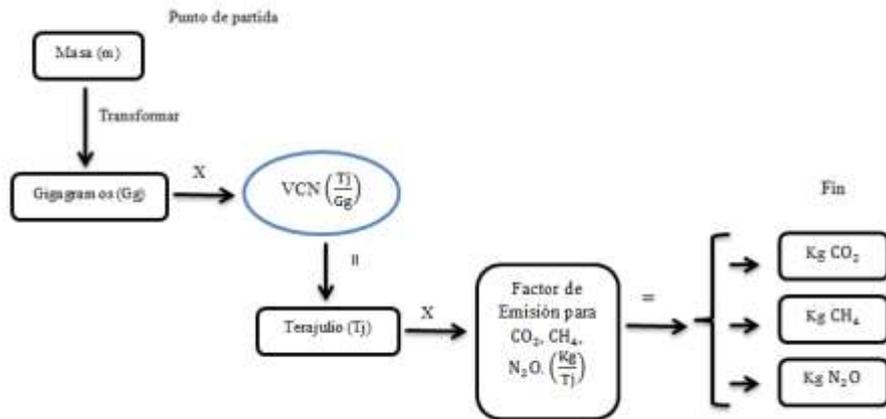


Figura 3. Metodología aplicable para el cálculo de la variable *Combustible j*, a partir de los kg de combustible consumido.
 Nota: Utilizar los valores que se muestran en la Tabla 11 para VCN, y Tabla 12 para los factores de emisión, según sea el caso.
 Elaborado por: N. Yandún.

Tabla 11.

Valor Calórico Neto (VCN) por defecto y límites inferior y superior, según el tipo de combustible a emplearse.

Tipo de Combustible	Valor calórico Neto (VCN) (TJ/Gg)	Inferior	Superior
Diésel Oil	43	41,4	43,3
Gasolina para motores	44,3	42,5	44,8

Fuente: (IPCC, 2006c)

Tabla 12.

Factores de emisión por defecto para fuentes de consumo de diésel y gasolina.

GEI	Diésel	Factores por defecto gasolina (motores de dos tiempos).	Unidades
Dióxido de Carbono (CO ₂)	74100	69300	kg/TJ
Metano (CH ₄)	28,6	0,4	kg/TJ
Óxido Nitroso (N ₂ O)	4,15	140	kg/TJ

Fuente: (IPCC, 2006b)

Finalmente, para el cálculo de emisiones de CO₂eq, se multiplica los kg obtenidos de (CO₂), (CH₄), (N₂O) por su GWP. (Ver Tabla 8).

$$Total \text{ de } CO_2eq \text{ (kg)} = \text{kg de } CO_2 * 1 + \text{kg de } CH_4 * 25 + \text{kg de } N_2O * 298 \text{ (23)}$$

Fuente: (IPCC, 2006b)

4.4 Metodología para el cálculo de Huella Hídrica

Para realizar el cálculo de HH, se siguió los lineamientos descritos en la metodología que presenta The Water Footprint Assessment Manual-Setting the Global Standard (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011). Para el cálculo de las variables evapotranspiración de referencia (ET_0), requerimiento de cultivo (RAC), precipitación efectiva y evapotranspiración del cultivo (ET_c), se utilizó el software CROPWAT 8.0 de la FAO.

4.4.1 Evapotranspiración de referencia (ET_0) y precipitación efectiva.

Los valores se obtuvieron empleando el programa CROPWAT 8.0 de la FAO, donde se introdujeron todos los datos por año de: precipitación media mensual (mm), velocidad del viento (km/día), temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$), heliofanía media mensual (horas) y humedad relativa media mensual (%), datos recogidos desde los años 2005 a 2016 provenientes de la estación TOMALÓN –TABACUNDO, estación meteorológica ACTIVA seleccionada debido a la cercanía al área de investigación. Los datos de las variables climatológicas fueron proporcionados por el Instituto de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

CROPWAT 8.0 para efectuar el cálculo de ET_0 utilizó la ecuación Penman-Monteith descrita en el Manual de la FAO, que corresponde a:

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1+0,34u_2)} \quad (31)$$

Fuente: (Allen, Pereira, Raes, y Smith, 2006, p.25)

Donde: ET_0 corresponde a la evapotranspiración de referencia medida en (mm/día); Δ es la pendiente de la curva de presión de vapor ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); R_n se refiere a la radiación neta en la superficie del cultivo ($\text{MJ/ m}^2 \text{ día}$); G es el flujo del calor de suelo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$); γ es la constante psicrométrica ($\text{kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$); T es la temperatura

media del aire a 2 m de altura ($^{\circ}\text{C}$); u_2 es la velocidad del viento a 2 m de altura (m/s); y finalmente $(e_s - e_a)$ corresponde al déficit de presión de vapor (kPa) (Ver anexo 12).

En relación al cálculo de precipitación efectiva se debe asegurar que el programa CROPWAT 8.0 trabaje con la fórmula FAO/AGLW para precipitación confiable (Sandoval, 2017). (Ver anexo 13)

4.4.2 Evapotranspiración del cultivo

CROPWAT 8.0 para el cálculo de la evapotranspiración (ET_c), se utilizó la ecuación 32:

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (32)$$

Fuente: (Allen, Pereira, Raes, y Smith, 2006, p.89)

Donde: ET_c corresponde a la evapotranspiración del cultivo (mm/d); K_c es coeficiente del cultivo (adimensional) que indica la diferencia entre la evaporación y transpiración y finalmente ET_o es evapotranspiración del cultivo de referencia (mm/d).

El valor de K_c se obtuvo tomando en cuenta la metodología descrita en el Manual de la FAO (Allen, Pereira, Raes, y Smith, 2006), correspondiente a datos específicos del cultivo de papa, mientras los valores de ET_o se obtuvieron a un cálculo previo realizado por el programa partir de datos meteorológicos.

4.4.3 Datos del cultivo

Para completar la información de sección cultivo, se introdujeron al programa datos recolectados en campo correspondiente a la profundidad radicular (m) tomada en la fase inicial y media del cultivo, la altura del cultivo (m) tomada en la fase media y finalmente las fechas de siembra y cosecha del cultivo de papa. Los valores: coeficiente del cultivo (K_c), duración del cultivo por etapas, agotamiento crítico (p) y

F. respuesta rendimiento corresponden a valores por defecto que proporciona el programa y son tomados del Manual de la FAO (Allen, Pereira, Raes, y Smith, 2006).

4.4.4 Datos del tipo de suelo del cultivo

El programa CROPWAT 8.0 proporciona toda la información por defecto correspondiente a: humedad del suelo total (mm/m), tasa máxima de infiltración de la precipitación (mm/día), profundidad radicular máxima (cm), agotamiento inicial de humedad del suelo (%), humedad del suelo inicialmente disponible (mm/m) dependiendo del tipo de suelo del cultivo de papa.

4.4.5 Requerimiento de agua de cultivo

El requerimiento de agua de cultivo (RAC) se desglosa en tres parámetros, el RAC verde (agua lluvia), RAC azul (agua de riego) y RAC gris (agua resultante del empleo de productos químicos). El RAC considera 4 fases: inicial, desarrollo, medio y final (Allen, Pereira, Raes, y Smith, 2006). Finalmente, la variable fue calculada por CROPWAT 8.0 (Ver anexo 16).

4.4.6 Rendimiento productivo

Para el cálculo del rendimiento productivo (Y), los datos fueron recolectados en campo durante la fase de cosecha para lo cual se aplica la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{CC}{S} \quad (33)$$

Fuente: (Sandoval, 2017)

Donde: Y corresponde al rendimiento productivo expresado en ton/área del cultivo, CC son las toneladas de producto cosechado y S es el área del cultivo.

4.4.7 Huella Hídrica Agrícola

La metodología descrita en el manual de la WFN, señala que el cálculo de HHA se obtiene aplicando la siguiente ecuación:

$$HHA = HH \text{ verde} + HH \text{ azul} + HH \text{ gris} \quad (34)$$

Fuente: (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, y Mekonnen, 2011, p.40)

El componente de HH gris se calcula únicamente para el SC ya que como su definición indica, se considera este parámetro cuando existe consumo de agua que ha sido contaminada por el empleo de productos químicos (fertilizantes y plaguicidas).

4.5.7.1 Huella verde

Dentro del cálculo de Huella verde se aplicó la ecuación:

$$HH \text{ verde} = \frac{RAC \text{ verde}}{Y} \left(\frac{m^3}{ton} \right) \quad (35)$$

Fuente: (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, y Mekonnen, 2011)

Dónde: RAC verde corresponde al requerimiento de agua del cultivo por consumo de agua lluvia expresado en $m^3/\text{área}$ y Y es el rendimiento del cultivo expresado en $\text{ton}/\text{área}$.

4.5.7.2 Huella azul

Dentro del cálculo de Huella azul se aplicó la ecuación:

$$HH \text{ azul} = \frac{RAC \text{ azul}}{Y} \left(\frac{m^3}{ton} \right) \quad (36)$$

Fuente: (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, y Mekonnen, 2011)

Dónde: RAC azul corresponde al requerimiento de agua del cultivo por consumo de agua proveniente de sistemas de riego expresado en $m^3/\text{área}$.

4.5.7.3 Huella gris

Dentro del cálculo de Huella gris se aplicó la ecuación:

$$HH \text{ gris} = \frac{\frac{(\alpha * AR)}{(C_{max} - C_{nat})}}{Y} \left(\frac{m^3}{ton} \right) \quad (37)$$

Fuente: (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, y Mekonnen, 2011)

Dónde: α corresponde a la fracción de lixiviación y escorrentía, AR es la cantidad de productos químicos adicionados (kg/ha), C_{max} es la concentración máxima aceptable (kg/m^3) y C_{nat} es la concentración natural (kg/m^3).

