

**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 DEL  
BRÓCOLI (*BRASSICA OLERACEA VAR. ITALICA*) EN LAS JUNTAS  
PARROQUIALES “LA ESPERANZA” Y “TABACUNDO”, CANTÓN  
PEDRO MONCAYO**

**AUTORA:  
MARITZA ELIZABETH CHILUISA ANDRADE**

**TUTOR:  
RONNIE XAVIER LIZANO ACEVEDO**

**Quito, febrero de 2018**

## CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Maritza Elizabeth Chiluisa Andrade, con documento de identificación N° 1724805153, 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 DEL BRÓCOLI (*BRASSICA OLERACEA VAR. ITALICA*) 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 la entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....  
Maritza Elizabeth Chiluisa Andrade  
1724805153  
Febrero de 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 DEL BRÓCOLI (*BRASSICA OLERACEA VAR. ITALICA*) EN LAS JUNTAS PARROQUIALES “LA ESPERANZA” Y “TABACUNDO”, CANTÓN PEDRO MONCAYO”, realizado por Maritza Elizabeth Chiluisa Andrade, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, Febrero del 2018



Ronnie Xavier Lizano Acevedo  
1714291588

## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme permitido culminar esta etapa en mi vida, por estar conmigo en cada paso que doy ayudándome a discernir los mejores caminos, por fortalecer mi corazón, por tener preparado las mejores cosas para mí y así lograr mis objetivos.

A mis padres Eduardo Chiluisa y Germania Andrade por haberme dado lo mejor siempre, por su apoyo en todo momento y más aún en mi educación universitaria, por sus consejos, sus valores, por esas palabras de ánimo en los días donde parecía rendirme, y principalmente por su paciencia y amor. Finalmente su sueño en el que su primera hija se ingeniera se cumplió y lo hemos logrado juntos.

A mis hermanos Johana, Eduardo y Anahí porque siempre he sentido esa responsabilidad de darles el mejor ejemplo de hermana mayor y esta tesis es el mayor trabajo para ustedes, gracias por su ayuda con mis tareas cuando lo necesitaba, por su cariño, por siempre ser hermanos incondicionales a pesar de las nuestras diferencias, y como hermana mayor ser la primera en graduarme como un ejemplo para ustedes.

A mi abuelita Rogelia Shuguli por todo su amor, paciencia, por sus conversaciones y palabras de ánimo, por sus felicitaciones y alegría en cada semestre que culminaba.

**MARITZA ELIZABETH CHILUISA ANDRADE**

## ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. OBJETIVOS .....	3
2.1 Objetivo general .....	3
2.2 Objetivos específicos .....	3
3. MARCO TEÓRICO.....	4
3.1 Cadenas agroalimentarias.....	4
3.1.1 Cadenas agroalimentarias convencionales.....	4
3.1.2 Cadenas agroalimentarias agroecológicas.....	5
3.2 Análisis de ciclo de vida (ACV) .....	6
3.2.1 Fases del ACV .....	7
3.2.2 Selección de la categoría de impacto .....	7
3.2.3 Indicadores de categoría de impacto .....	9
3.3 Huella de carbono .....	9
3.3.1 Determinación de la huella de carbono.....	10
3.4 Huella hídrica .....	10
3.4.1 Determinación de la huella hídrica .....	12
3.5 Área de estudio.....	12
3.5.1 Tabacundo .....	12
3.5.2 La Esperanza .....	12
3.5.3 Economía.....	13
3.6 Brócoli.....	13
3.6.1 Características generales .....	13
3.6.2 Producción en Ecuador .....	13
3.6.3 Consumo del brócoli .....	14
3.6.4 Requerimientos de clima y suelo .....	15
3.6.5 Etapas de cultivo .....	15
4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	16
4.1 Fase de campo .....	16
4.1.1 Identificación de parcelas.....	16
4.1.2 Realización de inventarios y toma de ortofotos .....	16
4.1.3 Toma de muestras de agua y suelo.....	17
4.2 Fase de laboratorio .....	17