4.5 Diagrama de flujo para el sistema agroecológico y convencional

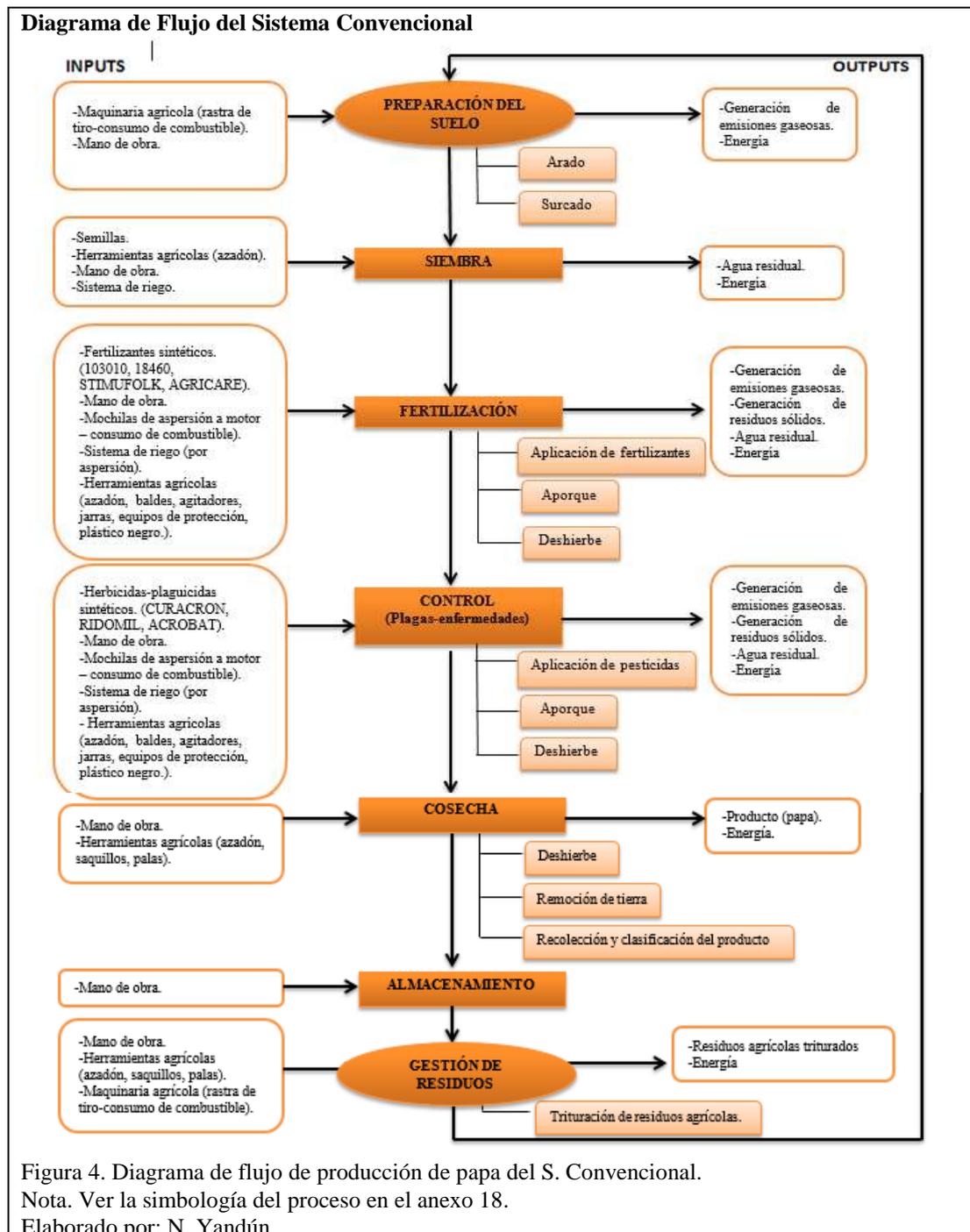


Diagrama de Flujo del Sistema Agroecológico

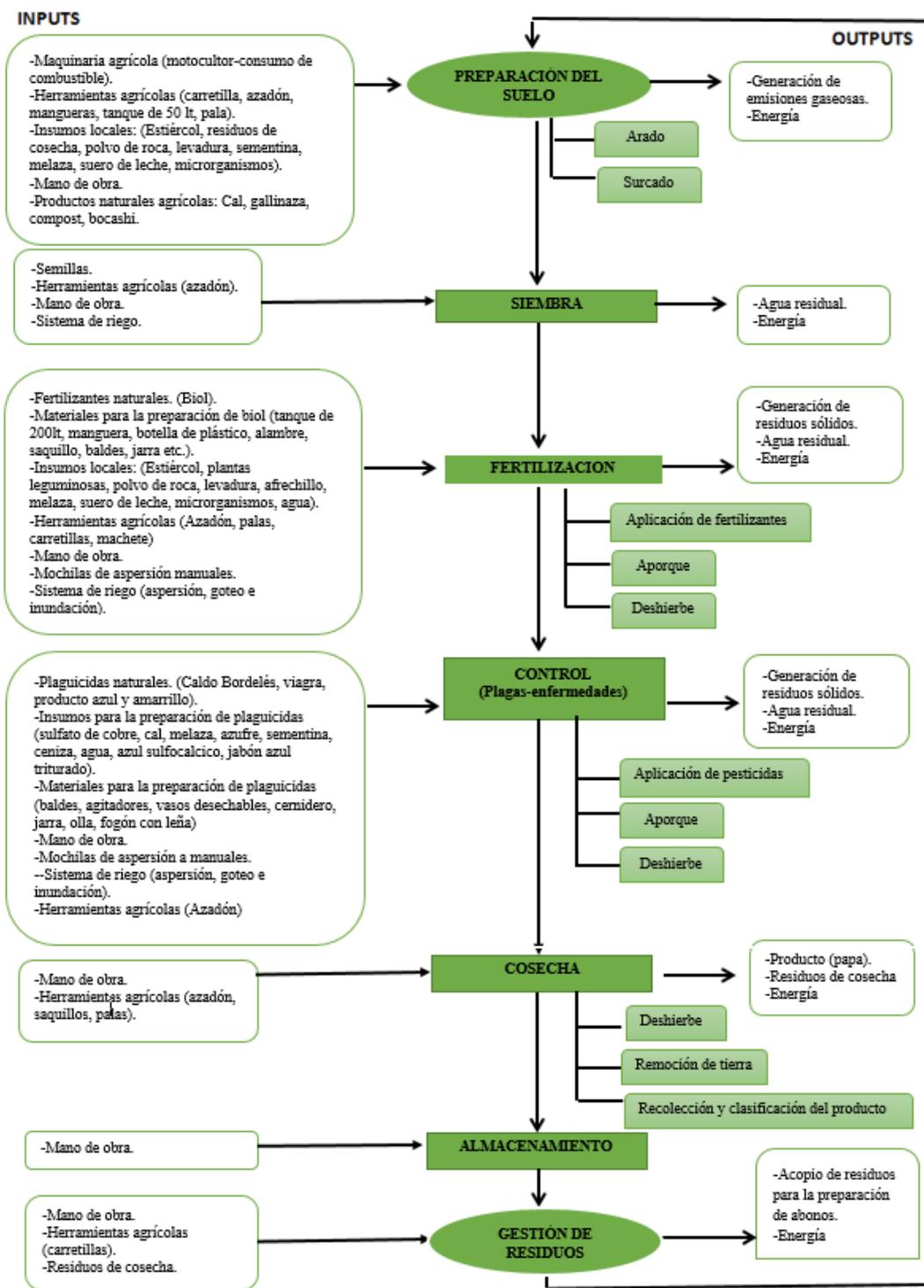


Figura 5. Diagrama de flujo de producción de papa del S. Agroecológico

Nota: El diagrama presentado permite dar una guía del sistema, ya que se consideró generar una recopilación de la información proporcionada por los cuatro cultivos. Su simbología se presenta en el anexo 18.

Elaborado por: N. Yandún

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Fase de campo: levantamiento de información

Para el área de estudio, se trabajó en la provincia de Pichincha, cantón Pedro Moncayo en las parroquias La Esperanza y Tabacundo, con el apoyo de la asociación del Buen Vivir donde se establecieron cuatro cultivos de papa: P1, P2, P3, P4 para el SA, mientras que para el SC se trabajó con un productor de la zona al cual se lo identificó como P5 como se muestra en la tabla 13, el mismo que facilitó la apertura para realizar la investigación.

Tabla 13.

Especificaciones de cada productor agroecológico y convencional

Codificación de productores por parcela.	Tipo de Cultivo	Superficie (m²)	Ubicación
P1	Agroecológico	116	La Esperanza, Cantón Pedro Moncayo, Provincia Pichincha.
P2	Agroecológico	13.17	Tabacundo, Cantón Pedro Moncayo, Provincia Pichincha.
P3	Agroecológico	69.9	Tabacundo, Cantón Pedro Moncayo, Provincia Pichincha.
P4	Agroecológico	88.2	Tabacundo, Cantón Pedro Moncayo, Provincia Pichincha.
P5	Convencional	10 000	Tabacundo, Cantón Pedro Moncayo, Provincia Pichincha.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

5.2 Fase de laboratorio

5.2.1 Resultados físico-químicos para suelo

Los parámetros físico-químicos analizados para suelo corresponden a: textura, densidad aparente (DA), pH, conductividad eléctrica (CE) y materia orgánica (MO).

Tabla 14.

Resultados de parámetros físicos-químicos analizados para suelo.

Parámetro analizado	Unidad	Agroecológico (SA)				X(SA)	Convencional (SC)
		P1	P2	P3	P4		P5
pH	7,45	7,35	7,82	6,88	7,38	6,61
Densidad aparente	gr/cm	0,48	0,29	0,30	0,16	0,31	0,46
Materia orgánica	%	1,97	1,46	1,57	3,48	2,12	4,34
Conductividad eléctrica	dS/m	0,14	0,35	0,50	0,13	0,28	0,55
Arena	%	75,64	69,64	73,64	77,64	---	69,64
Limo	%	18	20	22	14	---	24
Arcilla	%	6,36	10,36	4,36	8,36	---	6,36
Clase textural	FA	FA	FA	FA	---	Franco Arenoso

Nota: Los valores presentados en la tabla corresponden a los parámetros físico-químicos analizados en suelo en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana SEDE Cayambe y muestran los resultados para cada productor tanto para el SA como para el SC. X(SA) corresponde a un promedio efectuado para los 4 cultivos agroecológicos.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

Según la Guía Técnica de Orientación al productor, el suelo adquiere una condición ideal de fertilidad cuando es: de textura media (franco arenoso) y con altas concentraciones de materia orgánica (MO) que favorecer la circulación del aire y el almacenamiento de agua además de presentar una estructura porosa y un pH neutro (Noriega, 2011). Conforme a lo mencionado se puede corroborar que los resultados presentados en la tabla 14 cumplen con las condiciones señaladas.

En cuanto al contenido de MO para el SA es 2,12%, mientras para el SC es 4,34%. De acuerdo a Andrades y Martínez (2014), los resultados de ambos sistemas se encuentran en un rango adecuado de MO cuya clasificación corresponde a alto y muy alto según la tabla 15, el valor presentado para el SC se atribuye a la aplicación de una gran cantidad de agroquímicos que incrementa la fertilidad del suelo a corto plazo, es decir se requiere mayores cantidades de fertilizantes por cada ciclo productivo, mientras que el cultivo agroecológico mediante el suministro de productos orgánicos

elaborados a partir de los insumos propios del sistema garantizan aumentar la fertilidad del suelo a largo plazo, mejorando las características físicas, químicas y biológicas del suelo, sin embargo el SA presenta un contenido menor de MO ya que los productores de la presente investigación se encuentran actualmente en un proceso de capacitación con respecto a la elaboración y suministro adecuado de fertilizantes naturales con las cantidades necesarias de nutrientes para sus cultivos.

Tabla 15.

Concentraciones óptimas de MO en función a la clase textual

Franco	Arenoso	Clasificación
<1,0	<0,7	Muy bajo
1,0-1,5	0,7-1,2	Bajo
1,5-2,0	1,2-1,7	Normal
2,0-2,5	1,7-2,2	Alto
>2,5	>2,2	Muy alto

Fuente: (Andrades y Martínez, 2014)

En relación a la densidad aparente (DA), Lutens y Salazar (2000) en función a la clase textual (franco arenoso) menciona, que los valores ideales para suelos de cultivos se encuentran bajo a 1.40 g/cm³ esto indica que los suelos estudiados presentan una excelente estructura que permite el desarrollo y crecimiento adecuado de las raíces. De igual forma los resultados de pH óptimo para suelos agrícolas, de acuerdo al MAGAP se encuentran dentro del rango $6,6 \leq \text{pH} \leq 7,5$, en efecto los cultivos presentan las condiciones adecuadas para la asimilación de nutrientes y el desarrollo de las plantas (Suquilanda, 2017). Por otro lado, según Andrades y Martínez (2014) los cultivos agroecológicos presentan una CE no salina en concordancia a sus resultados de 0,28 dS/m, mientras que el cultivo convencional muestra una CE de 0,55 dS/m, es decir, su suelo es ligeramente salino. Barbaro, Karlanian y Mata (s.f.) señala que un incremento en la CE puede deberse, al empleo de fertilizantes insolubles o al suministro de cantidades excesivas de fertilizantes químicos a las absorbidas o lixiviadas por el cultivo, razón por la cual el valor presentado de CE para el cultivo convencional es

mayor como consecuencia al empleo de agroquímicos, los mismos autores señalan que mientras más bajo sean los valores (menor a 1 dS/m) mayor es la fertilidad que presenta el suelo.

5.2.2 Resultados físico- químicos para agua de riego

Los parámetros analizados en agua de riego son: cloruros, pH, conductividad eléctrica (CE) y sólidos suspendidos totales (SST).

Tabla 16.

Resultados de parámetros físicos-químicos analizados en agua de riego.

Parámetro analizado	Unidad	Agroecológico (SA)				X(SA)	Convencional (SC)
		P1	P2	P3	P4		
pH	-----	7,81	8,20	7,12	7,48	7,65	7,9
CE	milimhos/cm	0,15	0,15	0,20	0,21	0,18	0,15

Nota: Los valores presentados en la tabla corresponden a los parámetros físico-químicos analizados en suelo en el laboratorio de la Universidad Politécnica Salesiana SEDE Cayambe y muestran los resultados para cada productor tanto para el SA como para el SC. X(SA) corresponde a un promedio efectuado para los 4 cultivos agroecológicos.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

Tabla 17.

Resultados de parámetros físicos-químicos analizados en agua de riego.

Parámetro analizado	Unidad	Agroecológico (SA)				X (SA)	Convencional (SC)
		P1	P2	P3	P4		
Cloruros	meq/l	0,37	0,37	0,50	0,46	0,43	0,48
Sólidos suspendidos totales	mg/l	2	3	21	125	37,75	10

Nota: Los valores presentados en la tabla corresponden a los parámetros físico-químicos analizados en suelo por el laboratorio certificado AGROCALIDAD y muestran los resultados para cada productor tanto para el SA como para el SC. X(SA) corresponde a un promedio efectuado para los 4 cultivos agroecológicos.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

Según el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente (TULAS), los resultados presentados en las tablas 16 y 17 se encuentran dentro de los límites máximos permisibles para pH, conductividad eléctrica y cloruros (Ver tabla 18) (TULAS, 2003). De esta forma se corrobora que los resultados obtenidos en la

presente investigación para ambos sistemas con relación al uso de agua agrícola presentan las condiciones adecuadas para su uso.

Tabla 18.

Criterios de calidad admisibles para aguas de uso agrícola.