4.2.1	Análisis de parámetros físico-químicos del suelo .....	17
4.2.2	Análisis de parámetros físico-químicos del agua.....	18
4.3	Fase de gabinete .....	19
4.3.1	Análisis de ciclo de vida (ACV) .....	19
4.3.2	Estimación de la huella de carbono.....	20
4.3.3	Estimación de la huella hídrica .....	27
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	33
5.1	Levantamiento de información de las parcelas .....	33
5.2	Resultado del análisis de parámetros físico-químicos del suelo .....	33
5.3	Resultado del análisis de parámetros físico-químicos del agua.....	35
5.4	Resultado del análisis de pesticidas en el agua, suelo y producto. ....	35
5.5	Huella de carbono .....	36
5.5.1	Emisiones por parámetros .....	36
5.5.2	Huella de carbono de la fase agrícola de cultivos agroecológicos y convencionales .....	37
5.6	Huella hídrica .....	38
5.6.1	Recopilación de datos del INAMHI.....	38
5.6.2	Huella Hídrica Azul, Verde y Gris.....	38
5.6.3	Huella Hídrica de la fase agrícola de cultivos agroecológicos y convencionales .....	39
6.	Conclusiones y recomendaciones .....	41
7.	Bibliografía .....	43
8.	Apéndice/Anexos .....	50

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Materiales utilizados en la fase de campo.....	16
<b>Tabla 2</b> Análisis de suelo .....	18
<b>Tabla 3</b> Análisis de aguas.....	18
<b>Tabla 4</b> Datos del combustible .....	21
<b>Tabla 5</b> Factores de emisión por defecto para las fuentes y maquinaria móviles todo terreno .....	21
<b>Tabla 6</b> Factores de conversión a CO <sub>2</sub> eq .....	21
<b>Tabla 7</b> Valor de la frac lixiviación.....	24
<b>Tabla 8</b> Factores de emisión GEI por producción de fertilizantes .....	26
<b>Tabla 9</b> Coeficientes de cultivo del brócoli.....	29
<b>Tabla 10</b> Información básica de las parcelas.....	33
<b>Tabla 11</b> Resultados del análisis de parámetros físico-químicos del suelo.....	34
<b>Tabla 12</b> Porcentaje de la materia orgánica del suelo de cultivos convencionales y agroecológicos.....	34
<b>Tabla 13</b> Parámetros físico-químicos del agua .....	35
<b>Tabla 14</b> Detalle de emisiones de GEI por componentes estudiados.....	37
<b>Tabla 15</b> Emisiones de kg CO <sub>2</sub> eq de cultivos agroecológicos vs convencionales...37	
<b>Tabla 16</b> Huella hídrica agrícola de las parcelas en estudio .....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marco de referencia del ACV de acuerdo a ISO 1040:1997/2006.....	7
Figura 2. Principal clasificación y caracterización en la fase de evaluación de impactos ambientales del ciclo de vida.....	8
Figura 3. Producción de brócoli por provincias .....	14
Figura 4. Evolución de las exportaciones de brócoli de Ecuador .....	14
Figura 5. Porcentaje principales consumidores del brócoli de Ecuador 2016 .....	15
Figura 6. Entradas y salidas de la fase agrícola del brócoli .....	19
Figura 7. Emisiones de cultivos agroecológicos vs convencionales.....	38
Figura 8. Datos tabulados en Excel.....	38
Figura 9. Huellas hídras verde y azul de cada parcela en estudio.....	39
Figura 10. Componentes de la huella hídrica.....	40

## ANEXOS

<i>Anexo 1</i> Mapas de las parcelas de cultivos agroecológicos .....	50
<i>Anexo 2</i> Mapa de la parcela del cultivo convencional .....	52
<i>Anexo 3</i> Cuestionario para recolectar información en campo para la huella hídrica .	53
<i>Anexo 4</i> Análisis en el laboratorio .....	54
<i>Anexo 5</i> Cálculo de Emisiones por combustión móvil .....	55
<i>Anexo 6</i> Cálculo de Emisiones directas e indirectas de NO <sub>2</sub> .....	55
<i>Anexo 7</i> Datos Meteorológicos del INAMHI.....	56
<i>Anexo 8</i> Características típicas de la humedad del suelo para diferentes tipos de suelo .....	57
<i>Anexo 9</i> Rangos de almacenamiento de Agua en suelo según textura.....	57
<i>Anexo 10</i> Resultados del Análisis de Organoclorados en el laboratorio.....	58
<i>Anexo 11</i> Resultados del análisis de pesticidas en suelos, aguas y producto en el laboratorio .....	59