Parámetro	Unidades		Grado de restricción			Fuente
			Ligero	Moderado	Severo	
Conductividad eléctrica	Milimhos/cm	---	0,7	3	>3	TULAS
Cloruros	meq/l	---	3	10	>10	TULAS
pH	Rango normal	6,5-8,4				TULAS
Sólidos suspendidos totales (SST)	Rango aceptable	< 50mg/l				FAO

Fuente: (TULAS, 2003)(Digesa, 2008).

Elaborado por: N. Yandún, 2017

Finalmente, en relación al parámetro SST, los resultados reportan 37,75 mg/l en el agua de riego utilizado por el SA frente al SC que tiene 10 mg/l, a pesar de encontrarse valores dentro de los límites permisibles (< 50mg/l) expuestos por la FAO (Ver tabla 18), es relevante mencionar según lo observado en campo, que los resultados presentados para el SA son mayores como consecuencia a la disponibilidad de canales de riego rústicos que facilitan la contaminación del recurso por partículas presentes en la zona. Las partículas suspendidas en el agua favorecen a la adhesión de metales pesados, compuestos tóxicos y pesticidas (Digesa, 2008). Conforme a lo mencionado los compuestos resultantes de las florícolas pueden ser capturados por las partículas suspendidas presentes en el agua de riego generando riesgos potenciales de contaminación del recurso hídrico y por consiguiente a los cultivos debido a su uso ya que habitualmente las florícolas se encuentran aledañas a los cultivos agroecológicos.

5.2.3 Resultados de análisis de plaguicidas en suelo, agua y producto.

Tabla 19.

Resultados de plaguicidas analizados en suelo, agua de riego y producto (papa) para el Sistema Agroecológico.

Tipo de plaguicida	Método empleado	Unidad	Suelo				Agua de riego			Producto (papa)	
			P1	P2	P3	P4	P1	P2	P3	P4	P1
Organoclorados	EPA 8081 A	mg/kg	<	<	<	<	<	<	<	< 0,000002	< 0,001
	Modificado/Cromatografía de gases con detector selectivo de masas.		0,001	0,001	0,001	0,001	0,000002	0,000002	0,000002		
Organofosforados	EPA 8141 A	mg/kg	<	<	<	<	<0,00002	<0,00002	< 0,00002	< 0,00002	< 0,002
	Modificado/Cromatografía de gases con detector selectivo de masas.		0,002	0,002	0,002	0,002					
Piretrinas	EPA 1699	mg/kg	<	<	<	<	<0,00008	<0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,008
	Modificado/Cromatografía de gases con MSD.		0,008	0,008	0,008	0,008					
Piretroides	EPA 1699	mg/kg	<	<	<	<	< 0,00008	<0,00008	< 0,00008	< 0,00008	< 0,008
	Modificado/Cromatografía de gases con MSD.		0,008	0,008	0,008	0,008					
Ditiocarbamatos	ME.Q.141	mg/kg	<	<	<	<	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	---
	Modificado/UV-VIS Desarrollo de CS2		0,001	0,001	0,001	0,001					

Nota: Los valores presentados en la tabla corresponden a análisis realizados en suelo, agua de riego y producto (papa), para determinar la presencia de plaguicidas, análisis elaborados por el laboratorio certificado LABOLAB y muestran los resultados para cada productor agroecológico.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

Según los resultados emitidos por el laboratorio certificado LABOLAB, las muestras de suelo, agua de riego y producto analizadas para los cuatro cultivos agroecológicos no presentan residuos de plaguicidas.

Tabla 20.

Resultados de plaguicidas analizados en suelo, agua de riego y producto (papa) para el Sistema Convencional.

Tipo de plaguicida	Método empleado	Unidad	Suelo P5	Agua de riego P5	Producto (papa) P5
Organoclorados	EPA 8081 A Modificado/Cromatografía de gases con detector selectivo de masas.	mg/kg	< 0,001	< 0,00001	< 0,01
Organofosforados	EPA 8141 A Modificado/Cromatografía de gases con detector selectivo de masas.	mg/kg	< 0,002	< 0,0001	< 0,02
Piretrinas	EPA 1699 Modificado/Cromatografía de gases con MSD.	mg/kg	< 0,008	< 0,00008	< 0,08
Piretroides	EPA 1699 Modificado/Cromatografía de gases con MSD.	mg/kg	< 0,008	< 0,00008	< 0,08
Ditiocarbamatos	ME.Q.141 Modificado/UV-VIS Desarrollo de CS2	mg/kg	< 0,001	< 0,00003	< 0,01

Nota: Los valores presentados en la tabla corresponden a análisis realizados en suelo, agua de riego y producto (papa), para determinar la presencia de plaguicidas, análisis elaborados por el laboratorio certificado LABOLAB y muestran los resultados para el SC.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

Según los resultados emitidos por el laboratorio certificado LABOLAB, las muestras de suelo, agua de riego y producto analizadas para el cultivo convencional no presentan residuos de plaguicidas.

5.3 Resultados de Huella de Carbono (emisiones de GEI)

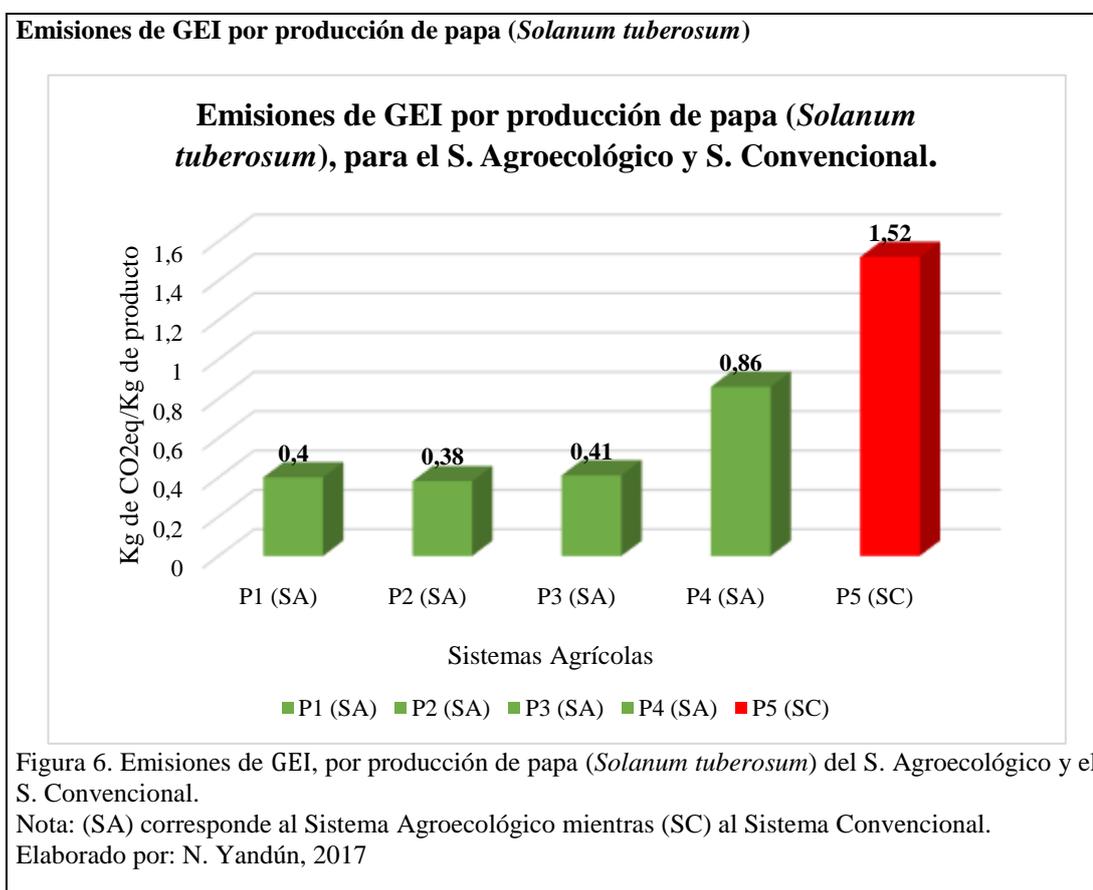
Tabla 21.

Resultados de Huella de Carbono para el S. Agroecológico y S. Convencional.

Insumos: inputs- entradas	P1		P2		P3		P4		X (CA)	kgCO ₂ Eq	P5
	kgCO ₂ eq	gCO ₂ eq/kg de papa	kgCO ₂ eq	gCO ₂ eq/kg de papa)	kgCO ₂ eq	gCO ₂ eq/kg de papa	kgCO ₂ eq	gCO ₂ eq/kg de papa	gCO ₂ eq/kg de papa		gCO ₂ eq/kg de papa
Combustibles (diésel- gasolina)	0	0	0,67	14,82	0	0	0	0	3,71	507,78	37,32
GEI fertilizantes (producción)	7,36	18,02	0,07	1,54	0,82	4,51	1,61	11,84	8,98	275,88	20,28
GEI fertilizantes (uso)	20,28	49,68	0,25	5,48	2,38	13,13	4,65	34,18	25,62	727,34	53,46
Encalado (cal)	0	0	0	0	0	0	3,55	26,14	6,54	0	0
Control fitosanitario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104,37	7,67
Respiración del suelo	134,65	329,89	16,03	353,40	71,36	393,36	107,09	787,41	466,02	19092,25	1403,33
Total kgCO ₂ eq	162,28	397,60	17,02	375,24	74,56	411,01	116,90	859,58	510,86	20707,62	1522,06
Total kgCO₂ eq/kg d producto		0,40		0,38		0,41		0,86	0,51		1,52

Elaborado por: N. Yandún, 2017

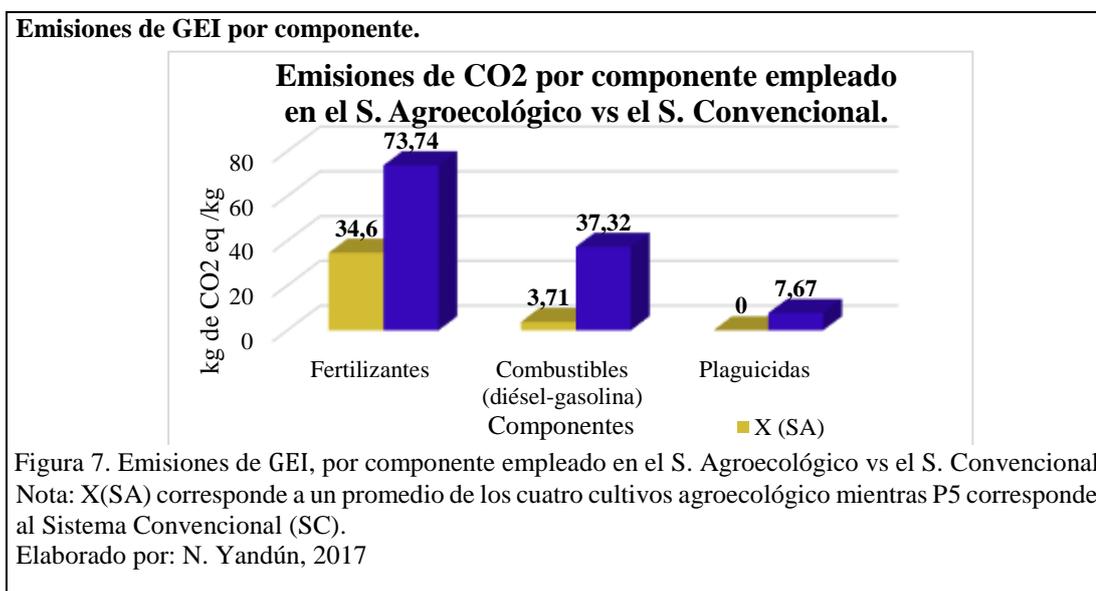
Los resultados de HC para el SA son: 0,40 kg CO₂ eq/kg (P1); 0,38 kgCO₂ eq/kg (P2); 0,41 kgCO₂ eq/kg (P3); 0,86 kgCO₂ eq/kg (P4), cuyo promedio para el SA es 0,51 kgCO₂ eq/kg en comparación a 1,52 kgCO₂ eq/kg emitido por el SC (Ver tabla 21) (Ver figura 6).



La respiración del suelo es el componente con mayor aporte de GEI para ambos sistemas agrícolas, con 1403,33 gCO₂ eq/kg para el SC frente a 466,02 gCO₂ eq/kg para el SA. Según Wale, el cultivo de papa implica la remoción de tierra a grandes profundidades por lo que es factible que aumente la tasa de respiración y por ende exista mayores emisiones de GEI (Cayambe, Iglesias, García de Jalón, Chuquillanqui, y Riga, 2015). Por lo anteriormente mencionado se justifica los resultados para el componte respiración del suelo.

El empleo de fertilizantes (uso y producción) es el segundo componente con mayor aportación de GEI con 73,74 gCO₂ eq/kg de producto para el SC, valor que se atribuye principalmente al uso de fertilizantes químicos nitrogenados frente a 34,6 g CO₂ eq/kg de producto para el SA como resultado del uso de fertilizantes orgánicos como compost, bocashi y biol (Ver figura 7). Posteriormente, las emisiones de CO₂ generadas por el consumo de combustibles se atribuyen al uso del tractor rastra de tiro y mochilas de aspersión a motor utilizadas en el SC, siendo el modelo, el principal contribuyente de emisiones de GEI con 37,32 g CO₂ eq/kg frente a 3,71 g CO₂ eq/kg para el SA (Ver figura 7), valor menor ya que solo un productor agroecológico utiliza maquinaria agrícola (P2).

Finalmente se encuentra las emisiones generadas por empleo de plaguicidas únicamente para el SC con 7,67 g CO₂ eq/kg siendo su principal empleo los insecticidas y fungicidas, mientras el SA no presenta emisiones de GEI ya que sus métodos de control fitosanitario se efectúan mediante la aplicación de plaguicidas orgánicos o biológicos, cuyo fin está destinado a controlar insectos, hongos, plagas y lancha, este último considerado como la enfermedad más destructiva del cultivo de papa.



En definitiva, la HC estimada para el sistema productivo de papa (*Solanum Tuberosum*) es de 2,03 kgCO₂ eq/kg de producto conjuntamente entre ambos sistemas agrícolas, donde la mayor aportación de GEI con un 75% (1,52 kg CO₂ eq/kg) se atribuye al SC, frente al 25% (0,51 kg CO₂ eq/kg) registrado para el SA (Ver figura 8). En relación al estudio “Evaluación económica de las estrategias de mitigación de GEI en sistemas de producción de Patata”, realizado por Cayambe, Iglesias, García de Jalón, Chuquillanqui, y Riga (2015), se pretende mediante el estudio proporcionar información que permita visibilizar el grado de contaminación que genera un SC y de esta manera se busca corroborar la información de la presente investigación. El estudio mencionado consistió en el cálculo del indicador ambiental HC utilizando el programa Cool Farm Tool-Potato para dos sistemas de producción de Patata: el primer sistema ubicado en España, investigación que se realizó en 13 cultivos intensivos mecanizados que se caracterizan por el empleo excesivo de agroquímicos; el segundo sistema se ubica en Perú, investigación realizada en 8 cultivos cuyos sistemas de laboreo son manual con sistemas de riego poco tecnificados y con un consumo relativamente bajo de agroquímicos, sus controles fitosanitarios son biológicos, esto indica que el sistema no es agroecológico sin embargo sus técnicas agrícolas se encuentran inclinadas a procesos consientes con el ambiente, los resultados de HC reportados por el estudio en función a un promedio son 96,6 kg CO₂ eq/tonelada de producto para el caso de España, mientras los cultivos en Perú aportan con 42 kg CO₂ eq/tonelada de producto, en este sentido es evidente que los sistemas altamente tecnificados, intensivos con alto consumo de agroquímicos y mecanizados generan mayor aporte de GEI que contribuyen al calentamiento global.

Emisiones de GEI por producción de papa (*Solanum tuberosum*).

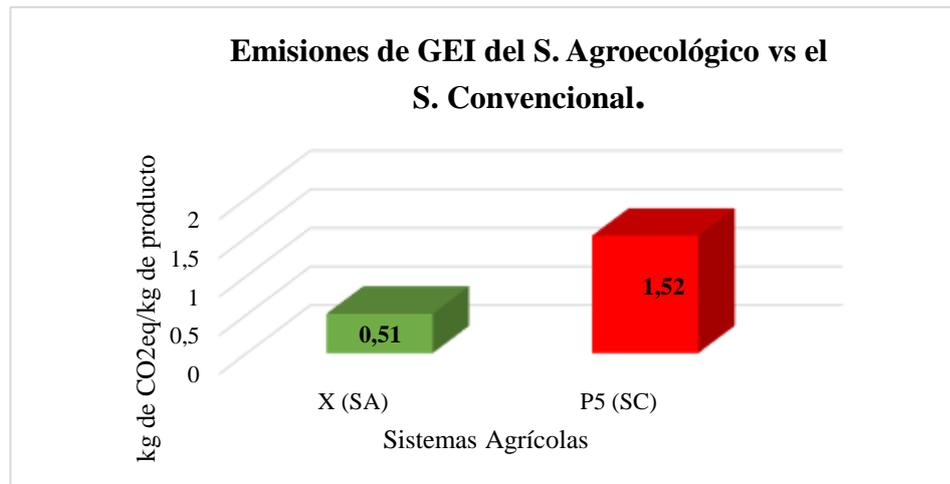


Figura 8. Emisiones de GEI, por producción de papa (*Solanum tuberosum*) del S. Agroecológico vs el S. Convencional.

Nota: X(SA) corresponde a un promedio de los cuatro cultivos agroecológico mientras (SC) al Sistema Convencional

Elaborado por: N. Yandún, 2017

La investigación “GREENHOUSE GAS EMISSIONS WITHIN THE PRODUCTION OF POTATOES IN CENTRAL EUROPE” realizado por Moudrý, Jelínková, Moudrý y Konvalina (2012), reporta los resultados de HC para dos sistemas agrícolas, por su lado el sistema convencional con 0.145 kg de CO₂ eq/kg de producto, mientras el sistema orgánico con 0,126 kg de CO₂ eq/kg de producto, en comparación con la presente investigación se demuestra que en efecto el SC contribuye con mayores emisiones de CO₂ debido al empleo de agroquímicos. Dentro del análisis es preciso tomar en cuenta que los resultados mostrados en esta sección frente a los del presente estudio, muestran una gran diferencia, en definitiva, se debe a que la estimación de HC considera las condiciones geográficas de la zona de estudio, las características propias de los cultivos, el área de las parcelas, el rendimiento productivo, las técnicas agrícolas, el tipo de insumos y productos químicos a emplearse, es decir no es recomendable comparar los resultados porque no reportan similares condiciones de producción agrícola tanto para el SC como SA.

Por otro lado, según la investigación “Determinación de la Huella de Carbono de productos agrícolas en una finca de agricultura orgánica” realizada por Roig (2017), muestra que los resultados de HC para la producción de papa es 0,021 kg de CO₂ eq/kg de producto, mientras si comparamos con los resultados de la presente investigación considerando solo los componentes (fertilizantes y combustibles) en relación al estudio de Roig, los resultados para el indicador son 0,044 kgCO₂ eq/kg (0,51 kgCO₂ eq/kg) evidenciando que la contribución de GEI atribuidos al sistema agroecológico son relativamente menores como consecuencia al empleo de técnicas de producción sustentables.

5.4 Resultados de Huella Hídrica.

5.4.1 Parámetros hídricos

Tabla 22.

Parámetros hídricos.

Componente	Unidad	Agroecológico (SA)				X(SA)	Convencional
		P1	P2	P3	P4		(SC)
Evapotranspiración de referencia (ET ₀)	mm/día	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73	4,73
Precipitación efectiva	mm/período	38,88	32,08	76,49	139,48	71,73	29,56
Evapotranspiración del cultivo (ET _c)	mm/día	644	644,59	573,91	494,55	589,26	631,66
Requerimiento de agua de cultivo (RAC)	mm/período	607,4	611,74	507,25	358,9	521,32	603,61

Nota: Los datos que se muestran en la siguiente tabla pertenecen a valores calculados por CROPWAT 8.0, para el SA y el SC, datos presentados en promedio a partir de la información proporcionada por el INAMHI correspondiente a 10 años. X(SA) corresponde a un promedio en base a los resultados obtenidos para el SA.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

La tabla 22, muestra los resultados para cada uno de los parámetros hídricos que fueron procesados por el programa CROPWAT 8.0, datos que posteriormente fueron empleados para calcular los componentes de la Huella Hídrica Agrícola (Huella verde, Huella azul y Huella gris) mediante cálculos realizados en Excel (Ver anexo 17). Para

el caso de la evapotranspiración de referencia (ET_0) sus resultados se obtuvieron en base a la información meteorológica proporcionada por el INAMHI de la estación Tomalón ubicada en la parroquia La Esperanza, cantón Pedro Moncayo, sus valores muestran un promedio a partir de información ingresada a CROPWAT 8.0 desde el año 2005 hasta el año 2016, por ende al ubicarse ambos sistemas agroalimentarios en el mismo cantón los resultados para este componente son los mismos. En cuanto al requerimiento de agua del cultivo (RAC) su cálculo consideró datos ingresados al programa manualmente como: datos de cultivo (ver tabla 23) (Ver anexo 14) y tipo de suelo (Ver anexo 15) dependiendo de cada cultivo y por consiguiente de cada sistema productivo.

Tabla 23.

Características de la estructura vegetal de papa.

Parámetro	Periodo de cultivo	Agroecológico (SA)				X (SA)	Convencional (SC)
		P1	P2	P3	P4		P5
Profundidad radicular (m)	Inicio	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
	Fin	0,50	0,20	0,18	0,25	0,28	0,20
Altura del cultivo (m)	Inicio	0	0	0	0	0	0
	Fin	0,60	0,40	0,45	0,50	0,49	0,40

Nota: X (SA) corresponde a un promedio realizado para los cuatro cultivos agroecológicos.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

5.5 Rendimiento productivo

Los rendimientos productivos para los cultivos agroecológicos y convencional son: (P1) 3,5 kg/m²; (P2) 3,4 kg/m²; (P3) 3,2 kg/m²; (P4) 2,1 kg/m²; (P5) 1,4 kg/m² respectivamente (Ver tabla 24), conforme a lo señalado las variaciones de los resultados se deben a que Y se encuentra en función de las diferentes áreas de cada cultivo, siendo el de mayor extensión el cultivo convencional seguido por los cultivos agroecológicos que disponen de áreas reducidas sin embargo su rendimiento

productivo es mayor como resultado del empleo de técnicas y prácticas agrícolas sustentables (ecológicas), evidenciando que el mayor Y corresponde al productor P1 y el menor Y al productor P5.

Tabla 24.

Rendimiento productivo

Y	Agroecológico (SA)				X (CA)	Convencional
	P1	P2	P3	P4		
kg/m ²	3,5	3,4	3,2	2,1	3,1	1,4

Nota: X (CA) corresponde a un promedio de los cuatro cultivos agroecológicos.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

5.6 Huella Hídrica Agrícola

Los resultados de Huella verde, azul y gris para cada cultivo agroecológico y convencional, se presentan en la tabla 25, valores que se encuentran en relación al volumen de agua consumida en m³ por tonelada de producto (papa-*Solanum Tuberosum*) (Ver figura 10).

Tabla 25.

Resultados de Huella verde, azul y gris para el SA y SC.

Parámetro	Unidad	Agroecológico (SA)				X (SA)	Convencional(SC)
		P1	P2	P3	P4		
Huella verde	m ³ /ton	11,05	9,32	23,58	67,81	27,94	21,73
Huella azul	m ³ /ton	172,63	177,65	156,37	0	168,88	443,58
Huella gris	m ³ /ton	0	0	0	0	0	161,72
HHA	m ³ /ton	183,68	186,97	179,95	67,81	154,60	627,03

Nota: X (SA) corresponde a un promedio en base a los resultados obtenidos para el sistema agroecológico.

Elaborado por: N. Yandún, 2017

La Huella verde del SA es 27, 94 m³/ton mientras que para el SC es 21,73 m³/ton, esta discrepancia se fundamenta a través de las observaciones en campo donde se evidenció que los productores agroecológicos suministran de agua a los cultivos por dos vías, mediante depósitos rústicos de agua cuyo fin es la captación de agua lluvia misma que es almacenada y consumida según las necesidades de los cultivos y sistemas de riego donde el recurso hídrico proviene de canales de riego instalados por

las entidades competentes del cantón. El valor presentado con mayor volumen de agua lluvia consumido corresponde al productor (P4) con 67,81 m³/ton, en efecto se debe a que el cultivo solo se abasteció del recurso hídrico por este medio. Por otro lado, los resultados presentados para el SC se atribuyen a que el sistema dispone de reservorios, recurso hídrico proveniente de canales de riego instalados por el cantón que contiene volúmenes pequeños de agua lluvia.

Asimismo la Huella azul del SA es 168,88 m³/ton en comparación a 443,58 m³/ton del SC, los resultados presentados denotan el volumen de agua consumida proveniente de sistemas de riego, siendo los principales sistemas empleados: goteo (P1); aspersión e inundación (P2); goteo (P3); no aplica (P4); aspersión (P5) de esta manera se evidencia que el SA tiene una Huella azul menor en comparación al SC ya que el consumo hídrico del SA se reduce por sistemas de riego y aumenta por el uso de agua lluvia, reflejando así valores altos de Huella verde para el SA (Ver tabla 25).