## RESUMEN

Esta investigación tiene como enfoque principal estimar los impactos ambientales que se generan en la fase agrícola de las cadenas agroalimentarias agroecológicas y convencionales en el cantón Tabacundo. El trabajo se realizó por medio de los indicadores de huella de carbono e hídrica pertenecientes a la categoría de cambio climático del análisis del ciclo de vida (ACV), ya que estos indicadores generan información detallada para que los campesinos respalden sus productos y sean valorizados por los consumidores, se efectuó el análisis de parámetros físico-químicos del suelo y agua de las parcelas en estudio para comparar la situación actual de estos recursos en las dos producciones agrícolas.

Los resultados de la investigación arrojaron que la huella de carbono que genera la producción de 1 kg de brócoli cultivado de forma convencional es de 178,53 g CO<sub>2</sub>eq, mientras que la producción de 1 kg de brócoli agroecológico es 44,31 g CO<sub>2</sub>eq. Los resultados de la huella hídrica mostraron que para la producción agroecológica de 1 tonelada de brócoli se necesitó 82,11 m<sup>3</sup> de agua, mientras que para 1 tonelada de brócoli convencional se necesitó 230,75 m<sup>3</sup> de agua. Por otro lado, el porcentaje de materia orgánica, parámetro importante de los análisis físico-químicos del suelo, es mayor en el suelo de cultivos agroecológicos con un 3,54 %, lo que demuestra buenas características físico-químicas del suelo, como la retención del agua, lo que evita varios riegos. En el suelo de cultivos convencionales es de 1,71 %, altamente ligado a problemas de erosión del suelo, compactación, baja permeabilidad y capacidad de retención de agua.

## ABSTRACT

This research has as its principal objective to estimate the environmental impacts generated in the agricultural phase of the agroecological and conventional agri-food chains, in the canton Tabacundo. This work has been made through carbon and hydric footprint indicators, which belong to the climate change category of life cycle assessment (LCA), since these indicators generate detailed information for the farmers to support their products and for them to be valued by the consumers. The analysis was made by physico-chemical parameters of the water and soil from the studied land plots to compare the current resource situation in both agricultural productions.

The results from the research showed that the carbon footprint that 1 kg of broccoli, cultivated in the conventional way, generates 178,53 g CO<sub>2</sub>eq, whereas the production of 1 kg of agroecological broccoli generated 44,31 g CO<sub>2</sub>eq. The hydric footprint results showed that to produce 1 ton of agroecological broccoli the amount of water needed was 82,11 m<sup>3</sup>, however for 1 ton of conventionally cultivated broccoli the amount of water needed was 230,75 m<sup>3</sup>.

On the other hand, the percentage of organic matter, important parameter of physico-chemical soil analysis, is higher in agroecologically cultivated soils with 3,54% which shows good physico-chemical soil characteristics, such as water retention, which avoids constant irrigation. For the conventionally cultivated soils, the percentage is 1,71% highly related to soil erosion problems, compaction, low permeability and water retention capacity.

## 1. INTRODUCCIÓN

La agricultura cubre una de las principales necesidades del ser humano: la alimentación. Es la actividad que ocupa más superficie en el planeta y por lo tanto genera los impactos positivos o negativos más extensos (López y Llorente, 2010). A principios del siglo XX, las repercusiones ambientales de la agricultura fueron mínimas; pero desde de la Revolución Industrial y de la Revolución Verde hasta la actualidad estos impactos en el ambiente y en la salud humana han alcanzado grandes magnitudes, por el incremento y dependencia de insumos sintéticos y la intensificación y búsqueda de un rápido retorno financiero (Pérez y Landeros, s/f).