Por otra parte el SA no reporta resultados para el componente Huella gris ya que el sistema desestima el empleo de productos sintéticos por ende no se registra un volumen de agua que ha asimilado la carga contaminante de los químicos empleados, frente al SC que tiene una Huella gris de 161,72 m³/ton justamente al empleo de productos químicos como fertilizantes y plaguicidas, frente a esta realidad cabe recalcar que las actividades agrícolas bajo el uso de agroquímicos generan un riesgo de contaminación de fuentes de agua.

Huella Hídrica por componentes (Huella verde, Huella azul y Huella gris).

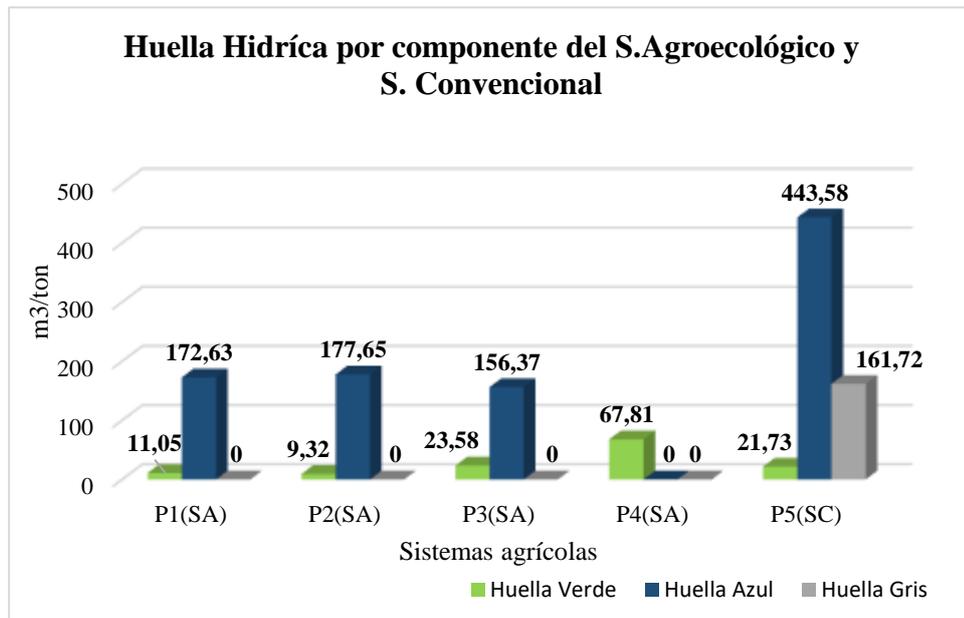


Figura 9. Huella Hídrica por componentes de los S. Agroecológico y S. Convencional
 Nota: (SA) corresponde al Sistema Agroecológico mientras (SC) al Sistema Convencional.
 Elaborado por: N. Yandún, 2017

Los resultados presentados para los tres componentes, reflejan que existe mayor Huella azul, para ambos sistemas agrícolas (Ver figura 9), en definitiva, se debe a que la zona de estudio tiene una precipitación media muy baja en comparación a otras zonas productoras de papa, por otro lado, el mayor desarrollo de los cultivos agroecológicos y convencional se efectuaron en los meses comprendidos entre junio a octubre que corresponde al periodo de verano, por ende el suministro de agua por sistemas de riego prevaleció en comparación a la dotación de agua por lluvia.

En definitiva, los resultados de Huella Hídrica Agrícola para la producción de papa conjuntamente entre ambos sistemas es de 781,63 m³/ton, con respecto a los valores se puede evidenciar que el mayor consumo del recurso hídrico procede del SC con el 80,2% (627,03m³/ton), mientras un menor consumo se registra en el SA con 19,8% (154,60 m³/ton), en efecto el SC consume 4 veces más agua que el SA por tonelada de producto (Ver figura 11).

Adicionalmente, de acuerdo a la investigación de Gestión Hídrica y Metabolismo Hídrico en la producción de papa (*Solanum tuberosum*) en Ecuador realizada por Silva (2015), los resultados exhibidos de HH a nivel nacional para el SC es de $563,77\text{m}^3/\text{ton}$, valor que no incluye el cálculo de Huella gris por falta de información, de igual forma según el reporte presentado por la WFN Mekonnen & Hoekstra (2010), el cultivo de papa a nivel mundial tiene una HH de $287\text{ m}^3/\text{ton}$, frente a estos resultados se puede corroborar que la información de HHA proporcionada en la presente investigación son comparables a los estudios, demostrando que el SC consume un volumen de agua relativamente mayor en comparación con los SA (Mekonnen & Hoekstra, 2010). Actualmente en Ecuador, no existen estudios de HH para el SA por ende mediante el presente estudio se pretende proporcionar información y dar a conocer el manejo ecológico del recurso hídrico.

Por último, conforme al estudio de HH de 14 productos agrícolas producidos en la Sierra Central y comercializados en Lima realizado por Capcha y Mejía (2015), se pretende discutir los resultados obtenidos en el estudio conforme a los resultados de la presente investigación en función del rendimiento productivo, por lo cual se escoge dos productos de igual condición con respecto a su crecimiento bajo tierra, por su parte según el estudio, la papa con un área cultivada de $22\,381,4\text{ ha}$ con un Y de $16,18\text{ ton/ha}$ requiere $4864,2\text{ m}^3/\text{ha}$ de agua, mientras que la cebolla con un área de 1502 ha con un Y de $18,95\text{ ton/ha}$ requiere $5734\text{ m}^3/\text{ha}$ de agua, en este sentido se determina que el consumo del recurso hídrico no se encuentra exclusivamente en función de la superficie cultivada, sino que depende en gran medida del tipo de producto, rendimiento productivo, sistemas de riego, técnicas agrícolas e insumos aplicados. En este contexto y en relación a la presente investigación se observa que los cultivos agroecológicos muestran mayores rendimientos productivos en áreas pequeñas (Ver

tabla 24) en comparación al cultivo convencional con mayor área, por consiguiente, el consumo hídrico es relativamente menor para el SA frente al SC.

Huella Hídrica Agrícola (HHA)

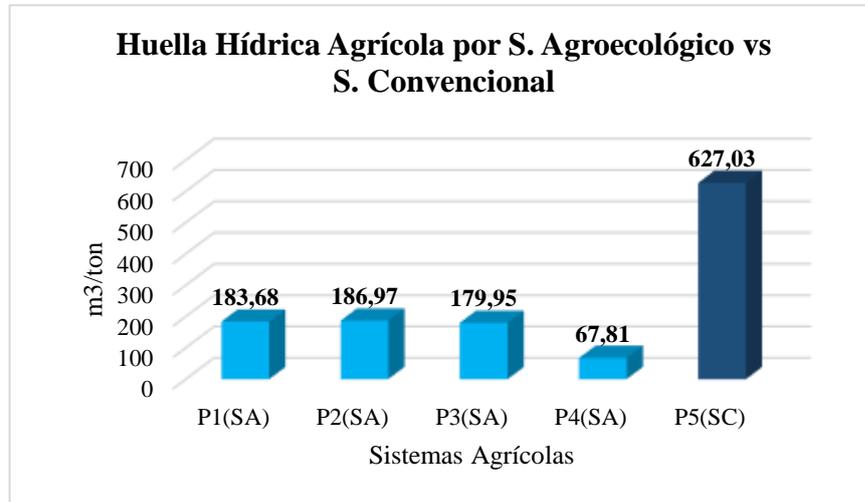


Figura 10. Huella Hídrica de los S. Agroecológicos y S. Convencional.
 Nota: (SA) corresponde al Sistema Agroecológico mientras (SC) al Sistema Convencional.
 Elaborado por: N. Yandún, 2017

Huella Hídrica Agrícola del S. Agroecológico vs el S. Convencional

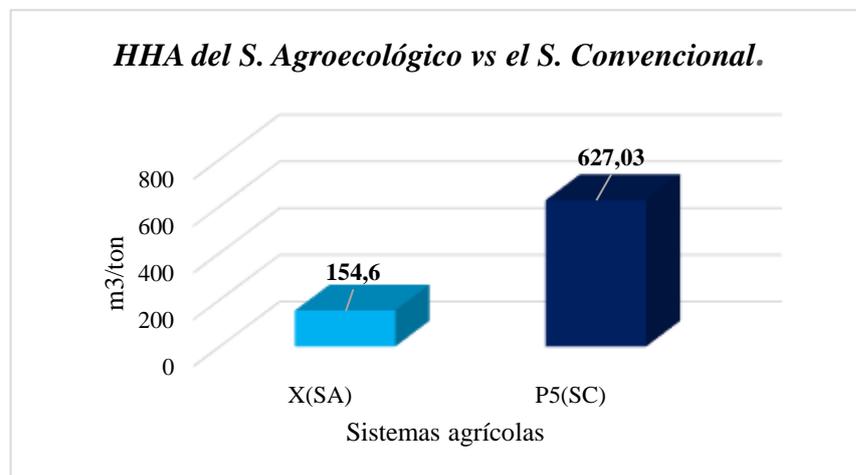


Figura 11. Huella Hídrica del S. Agroecológico vs el S. Convencional
 Nota: X(SA) corresponde a un promedio de los cuatro cultivos agroecológicos mientras (SC) al Sistema Convencional
 Elaborado por: N. Yandún, 2017

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De acuerdo al análisis de parámetros físicos-químicos efectuados en laboratorio, los resultados de suelos de ambos sistemas presentan las condiciones adecuadas de fertilidad, siendo el principal componente la MO con 2,12% para el SA frente a 4,34% para el SC, a pesar de no ser amigable con el ambiente el SC registra valores altos de MO ya que el productor convencional realiza técnicas correctas en relación al manejo de residuos vegetales que son incorporados en la fase de preparación del terreno previo a la siembra, mientras el SA presenta valores de MO menores como resultado del desconocimiento de las técnicas de elaboración y aplicación de fertilizantes orgánicos, razón por la cual actualmente los productores agroecológicos se encuentran en programas de capacitación; en relación al agua de riego los resultados de la presente investigación se encuentran dentro de los límites máximos permisibles, según la normativa ambiental TULAS por tanto el recurso presenta las condiciones adecuadas para el uso agrícola, finalmente los análisis efectuados por el laboratorio certificado LABOLAB de muestras de suelo, agua de riego y producto para ambos sistemas agrícolas no presentan trazas de plaguicidas.

En base a los resultados obtenidos se reporta que el SC es el principal contribuyente de GEI con 1,52 kg de CO₂eq/kg de producción en efecto se debe principalmente, al uso de fertilizantes sintéticos que son fundamentales para adquirir los rendimientos productivos exigidos por el modelo (monocultivo); al empleo de combustibles (diésel y gasolina) en el manejo de maquinaria agrícola y mochilas de aspersión a motor, mientras la emisión por plaguicidas se atribuye al uso de insecticidas y fungicidas este último suministrado en mayor cantidad para combatir la lancha, enfermedad devastadora del cultivo, por otro lado tenemos las emisiones generadas por el SA con 0,51 kg de CO₂eq/kg valor relativamente bajo ya que el modelo desestima el uso de

agroquímicos (fertilizantes sintéticos y plaguicidas), y los sustituye por productos orgánicos como compost, bocashi y biol, mismos que son elaborados en base a insumos propios del sistema, mediante un reciclaje de materiales de cosechas anteriores, en relación al uso de combustibles solo un productor considera el uso de maquinaria agrícola por lo cual se reporta un valor menor de emisiones.

Conforme a la Huella Hídrica, los resultados reportan un consumo del recurso de 627,03 m³/ton para el SC frente a 154,60 m³/ton para el SA, siendo la huella azul el componente que registra un mayor consumo para ambos sistemas agrícolas, en consecuencia se debe a que la zona de estudio presenta una precipitación media muy baja en comparación a otras zonas productoras de papa, de igual forma al realizarse la investigación en el periodo de verano, el suministro del recurso por sistemas de riego prevaleció, reduciendo la dotación de agua por lluvia, en relación al componente huella verde el SA presenta mejores resultados al dotar de agua a los cultivos por medio de reservorios que almacenan agua lluvia, finalmente el volumen de agua necesario para asimilar la carga contaminante de químicos denominado huella gris presenta un valor alto para el SC que se atribuye principalmente al consumo de agroquímicos.

En este sentido, el SA en función de sus resultados para ambos indicadores ambientales, se presenta como un modelo sustentable es decir sus prácticas agrícolas son ecológicas y generan menos impactos ambientales que afecten a los recursos naturales en contraposición al SC que bajo el contexto del capitalismo ha llegado a generar externalidades negativas, principalmente vinculadas a la emisión de GEI y al consumo excesivo del recurso hídrico, agotando de esta forma los recursos naturales. En base a lo mencionado se recomienda realizar investigaciones futuras que incluyan los aspectos sociales, económicos y culturales mediante metodologías conocidas, de tal forma que se muestren datos y con ello se permita sustentar la información

bibliográfica que se encuentra en la presente investigación, de la misma forma se recomienda ampliar la zona de estudio respecto a los cultivos agroecológicos, donde el análisis comparativo mediante el uso de indicadores ambientales (HC y HH) permita estimar los impactos ambientales de áreas cultivadas similares para ambos sistemas agrícolas, permitiendo la obtención de resultados con mayor representatividad.

Con respecto al rendimiento productivo, el SA presenta un Y mayor con 0,0031 ton/m² como resultado del empleo de técnicas y prácticas agrícolas sustentables (ecológicas) a pesar de disponer de áreas reducidas mientras el SC presenta un Y menor de 0,0014 ton/m², en efecto a pesar de disponer de una mayor superficie cultivada.

El presente estudio servirá como base para la ejecución de investigaciones futuras que consideren el cálculo de HC y HH en fases posteriores a la agrícola como el de procesamiento, acceso y distribución del producto considerando de esta manera la estimación de impactos ambientales de toda la cadena agroalimentaria de producción de papa.

Mediante el cálculo de los indicadores ambientales HC y HH y el empleo del análisis de ciclo de vida (ACV) se pretende proporcionar información que permita adquirir certificaciones o ecoetiquetas de productos orgánicos que garantizan el consumo de un alimento con altos estándares nutritivos y de calidad, libres de residuos de plaguicidas, fomentando el comercio del pequeño agricultor en base a cadenas de comercialización directas y justas.

7 REFERENCIAS

- AGROCALIDAD. (s.f.). *MANUAL TÉCNICO PARA USUARIO Y LABORATORIOS DE CONTROL DE CALIDAD DE FERTILIZANTES, REGISTRO Y POSTREGISTRO EN BASE A LA RESOLUCION 0068 DE AGROCALIDAD. REV. 1*. Recuperado de <http://www.agrocalidad.gob.ec/wp-content/uploads/2016/08/manual-tecnico-registro-control-fertilizantes15-08-2017.pdf>
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., y Smith, M. (2006). *Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Estudio de FAO de riego y drenaje (Vol.56)*. Roma. Recuperado de <https://riegos.files.wordpress.com/2008/03/fao56castellano-x0490s.pdf>
- Altieri, M. (2009a). Desiertos verdes: monocultivos y sus impactos sobre la biodiversidad. En M. S. Emanuelli., J. Jonsén., y S. M. Suárez. (Eds.), *Azúcar roja desiertos verdes* (pp.55-60).
- Altieri, M. (2009b). El estado del arte de la agroecología: Revisando avances y desafíos. En SOCLA. (Eds.), *Vertientes del pensamiento agroecológico: Fundamentos y Aplicaciones* (pp.70-80). Medellín, Colombia.
- Andrade, H., Bastidas, O., y Sherwood, S. (2002). LA PAPA EN ECUADOR. En INIAP. (Ed.), *El cultivo de papa en Ecuador* (pp. 21-28). Quito, Ecuador
- Andrade, H., Campo, O., y Segura, M. (2014). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Corpoica Ciencia Y Tecnología Agropecuaria VO - 15*, 15(1), 25-31. Recuperado de https://doi.org/https://www.google.com.ec/?gfe_rd=cr&ei=XZV7WPqHAs7I8Aeu4ZfoBw#q=agricultura+y+co2%2Bscielo
- Andrades, M., & Martínez, E. (2014). *FERTILIDAD DEL SUELO Y PARÁMETROS QUE LA DEFINEN*. Recuperado de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902&info=resumen&idioma=SPA>
- Andrades, M., Moliner, A., y Masaguer, A. (2015). *Prácticas de edafología : métodos didácticos para análisis de suelos*. Recuperado de <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/monografias/mdaa15.shtml>
- Arango, A., Carmona, G., y Romero, S. (2014). Análisis de ciclo de vida en el sector agrícola : el caso del municipio de Viotá , Cundinamarca (Colombia). *Ambiente y Desarrollo*, 119-122. Recuperado de <https://doi.org/10.11144/Javeriana.AyD18-35.acvs>
- Barbaro, L., Karlanian, M., y Mata, D. (s.f.). Importancia del pH y la Conductividad Eléctrica en los sustratos para plantas. *Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca*, 1–8. Recuperado de http://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-inta_-_importancia_del_ph_y_la_conductividad_elctrica.pdf
- BID. (2013). *Estrategias de mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero en el sector transporte*. Recuperado de <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/3613/Estrategias> de

mitigación y métodos para la estimación de las emisiones de gases efecto invernadero. En el sector transporte..pdf?sequence=4

- BioGrace. (2011). Biograce Complete list of standard values version public. Recuperado de <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>
- Cano, A. (2015). *MANUAL DE PRÁCTICAS DE LA MATERIA DE EDAFOLOGIA* (Vol. 2). Recuperado de <http://www.utselva.edu.mx/pai/8/7/25.1.pdf>
- Capcha, T., y Mejía, J. (2015). Huella hídrica de productos agrícolas producidos en la sierra central y comercializados en Lima. *Apuntes de Ciencia y Sociedad*, 5(1), 128–134. Recuperado de <http://journals.continental.edu.pe/index.php/apuntes/article/view/308/323>
- Cayambe, J., Iglesias, A., García de Jalón, S., Chuquillanqui, C., y Riga, P. (2015). Evaluación económica de las estrategias de mitigación de gases de efecto invernadero en sistemas de producción de patata. *Informacion Tecnica Economica Agraria*, 111(2), 154–173. Recuperado de <https://doi.org/10.12706/itea.2015.011>
- Ceccon, E. (2008). La revolución verde tragedia en dos actos. *Ciencias*, 1(91), 21-25. Recuperado de <http://www.redalyc.org/pdf/644/64411463004.pdf>
- Centro de Comercio Internacional [ITC]. (2012). *Normas De La Huella De Carbono De Productos Agrícolas*. Ginebra.
- CEPAL. (2011). *Diagnóstico de las estadísticas del agua en Ecuador*. Recuperado de <http://aplicaciones.senagua.gob.ec/servicios/descargas/archivos/download/Diagnostico de las Estadísticas del Agua Producto IIIc 2012-2.pdf>
- CEPSA. (2015). *El Cambio Climático y los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en Cepsa*. Recuperado de https://www.cepsa.es/stfls/CepsaCom/Coorp_Comp/Medio%20Ambiente_Seguridad_Calidad/Art%C3%ADculos/Dossier-Cambio-Climatico-y-GEI.pdf
- Chassoul, M. J., Marín, R., Morales, M., y Fallas, M. (2017). Cuantificación de gases de efecto invernadero en la Sede de Occidente de la Universidad de Costa Rica. *Revista Posgrado y Sociedad*, 15(1), 70-75. Recuperado de <http://investiga.uned.ac.cr/revistas/index.php/posgrado/article/view/1827/2033>
- Da Silva, V. I. (s.f.). Elementos para el debate sobre el campesinado. *Biodiversidade*, 17-21. Recuperado de <https://www.grain.org/es/article/entries/4263-elementos-para-el-debate-sobre-el-campesinado>
- Digesa. (2008). ESTÁNDARES DE CALIDAD AMBIENTAL DE AGUA. GRUPO N° 3: RIEGO DE VEGETALES Y BEBIDA DE ANIMALES OBJETIVOS. Recuperado de http://www.digesa.minsa.gob.pe/DEPA/informes_tecnicos/GRUPO DE USO 3.pdf
- Espíndola, C., y Valderrama, J. O. (2012). Huella del Carbono . Parte 1 : Conceptos , Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Información tecnológica*, 23(1), 163–165. Recuperado de <https://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>

- Etcheverría, P., y Barahona, D. (2017, junio). UNA BASE MÁS ESTABLE: EL SECUESTRO DE CARBONO EN LOS SUELOS COMO ALTERNATIVA DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. Recuperado de http://www.inia.cl/wp-content/uploads/2017/06/INIA-secuestro-de-carbono-91-MundoAgro_Jun2017.pdf
- FAO, (2008). *Las papas, la nutrición y la alimentación*. Recuperado de <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/IYP-6es.pdf>
- FAO. (2009). *Glosario de agricultura orgánica*. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/organicag/files/Glossary_on_Organic_Agriculture.pdf
- FAO. (2014). *Adaptación de la agricultura al cambio climático*. Recuperado de http://www.fao.org/fileadmin/templates/tci/pdf/backgroundnotes/webposting_S P.pdf
- FAO. (2015). *Estimación de emisiones de gases de efecto invernadero en la agricultura: Un manual para abordar los requisitos de los datos de países en desarrollo*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4260s.PDF>
- FAO. (2017). *La estrategia de la FAO sobre el Cambio Climático*. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i7175s.pdf>
- Fernández, F., Roa, T., Spendler, L., y Villarroel, A. (2006). ¿Qué tecnología para la soberanía alimentaria?. En F. Fernández. (Ed.), *Soberanía Alimentaria* (pp. 101-115). Barcelona:Icaria editorial.
- Fernández, L., Rojas, G., Roldán, T., Ramírez, M., Zegarra, H., Uribe, R., ... Arce, J. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Recuperado de <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- FLACSO, MAE, y PNUMA. (2008). 3. *Estado del agua*. Recuperado de <http://www.pnuma.org/deat1/pdf/Ecuador%20pdf/05.%20Capitulo%203.%20Estado%20del%20agua-1.pdf>
- Flores, L., y Alcalá, J. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos*. Recuperado de <http://www.geologia.unam.mx/igl/deptos/edafo/lfs/MANUAL DEL LABORATORIO DE FISICA DE SUELOS1.pdf>
- Flores, Y., Bravo, R., Lima, I., y Machaca, C. (2017). Prospección de Nematodos Fitoparasitos en cultivo de Papa (*Solanum Tuberosum* L.) de la Región Puno. *Investig Altoandin*, 19 (1), 11–15. Recuperado de <http://huajsapata.unap.edu.pe/ria/index.php/ria/article/view/251/230>
- García, X., y Fernández, F. (2006). Cooperación al desarrollo y producción agraria. Modelos de producción para la soberanía alimentaria. En F. Fernández. (Ed.), *Soberanía Alimentaria* (pp. 155-172). Barcelona:Icaria editorial.
- González, M., y Infante, J. (2010). AGROECOLOGÍA Y DECRECIMIENTO. UNA ALTERNATIVA SOSTENIBLE A LA CONFIGURACIÓN DEL ACTUAL SISTEMA AGROALIMENTARIO ESPAÑOL. *Revista de economía crítica*, 113–129. Recuperado de <http://www.revistaeconomiacritica.org/sites/default/files/revistas/n10/6.pdf>

- Guzmán, E., y León, A. (2014). Peculiaridades campesinas del Morelos rural. *Economía, Sociedad y Territorio*. 14(44), 180–186. Recuperado de <http://www.scielo.org.mx/pdf/est/v14n44/v14n44a7.pdf>
- Heinisch, C. (2011). Soberanía alimentaria: un análisis del concepto. Recuperado de https://enviromigration.files.wordpress.com/2016/02/soberania-alimentaria-un-analisis-del-concepto_heinisch1.pdf
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). The water Footprint assessment Manual: Setting the global Standard. Retrived from http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf
- Houtart, F. (2016). El desafío de la agricultura campesina para Ecuador. En F. Houtart. y M. Laforge. (Eds.), *Manifiesto para la agricultura familiar campesina e indígena en Ecuador* (pp.20-30). Quito, Ecuador: IAEN
- Ihobe S.A. (2009). *Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono. Dos maneras de medir el Impacto Ambiental de un producto*. (IHOBE S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental., Ed.), *Ihobe*. Vasco.
- INEN. (2013). *AGUA. CALIDAD DEL AGUA. MUESTREO. TÉCNICAS DE MUESTREO. NTE INEN 2176-2013*. Recuperado de https://documentop.com/agua-calidad-del-agua-muestreo-tecnicas-de-muestreo-inen_5a058d4c1723ddb81fdb3d.html
- INIAP. (2006). *MUESTREO DE SUELOS PARA ANÁLISIS QUÍMICO CON FINES AGRÍCOLAS*. Recuperado de <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Muestreo%20del%20suelos%20para%20an%C3%A1lisis%20qu%C3%ADmico%20con%20fines%20agr%C3%ADcolas..pdf>
- INTA. (2011). *Protocolo de Muestreo, Transporte y Conservación de Muestras de Agua con fines Múltiples (consumo humano, abrevado animal y riego)*. Recuperado de https://inta.gob.ar/sites/default/files/script-tmp-protocolo_de_muestreo_de_aguas_inta.pdf
- IPCC. (2006a). Capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones De CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, y K. Tanabe. (Eds.), *Directrices Del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra* (pp. 1–56). Japón: IGES
- IPCC. (2006b). Capítulo 3. Combustión Móvil. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, y K. Tanabe. (Eds.), *Directrices Del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 2. Energía* (pp. 1–78). Japón: IGES
- IPCC. (2006c). Capítulo 1.Introducción. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, y K. Tanabe. (Eds.), *Directrices Del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 2. Energía* (pp. 1–25). Japón: IGES
- León, X., y Yumbra, M. R. (2010). EL AGRONEGOCIO EN ECUADOR: EL CASO DE LA CADENA DEL MAÍZ Y LA EMPRESA PRONACA. Recuperado de