Por esta razón se plantea la presente investigación, para estimar los impactos ambientales que genera la fase agrícola de un sistema agroecológico y uno convencional del brócoli. El objetivo es comparar ambos sistemas con fundamentos científicos, gracias a los indicadores de la metodología del análisis de ciclo de vida. Mediante la determinación de la huella de carbono conoceremos las emisiones de kilogramos generadas para producir 1 kilogramo de la hortaliza en cada uno de los sistemas antes mencionados. De igual manera, por medio de la huella hídrica sabremos cuántos metros cúbicos de agua requerimos para 1 tonelada de producto (brócoli).

Se consideró el estudio de la producción del brócoli porque es un producto de la canasta básica de los alimentos que consumen los ecuatorianos. Además, esta hortaliza cada año ha aumentado su producción en Ecuador debido a sus propiedades nutricionales y proteicas (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca y Coordinación General del Sistema de Información Nacional, 2014).

La investigación se limita geográficamente a las parroquias de La Esperanza y Tabacundo del cantón Pedro Moncayo, ya que en este lugar se encuentran algunos

productores de brócoli convencional y una asociación de agricultores agroecológicos llamada El Buen Vivir. Dicha asociación garantiza que sus productos son agroecológicos mediante los sistemas de garantía participativo (SGP), esquemas basados en la confianza, participación social e institucional, que generan una certificación alternativa para garantizar la calidad agroecológica del producto a los consumidores (Pino, 2017).

El presente estudio se realiza con el fin de obtener datos comprobables para que los agricultores valoricen sus productos y por ende el consumidor adquiera más confianza al momento de comprarlos, ya que con la información obtenida mediante el ACV se realizará la ecoetiqueta del producto, con información más completa para que el consumidor confíe en el producto que el campesino está vendiendo (Mart, Alier y Econ, 2001). Lo anterior permite valorizar los productos agroecológicos, impulsando su producción en los pequeños productores y promoviendo el consumo de productos nacionales en la población ecuatoriana.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Estimar los impactos ambientales del sistema agroalimentario agroecológico del brócoli (*Brassica Oleracea Var. Italica*) 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 CO<sub>2</sub> equivalente emitida a la atmósfera por kilogramo de brócoli a través del indicador huella de carbono
- Estimar la cantidad de agua requerida para producir un kilogramo de producto de brócoli a través del indicador huella hídrica
- Analizar las diferencias de 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**

Los sistemas agroalimentarios empiezan con la planificación del proceso de la producción del producto, es decir, con preparación del suelo, producción, manejo de la poscosecha, comercialización y consumo final. Cada uno de los eslabones de la cadena agroalimentaria cuenta con una cantidad de diferentes personas e instituciones, las cuales deciden sobre la calidad, cantidad y valor del producto (La Gra, Kitinoja y Alpizar, 2016).

Para estimar los impactos ambientales generados en la fase agrícola de la producción de brócoli en las cadenas agroalimentarias convencionales y agroecológicas es fundamental entender el concepto de las mismas, con el propósito de conocer el contexto en el que se realiza la investigación.

#### **3.1 Cadenas agroalimentarias**

“Son interacciones de actores económicos y sociales que participan articuladamente agregando valor a un bien o servicio, en todos los procesos desde su producción, incluidos los proveedores hasta que llegue a los consumidores” (García, Riveros, Pavez, Lam y Herrera, 2009, p.27). Dichas cadenas generan relaciones campo-ciudad, algunas más duraderas que otras, siempre con la intención de vender la producción cosechada.

Ahora bien, debido a que esta investigación se limita a la fase agrícola, es importante conocer la definición de cada una de las cadenas en estudio.

##### **3.1.1 Cadenas agroalimentarias convencionales**

Estas cadenas se desarrollaron con base en modelos de agronegocios, a partir de monocultivos a gran escala, con trabajo asalariado, muy mecanizado y con la utilización de agrotóxicos y semillas transgénicas (Mançano, 2013). Se convirtió en una cadena agroalimentaria con un gran valor de cambio, lo que significa que

mientras mayor sea la producción, mayor son los recursos económicos. Solo se valoriza la cantidad de producción como tal (Vandepitte, 2012) y no el trabajo de los campesinos ni las externalidades ambientales negativas generadas con la producción, y menos en la fase agrícola.

Según FAO (2005), después de la Segunda Guerra Mundial, el uso de fertilizantes químicos aumentó de 9 millones de toneladas al año en 1940 a más de 47 millones de toneladas en 1980, y en 2002 la cantidad se estabilizó en 141 millones métricos de toneladas. Lo anterior se debe a que las grandes industrias han creado nuevas formas de dependencia de los agricultores a estos químicos.

Según el informe del Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (1997), se calcula que la deforestación de bosques tropicales se encuentra entre 150.000 y 200.000 kilómetros cuadrados anualmente. Y advirtió el Fondo Mundial para la Naturaleza que si continúa la tala indiscriminada de árboles para los monocultivos, la mayoría de los 3 millones de hectáreas de bosque que cubren el planeta habrán desaparecido en el año 2040 (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, 1998). Por estos antecedentes y otros más que no se mencionan se realizó el presente estudio, para mostrar las emisiones de CO<sub>2</sub>eq que generan estos tipos de cultivos, así como también los m<sup>3</sup> de agua que se consumieron en la fase agrícola.

### **3.1.2 Cadenas agroalimentarias agroecológicas**

Son canales cortos de comercialización, ya que acortan la distancia física entre productores y consumidores de alimentos agroecológicos. Sin intermediarios, los agricultores reciben un precio justo por sus productos, a la vez que los consumidores acceden a alimentos orgánicos y de calidad (Díaz, 2016). De esta manera, se promueve el contacto directo entre el consumidor y el productor.

Los Sistemas Participativos de Garantía (SPG) permiten verificar la calidad de los productos agroecológicos (Pino, 2017). Y como su nombre lo dice, son la garantía que tienen los miembros de las asociaciones agroecológicas de sus productos.

Estas cadenas se centran en el modelo de desarrollo del campesinado, el cual se basa en policultivos a pequeñas escalas, con predominio de trabajo familiar, biodiversidad y no utilización de agrotóxicos (Mançano, 2013). Ello permite mantener el equilibrio con el entorno, entre el uso y la reposición de los elementos que lo conforman, lo que a su vez garantiza su permanencia en el tiempo. En su mayoría, estas cadenas son sistemas cerrados (Giampietro y Pimentel, 1991).

Altieri y Nicholls (2000) se refieren a la agricultura como un sistema de sustentabilidad, en el cual es necesario entender la relación entre la agricultura y el ambiente global, puesto que el desarrollo rural depende de la interacción de subsistemas biofísicos, técnicos y socioeconómicos; este enfoque más amplio es llamado *agroecología*. Una vez expuesta la definición de cada una de estas cadenas agrícolas, se estimarán en esta tesis los impactos ambientales generados en la fase agrícola de cada una de las cadenas mediante el análisis de ciclo de vida.

### **3.2 Análisis de ciclo de vida (ACV)**

La International Organization for Standardization (2016) ISO 14040 define el ACV como “un conjunto sistemático de procedimientos para compilar y examinar las entradas y salidas de materiales, energía y los impactos ambientales asociados, directamente al funcionamiento de un producto en todo su ciclo de vida” (p.7). Mediante esta metodología se estimarán los impactos ambientales asociados al producto en estudio mediante la identificación y cuantificación de los recursos usados, así como de los residuos emitidos al entorno.

Otro de los objetivos del ACV es brindar información de los cultivos estudiados a los productores, lo que permite fortalecer los SPG y afianzar la calidad de los productos con el consumidor.

### 3.2.1 Fases del ACV

El análisis de ciclo de vida presenta tres procesos. El primero es el planteamiento de los objetivos y el alcance, el segundo es el análisis del inventario, en el cual se cuantifican las entradas y salidas en cada uno de los procesos de producción, y el tercero es la estimación de impactos ambientales, mediante la asignación de los datos del inventario a cada categoría de impacto: acidificación, calentamiento global, eutrofización, agotamiento de recursos abióticos, fósiles, capa de ozono, precursores del ozono troposférico, toxicidad, según el tipo de efecto ambiental esperado (Orozco, 2016).