<http://www.accionecologica.org/documentos/libroagronegocio.pdf>

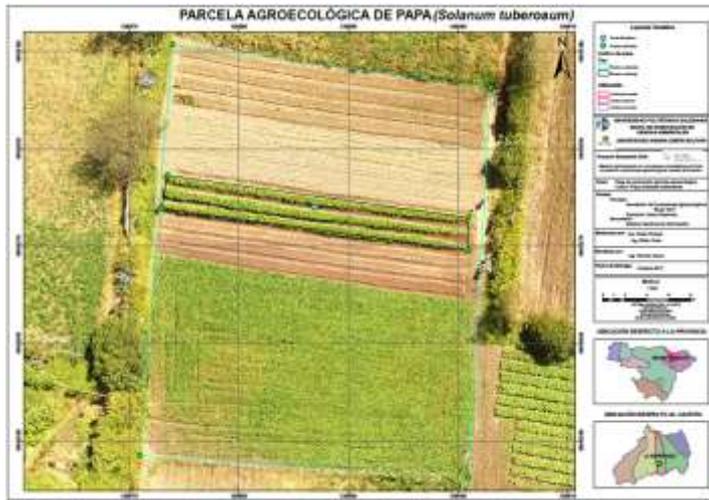
- Luters, A., y Salazar, J. C. (2000). *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del Suelo*. Recuperado de https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1044786.pdf
- MAE. (2017). *Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado de <http://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/10/TERCERA-COMUNICACION-BAJA-septiembre-20171-ilovepdf-compressed1.pdf>
- Mallma, T. (2015). “*HUELLA HÍDRICA DE LOS PRODUCTOS AGRÍCOLAS DE LA REGIÓN JUNÍN COMERCIALIZADAS EN LA CIUDAD DE LIMA*”(tesis doctoral). Recuperado de <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2166/P10-M34-T.pdf?sequence=1>
- Martín, N. (s.f.). ANÁLISIS DEL CICLO DE VIDA DE LA PRODUCCIÓN DE BIOETANOL A PARTIR DE BIOMASA LIGNOCELULÓSICA PROVENIENTE DE RESIDUOS AGRÍCOLAS. Recuperado de <http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/6045/tfm-mar-ana.pdf?sequence=1>
- Martino, D. L. (2000). Los Sumideros de Carbono en el Mecanismo de Desarrollo Limpio del Protocolo de Kioto. Recuperado de http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/publicaciones/ambiente/sumideros_carbono_kioto.pdf
- Marx, K. (1873). *El Capital*. Recuperado de <http://aristobulo.psuve.org.ve/wp-content/uploads/2008/10/marx-karl-el-capital-tomo-i1.pdf>
- Mavila, D., y Luyo, A. (2010). Dumping y medidas antidumping. *Producción y gestión*, 13 (1), 57-60. Recuperado de http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/publicaciones/indata/V13_n1/pdf/a08v13n1.pdf
- Mekonnen, M. M., y Hoekstra, A. Y. (2010). *The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products, Value of Water Research Report series No. 47*. The Netherlands. Retrieved from <https://doi.org/10.5194/hess-15-1577-2011>
- Monteros, A. (2016). RENDIMIENTOS DE PAPA EN EL ECUADOR PRIMER CICLO 2016 (diciembre-junio). Recuperado de http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_papa2016.pdf
- Morales, F. (2007). *EL IMPACTO DE LA BIOTECNOLOGÍA EN LA FORMACIÓN DE REDES INSTITUCIONALES EN EL SECTOR HORTOFRUTÍCOLA DE SINALOA, MÉXICO* (tesis doctoral). Recuperado de http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/1952/05.FMS_CAPITULO_IV.pdf
- Moudrý, J., Jelínková, Z., Moudrý, J., & Konvalina, P. (2012). GREENHOUSE GAS EMISSIONS WITHIN THE PRODUCTION OF POTATOES IN CENTRAL EUROPE. *Lucrări Științifice*, 55(2), 19-22. Recuperado de [http://www.revagrois.ro/PDF/2012-2/paper/2012-55\(2\)-2-en.pdf](http://www.revagrois.ro/PDF/2012-2/paper/2012-55(2)-2-en.pdf)

- Naranjo, N. (2015). “DESCRIPCIÓN ETOLÓGICA DE LA POLILLA DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) VARIEDAD LEONA BLANCA EN LABORATORIO. CEASA, SECTOR SALACHE, PROVINCIA DE COTOPAXI, 2015” (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/2515>
- Nicholson, P. (2006). La soberanía alimentaria como derecho de los pueblos. En F. Fernández. (Ed.), *Soberanía Alimentaria* (pp. 83-95). Barcelona: Icaria editorial.
- Noriega, V. (2011). *GUÍA TÉCNICA DE ORIENTACIÓN AL PRODUCTOR: MANEJO Y FERTILIDAD DE SUELOS. Guía técnica orientada al productor.* Recuperado de <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>
- Pishgar, S., Ghahderijani, M., & Sefeedpari, P. (2012). Energy consumption and CO₂ emissions analysis of potato production based on different farm size levels in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 33, 183–191. Retrieved from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.04.008>
- Rios, J. L., y Navarrete, C. (2017). Huella hídrica y productividad económica del agua en Nogal Pecanero (*Carya illinoensis*) al sur oeste de Coahuila, México. *Estudios de Economía Aplicada*, 35(3), 698-700. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6131526>
- Roig, M. (2017). *Determinación de la Huella de Carbono de productos agrícolas en una finca de agricultura ecológica* (tesis de pregrado). Recuperado de <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/76521/ROIG%20-%20Determinaci%C3%B3n%20de%20la%20Huella%20de%20Carbono%20de%20productos%20agr%C3%ADcolas%20en%20una%20finca%20de%20agricultura%20e....pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Rojas, A. (2009). Policultivos de la mente: enseñanzas del campesinado y de la agroecología para la educación en la sustentabilidad. En SOCLA. (Eds.), *Vertientes del pensamiento agroecológico: Fundamentos y Aplicaciones* (pp.157-182). Medellín, Colombia.
- Sandoval, E. (2017). *Estimación de la Huella Hídrica en los cultivos de quinua (*Chenopodium Quinoa*) de los cantones Cayambe y Riobamba ubicados en los Andes Ecuatorianos* (tesis de pregrado). Recuperado de <https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.39079>
- Seguí, L. A., García, D., y Guerrero, H. (2016). Huella hídrica: análisis como instrumento estratégico de gestión para el aprovechamiento eficiente de los recursos hídricos. *Ciencia Nicolaita* #69, 85–90. Recuperado de <https://www.cic.cn.umich.mx/index.php/cn/article/view/342/187>
- Silva, A. (2015). *Gestión Hídrica y Metabolismo Hídrico en la producción agrícola Ecuatoriana : análisis de la huella hídrica en el año 2010* (tesis de pregrado). Recuperado de <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/10512>
- Simón, X., Copena, D., y Rodríguez, L. (2010). CONSTRUYENDO ALTERNATIVAS AGROECOLÓGICAS AL SISTEMA AGROALIMENTARIO GLOBAL: ACCIÓN Y REACCIÓN EN EL ESTADO

- ESPAÑOL. *Revista de economía crítica*, 140-145. Recuperado de <http://revistaeconomicritica.org/sites/default/files/revistas/n10/7.pdf>
- Soto, N. (2016). *El Cultivo de la Papa* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México.
- Soto, G. (2003). Agricultura Orgánica: una herramienta para el desarrollo rural sostenible y la reducción de la pobreza. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-at738s.pdf>
- Suquilanda, M. (2017). *Manejo agroecológico de suelos. MAGAP*. Recuperado de <http://balcon.magap.gob.ec/mag01/magapaldia/libro/Manejo%20Agrocolo%C%81gico%20Suelos%20MSV.pdf>
- Texto Unificado de Legislación Secundaria [TULAS]. (2003.). *Norma De Calidad Ambiental Y De Descarga De Efluentes:Recurso Agua. #2. 2003-31-03*. Recuperado de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/ecu112180.pdf>
- Vandepitte, M. (2012). Otra economía es necesaria y posible, 1–14. Recuperado de <http://www.rebellion.org/docs/149244.pdf>
- Villacrés, N. (2014). “*EL USO DE PLAGUICIDAS QUÍMICOS EN EL CULTIVO DE PAPA (Solanum tuberosum), SU RELACIÓN CON EL MEDIO AMBIENTE Y LA SALUD*” (tesis de maestría). Recuperado de <http://repo.uta.edu.ec/bitstream/123456789/7003/1/tesis-011%20Maestr%C3%ADa%20en%20Agroecolog%C3%ADa%20y%20Ambiente%20-%20CD%20227.pdf>
- Witkamp, M., & Van Der Drift, J. (1961). BREAKDOWN OF FOREST LITTER IN RELATION TO ENVIRONMENTAL FACTORS. PLANT AND SOIL. Retrieved from https://www.jstor.org/stable/42931946?seq=1#page_scan_tab_contents
- WRI, y WBCSD. (2011). *Greenhouse Gas Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. World Resources Institute, Washington DC, USA*. Retrieved from http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/public/Product-Life-Cycle-Accounting-Reporting-Standard-EReader_041613.pdf

8 ANEXOS

Anexo 1. Ubicación del cultivo agroecológico P1.



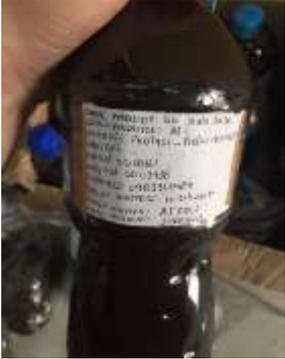
Anexo 10. Ubicación del cultivo agroecológico P2.



Anexo 19. Ubicación del cultivo agroecológico P3.



Anexo 47. Fase de campo: toma de muestras de suelo, agua, abonos, encuestas, cultivos agroecológicos, convencionales, cosechas y caracterización de residuos de cosecha.

<p>Fotografía 1. Toma de muestra de suelo en el cultivo de papa agroecológico.</p> 	<p>Fotografía 2. Toma de muestra de suelo en el cultivo de papa convencional.</p> 	<p>Fotografía 3. Muestra de suelo con etiqueta.</p> 
<p>Fotografía 4. Muestra de agua.</p> 	<p>Fotografía 5. Muestra de abono sólido.</p> 	<p>Fotografía 6. Muestra de abono líquido.</p> 
<p>Fotografía 7. Encuestas-recopilación de información.</p> 	<p>Fotografía 8. Cultivo de papa correspondiente al productor P3.</p> 	<p>Fotografía 9. Cultivo de papa correspondiente al productor P2.</p> 

<p>Fotografía 10. Cultivo de papa correspondiente al productor P5.</p> 	<p>Fotografía 11. Semillas de papa (<i>Solanum Tuberosum</i>).</p> 	<p>Fotografía 12. Cosecha de papa, cultivo agroecológico</p> 
<p>Fotografía 13. Cosecha de papa, cultivo convencional</p>  	<p>Fotografía 14. Caracterización de residuos de cosecha.</p> 	

Anexo 48. Fase de laboratorio: análisis de parámetros físico-químicos en suelo y agua de riego.