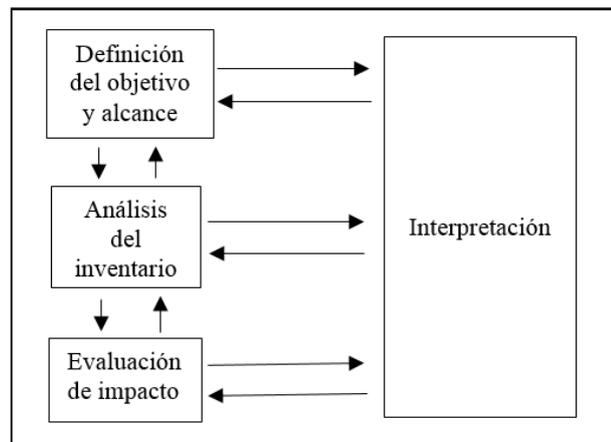


Figura 1. Marco de referencia del ACV de acuerdo a ISO

Nota. Fuente: Klöpffer, W., & Grahl, B. (2014). Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. (V. G. y C. KGaA, Ed.). Germany: WILEY-VCH.  
<https://doi.org/10.1002/9783527655625.ch5>

Después de la tercera fase se procede a la selección de impacto, el indicador de categorías y factores de caracterización, los cuales son definidos mediante la norma. La ISO 14044 (2016) describe:

Categoría de impacto: Clase que representa problemas ambientales que pueden asignarse a resultados de análisis de inventario de ciclo de vida.

Indicador de categoría de impacto: Representación cuantificable de una categoría de impacto.

Factor de caracterización: se aplica para convertir un resultado de análisis de inventario asignado a la unidad común del indicador de categoría. (p.18)

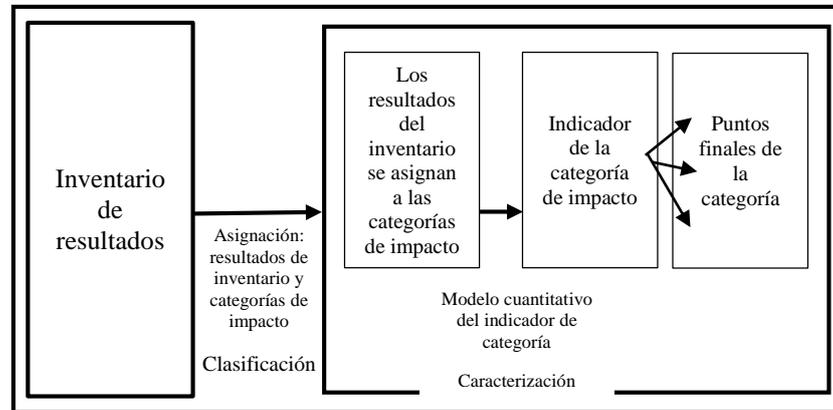


Figura 2. Principal clasificación y caracterización en la fase de evaluación de impactos ambientales del ciclo de vida

Nota. Fuente: Klöpffer, W., & Grahl, B. (2014). Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice. (V. G. y C. KGaA, Ed.). Germany: WILEY-VCH. <https://doi.org/10.1002/9783527655625.ch5>

### 3.2.2.1 Cambio climático (CC)

Existe gran conocimiento acerca de la categoría de impacto llamado *cambio climático*. Klöpffer y Grahl (2014) afirman que todos los factores de caracterización del CC cambian ligeramente conforme pasa el tiempo. Dicha afirmación la podemos corroborar en los informes que presenta el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC).

### 3.2.2.2 Efecto de invernadero

Existe un efecto invernadero natural, el cual posibilita la vida en la tierra; sin él, la temperatura promedio en la superficie de la tierra sería alrededor de  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , en lugar de  $+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . No obstante, Klöpffer y Grahl (2014) se refieren al efecto invernadero antropogénico adicional, el cual ha provocado un aumento de la temperatura superficial media de aproximadamente  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , causada por una

concentración aumentada de algunos gases de refuerzo en la troposfera (GEI), parcialmente idénticos a los GEI naturales.

### **3.2.3 Indicadores de categoría de impacto**

Los indicadores de categorías relacionados con los *outputs* o producción no evalúan el consumo de bienes naturales, sino las cargas emitidas al ambiente por los procesos de producción, los que ocasionan posibles amenazas a la salud humana. Klöpffer y Grahl (2014) refieren como única categoría el calentamiento global, y como indicador, la huella de carbono, cuando se pretende encontrar la contribución de gases de un sistema de producto, proceso, empresa o país. Debido a que el objetivo de este estudio es averiguar la contribución de la fase agrícola de las dos cadenas agrícolas, se hallará la huella de carbono.

### **3.3 Huella de carbono**

Es la cantidad de emisión de gases que inducen al cambio climático, generadas durante las actividades de producción o consumo de los seres humanos. Contempla las emisiones directas de CO<sub>2</sub> y otras más complejas convertidas al equivalente CO<sub>2</sub>eq, asociadas al ciclo de vida, incluyendo la elaboración de las materias primas y el destino final del producto y sus respectivos embalajes (Wiedmann y Minx, 2007).

Carbon Trust (2007) describe la huella de carbono de un producto como “una técnica para identificar y medir las emisiones individuales de gases de efecto invernadero de cada actividad dentro de un paso del proceso de cadena de suministro atribuyéndolos a cada producto de salida” (p.4). La unidad en la que se expresa la huella de carbono es el peso en kilogramos o toneladas de CO<sub>2</sub>eq emitidos a la atmósfera sobre los kilogramos de producto o área de producción.

### **3.3.1 Determinación de la huella de carbono**

En este estudio la huella de carbono se determinará mediante la metodología PAS 2050, la cual indica que para determinar las emisiones en cultivos se deben considerar las emisiones de los fertilizantes durante la aplicación de los mismos en el suelo y también las que se generaron para su elaboración. Asimismo, las emisiones de los combustibles y las generadas por los restos vegetales que se reincorporan en el suelo, aunque en este caso los restos se utilizaron para realizar el compost (BSI, 2008), así como también la respiración del suelo en donde fue realizado el estudio (Iglesias, 2014).

Para calcular cada una de las emisiones antes mencionadas se utilizará el manual de *Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero* de la IPCC (IPCC, 2006). Por el enfoque de este estudio se trabajará con los volúmenes 2 y 4, llamados “Energía” y “Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra”, respectivamente.

El manual antes mencionado presenta 3 niveles de especificidad para el cálculo de las emisiones. Debido a que el país aún no cuenta con factores de emisión definidos, se trabajará con el nivel 1 usando los valores por defecto para todas las estimaciones de gases.

### **3.4 Huella hídrica**

Es un indicador de la cantidad de agua dulce, no solo en el uso directo de un consumidor o productor, medido a lo largo de toda la cadena de suministro, sino también en el uso indirecto. Muestra los volúmenes de consumo de agua por fuente y volúmenes contaminados; todos los componentes de una huella de agua total son especificados geográfica y temporalmente (Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, 2011). En esta investigación se refiere a la cantidad de agua que se

consume en la fase agrícola de la producción agroecológica y convencional del brócoli.

Se hace referencia al *consumo* como la pérdida de agua de la superficie del suelo disponible en un cuerpo natural de agua, la cual volverá a otra área de captación, al mar o se incorpora a un producto. (Hoekstra, Chapagain, Aldaya y Mekonnen, 2011).

Según Hoekstra *et al.* (2011), la huella hídrica agrícola (HH) está conformada por tres componentes:

(a) La HH azul se refiere al consumo de aguas subterráneas y superficiales a lo largo de la cadena agroalimentaria, específicamente en la fase agrícola; esta huella se puede determinar mediante la ecuación:

$$HH\ azul = \frac{RAC\ azul}{Y} \quad (1) \quad \left(\frac{m^3}{ton}\right)$$

(b) La HH verde representa el consumo de agua de lluvia en la medida en que ya que no se convierte en escorrentía; esta se encuentra mediante:

$$HH\ verde = \frac{RAC\ verde}{Y} \quad (2) \quad \left(\frac{m^3}{ton}\right)$$