<p>Fotografía 15. Medición de conductividad eléctrica.</p> 	<p>Fotografía 16. Preparación de muestras para el análisis de materia orgánica.</p> 	<p>Fotografía 21. Titulación de materia orgánica.</p> 
---	--	---

Anexo 49. Formato de cálculo en Excel de emisiones de GEI por emisiones directas e indirectas de N₂O

N2O EMISIONES DIRECTAS APORTADO POR LOS FERTILIZANTES, USADOS EN CULTIVOS DE LA PARROQUIA DE LA ESPERANZA, CANTÓN PEDRO MONCATO		
NOMENCLATURA DE VARIABLES		UNIDADES
N2O Direct	Emisiones directas anuales de N ₂ O-N producidas a partir de sueltas que quedan	Kq N2O/año
N2O-NH ₄	Emisiones directas anuales de producción por aportes de N a sueltas que quedan	Kq N2O/año
FON	Cantidad anual de estiércol animal, compost, lodos cloacales y otras aportes de N aplicados a las sueltas.	Kq N/año
FCR	Cantidad anual de N en las residuos agrícolas (sorzos y subterráneos, incluyendo las cultivas fijadoras de N y la renovación de farrajes de artala, que se requezan a las sueltas.	Kq N/año
EF1	Factor de emisión para emisiones de N2O de aportes de N	Kq N2O-N/Kq N
FCOMP	Cantidad anual del total de N de compost aplicada a las sueltas	Kq N/año
FOOA	Cantidad anual de otros abonos orgánicos utilizados como fertilizantes	Kq N/año
FBG-BIO (T)	Relación residuos subterráneos a biomasa aérea.	
NAG(T)	Cantidad de N de los residuos aéreos del cultivo	Kq N/kq d.m.
NBG(T)	Cantidad de N de los residuos subterráneos del cultivo	Kq N/kq d.m.
SECO	Fracción de materia seca del cultivo cosechada	Kq d.m.
AGDM(T)		mg/ha
Cultiva (T)	Rendimiento anual de materia seca cosechada para el cultivo	kq d.m./ha

N2O EMISIONES INDIRECTAS APORTADO POR LOS FERTILIZANTES, USADOS EN CULTIVOS DE LA PARROQUIA DE LA ESPERANZA, CANTÓN PEDRO MONCATO		
NOMENCLATURA DE VARIABLES		UNIDADES
N2O (ATD)	Cantidad anual de N2O-N producida por deposición atmosférica de N volatilizada de sueltas que quedan	Kq N2O-N/año
Frac GASM	Fracción de material fertilizante de N orgánica (FON) y de N de urina y estiércol depositada por animales de pastoreo (FPRP)	
FON	Cantidad anual de estiércol animal que queda, compost, lodos cloacales y otros que quedan de N orgánica aplicada a las sueltas.	Kq N/año
EF 4	Factor de emisión correspondiente a las emisiones de N2O de la deposición atmosférica de N en las sueltas y en la superficie del agua [(Kq N-N2O (Kq NH ₃ -N + NO _x -N volatilizada)-1	

DATOS POR DEFECTO (IP)		DATOS DEL CULTIVO	
EF1	0,01	SECO	0,22
Declive	0,4	FCOMP	7,208
Intercept (I)	1,06	FOOA	0,0025637
NAG (T)	0,015		
NBG (T)	0,015		
FBG-BIO (T)	0,2		
Cultiva (T)	0,22		

DATOS POR DEFECTO (IPC)	
FON	7,210563725
Frac GASM	0,2
EF 4	0,01

N2O (ATD)-N	
CALCULO	0,014421127

TOTAL DE EMISIONES DE N2O		
Emisiones	kq N2O/ha	kq CO ₂ e/ha
Total de Emisiones	0,11331013	33,76641916
Emisiones indirectas	0,02266177	6,75320796
TOTAL	0,0026	46,52

CANTIDAD UNIDADES	
TOTAL Emisiones indirectas de N2O	0,0226618 kq N2O/año

AG DM (T)	
Cultiva (T)	0,22
Declive	0,4
Intercept (I)	1,06
CALCULO	0,2552

F CR	
CALCULO	0,00008

F ON	
CALCULO	7,2105637

N2O-NH4	
CALCULO	0,0721064

N2O Directas-N	
CALCULO	0,0721064

CANTIDAD UNIDADES	
TOTAL Emisiones directas de N2O	0,11331013 kq N2O/año

Anexo 11. Formato de cálculo en Excel, para la emisión de GEI generadas por insumos-entradas del cultivo de papa.

LA ESPERANZA PEDRO MONCAYO									
ENTRADAS- INPUTS			Agro-inputs GWP		EMISIONES DE GEI POR LA PRODUCCIÓN DE PAPA				
INSUMOS	CANTIDAD (Personas*Horas)	Factor de Emisión (KgCO2eq/Kg)	(KgCO2eq)	Entradas INPUT	KgCO ₂ eq	APORTACIONE S DE GEI	Emisiones (Kg CO ₂ eq)(Kg de producto)	Emisiones (g CO ₂ eq/Kg de producto)	
Trabajo (Masa de Odra)	Personas	00,20	0	Combustibles	0,00	0,00%	0,00	0,00	
INSUMOS	CANTIDAD (Kg)	Factor de Emisión (KgCO2eq/Kg)	(KgCO2eq)	Semillas de papa	0,00	0,00%	0,00	0,00	
N	0,30	0,00	0,00	GEI fertilizantes (producción)	14,70	1,00%	0,04	0,01	
Fertilizantes Orgánicos	N orgánicos	1,21	1,18	GEI fertilizantes (uso)	40,52	2,89%	0,10	0,02	
P2O5	11,80	0,10	1,60	Regeneración del suelo	1340,48	96,00%	3,50	3288,91	
K2O	4,64	0,10	1,71	TOTAL	1461,70	100,00%	3,63	3434,10	
Pesticidas Fitosanitarios	0,0000	0,00	0,00						
Combustible	Gasol	0,00	0,00						
Gasolina	0,00		0,00						
Semillas	11,87		0,00						
TOTAL			14,70						
SALEDAS- OUTPUTS									
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (Kg)								
Producto (papa)	408,10								
Residuo de cosecha Papa	60,90								

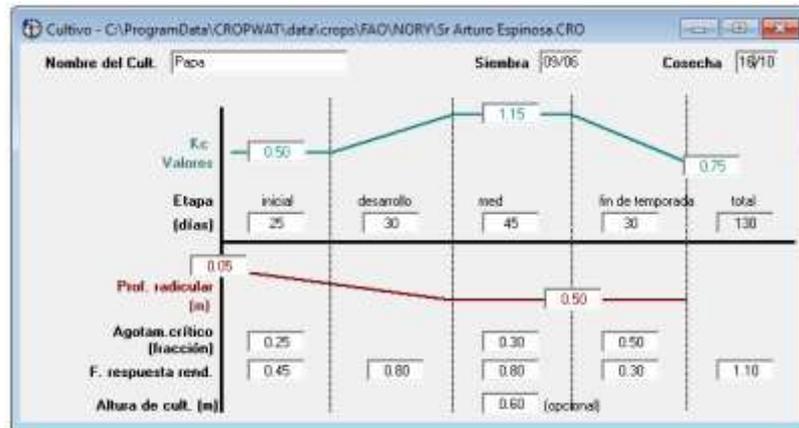
Anexo 12. Evapotranspiración de referencia (ET₀), empleo del software CROPWAT 8.0

Mez	Prom Temp	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ET ₀
	°C	%	km/día	horas	MJ/m ² /día	mm/día
Enero	16,4	74	225	12,0	27,2	4,45
Febrero	16,7	69	190	12,0	28,0	4,79
Marzo	16,1	77	138	12,0	28,4	4,64
Abril	16,0	78	147	12,0	27,5	4,43
Mayo	16,1	69	527	12,0	26,1	4,56
Junio	15,0	66	389	12,0	25,1	4,31
Julio	15,1	62	588	12,0	25,5	4,73
Agosto	16,5	52	631	12,0	26,8	5,85
Septiembre	15,8	60	449	12,0	27,9	5,18
Octubre	15,9	70	311	12,0	28,0	4,67
Noviembre	16,0	68	354	12,0	27,2	4,68
Diciembre	15,2	73	251	12,0	26,7	4,26
Promedio	15,9	68	350	12,0	27,0	4,71

Anexo 13. Precipitación efectiva, empleo del software CROPWAT 8.0

	Precipit.	Prec. efec
	mm	mm
Enero	60,8	26,5
Febrero	6,1	0,0
Marzo	98,2	54,6
Abril	116,5	69,2
Mayo	55,9	23,5
Junio	25,9	5,5
Julio	5,1	0,0
Agosto	2,5	0,0
Septiembre	37,1	12,3
Octubre	91,3	49,0
Noviembre	32,9	9,7
Diciembre	56,8	24,1
Total	589,1	274,4

Anexo 14. Datos del cultivo, empleo del software CROPWAT 8.0



Anexo 15. Datos del tipo de suelo del cultivo, empleo del software CROPWAT 8.0

The screenshot shows the 'Suelo' window with the following data:

- Nombre del suelo: Light (sand)
- Datos generales de suelo:
 - Humedad de suelo disponible total (CC-PMP): 60.0 mm/metro
 - Tasa máxima de infiltración de la precipitación: 40 mm/día
 - Profundidad radicular máxima: 900 centímetros
 - Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT): 0 %
 - Humedad de suelo inicialmente disponible: 60.0 mm/metro

Anexo 16. Requerimiento de cultivo (RAC), empleo del software CROPWAT 8.0

The screenshot shows the 'Requerimiento de Agua del Cultivo' window with the following data:

Estación ET: M1094 Tonalón 2015
 Est. de lluvia: M1094 Tonalón 2015
 Cultivo: Papa
 Fecha de siembra: 09/06

Mes	Decada	Etapa	Kc coef	ETe mm/día	ETe mm/dec	Prec. efec. mm/dec	Req. Riego mm/dec
Jun	1	inc.	0.50	2.20	4.4	0.7	4.4
Jun	2	inc.	0.50	2.16	21.6	1.3	20.3
Jun	3	inc.	0.50	2.23	22.3	0.9	21.4
Jul	1	Des.	0.56	2.56	25.6	0.1	25.5
Jul	2	Des.	0.76	3.60	36.0	0.0	36.0
Jul	3	Des.	0.98	5.00	55.0	0.0	55.0
Ago	1	Med	1.12	6.31	63.1	0.0	63.1
Ago	2	Med	1.13	6.82	68.2	0.0	68.2
Ago	3	Med	1.13	6.49	71.4	0.1	71.3
Sep	1	Med	1.13	6.09	60.9	2.0	58.9
Sep	2	Fin	1.11	5.76	57.6	2.9	54.7
Sep	3	Fin	0.98	4.92	49.2	7.4	41.8
Oct	1	Fin	0.83	4.02	40.2	14.7	25.6
Oct	2	Fin	0.71	3.32	19.9	12.0	9.9
					595.3	42.0	556.0

Anexo 17. Calculadoras en Excel para el cálculo de la Huella Hídrica.

PARTE 1. RESULTADOS DEL CROPWAT				
Letra azul	Ingreso de datos manualmente, resultados del CROPWAT			
REQUERIMIENTO DE AGUA DEL CULTIVO (RAC)				
AÑOS	ETC mm/periodo	Pre. Efe mm/periodo	Req. riego mm/periodo	
	Promedio	Promedio	Promedio	
2005	688,00	16,00	672,80	
2006	747,40	33,20	714,50	
2007	666,00	12,40	653,80	
2008	552,20	45,20	509,70	
2009	709,40	22,60	686,90	
2010	557,70	70,50	488,70	
2011	619,40	40,90	578,50	
2012	629,60	0,00	629,60	
2013	617,80	42,70	582,60	
2014	617,90	47,00	574,50	
2015	582,70	3,90	578,90	
2016	591,90	20,40	572,80	
PARTE 2. DATOS DE RENDIMIENTO				
Letra azul	Ingreso de datos manualmente, resultados del CROPWAT			
RENDIMIENTO DEL CULTIVO				
Superficie cultivada	10000 m2			
Costales/sacos	300 # de sacos			
Peso de sacos	45,3592 Kg			
Cálculo de rendimiento=				
1.-	0,03 sacos/m2			
2.-	1,36 Kg/m2			
3.-	0,00136 ton/m2 Rendimiento de la parcela			
PARTE 3. COMPONENTES VERDE Y AZUL				
Conversión de unidades: 1mm = 1000 m3				
COMPONENTES DE HUELLA HÍDRICA				
AÑOS	Pre. Efe m/periodo Promedio	Req. riego m/periodo Promedio	HUELLA VERDE (m3/ton)	HUELLA AZUL (m3/ton)
2005	0,07	0,67	11,7203	896,42
2006	0,07	0,71	14,48	1213,03
2007	0,07	0,65	9,11	480,46
2008	0,05	0,51	33,22	374,57
2009	0,02	0,69	18,61	304,76
2010	0,07	0,49	12,85	339,13
2011	0,04	0,58	30,06	423,13
2012	0,00	0,65	7,00	482,68
2013	0,04	0,58	10,38	428,14
2014	0,05	0,57	14,54	432,15
2015	0,00	0,58	2,87	435,40
2016	0,02	0,57	14,99	432,64
SUMATORIA			290,75	5322,92
PROMEDIO			21,72780	441,576571
RESULTADOS del cultivo de:	PAPA			
COMPONENTES			21,72780 CIRCULAR HH VERDE	
perteneciente al productor:	PS		441,57656 CIRCULAR HH AZUL	

Anexo 18. Simbología del diagrama de procesos.