(c) la HH gris es el volumen de agua dulce que se requiere para asimilar la carga de contaminantes con concentraciones, controlada por las normas de calidad (Parra, 2016). Su fórmula es:

$$HH\ gris = \frac{(\alpha * AR) / (Cmax - Cnat)}{Y} \quad (3) \quad \left(\frac{m^3}{ton}\right)$$

Las unidades para cada uno de estos componentes son los m<sup>3</sup> de agua requerida para producir una tonelada de un producto, en este caso, una tonelada de brócoli. La ecuación para encontrar la huella hídrica es:

$$HH_{agri\_brócoli} = HH\ verde + HH\ azul + HH\ gris \quad (4) \quad \left(\frac{m^3}{ton}\right)$$

### **3.4.1 Determinación de la huella hídrica**

La huella hídrica se determinará bajo la metodología de Hoekstra y otros autores, la cual se basa en la suma de sus tres componentes: huella hídrica verde, azul y gris. Algunos valores son determinados en el programa CROPWAT de la FAO, en el cual interviene cantidad de agua evaporada, agua que se incorporó y agua evapotranspirada (Hoekstra *et al.*, 2011).

## **3.5 Área de estudio**

Este estudio se ubica en la provincia de Pichincha, cantón de Pedro Moncayo, en las parroquias de Tabacundo y La Esperanza. Se realizará el estudio en estas parroquias debido a la experiencia que han ido desarrollando en sistemas agroecológicos.

### **3.5.1 Tabacundo**

Es una parroquia urbana que se encuentra ubicada al nororiente de la provincia de Pichincha, a  $-00.15^{\circ}$  de latitud y  $-78.15^{\circ}$  de longitud, con una altura desde 1.730 hasta 4.300 msnm. Es la capital cantonal del cantón Pedro Moncayo. Presenta una temperatura entre  $8^{\circ}\text{C}$  y  $14^{\circ}\text{C}$  (Municipio de Pedro Moncayo, 2006). Esta parroquia está conformada por 11.000 habitantes, según el último censo realizado en 2007 por el INEC.

### **3.5.2 La Esperanza**

Parroquia ubicada al nororiente de la ciudad de Pedro Moncayo, en las coordenadas  $0,0452^{\circ}$  de latitud y  $78,26^{\circ}$  de longitud, con una altura de 1.730 a 4.300 msnm. Presenta 3.276 habitantes según el censo realizado en 2007 por el INEC, que corresponden al 13 % de la población en el cantón Pedro Moncayo.

### **3.5.3 Economía**

Las principales actividades económicas del cantón son la agricultura, la floricultura y las artesanías. En estas parroquias se juntan personas que se dedican a la agricultura y forman asociaciones, en pro de mejorar sus prácticas agrícolas y obtener un rédito económico mayor. Los principales productos son cilantro, lechuga, zanahoria, cebolla paiteña y brócoli. Por ello este estudio se centra en el brócoli, porque gran parte de la población usa esta hortaliza en su alimentación diaria y le da un importante papel en la nutrición.

## **3.6 Brócoli**

### **3.6.1 Características generales**

En Ecuador, los cultivos de brócoli se han ido incrementando gradualmente, ya que el país presenta condiciones ambientales óptimas para su producción. La altura de las zonas productivas (de 2.600 a 3.000 msnm) y la temperatura estable a lo largo del año brindan un ambiente propicio para una producción relativamente libre de insectos, plagas y enfermedades. Esto favorece la producción con una menor utilización de fungicidas e insecticidas, y debido a su altitud, las cabezas crecen más compactas y alcanzan un mayor tamaño, por lo que la serranía ecuatoriana es la región perfecta para este tipo de cultivo (Oleas, 2002).

### **3.6.2 Producción en Ecuador**

Las provincias más representativas en el cultivo de esta hortaliza, como lo muestra la figura 3, son Cotopaxi (con una producción de 51.350 ton), Pichincha (con 11.791 ton) y en un porcentaje menor las provincias de Imbabura, Chimborazo y otras (Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP) y Coordinación General del Sistema de Información Nacional (SINAGAP), 2013)

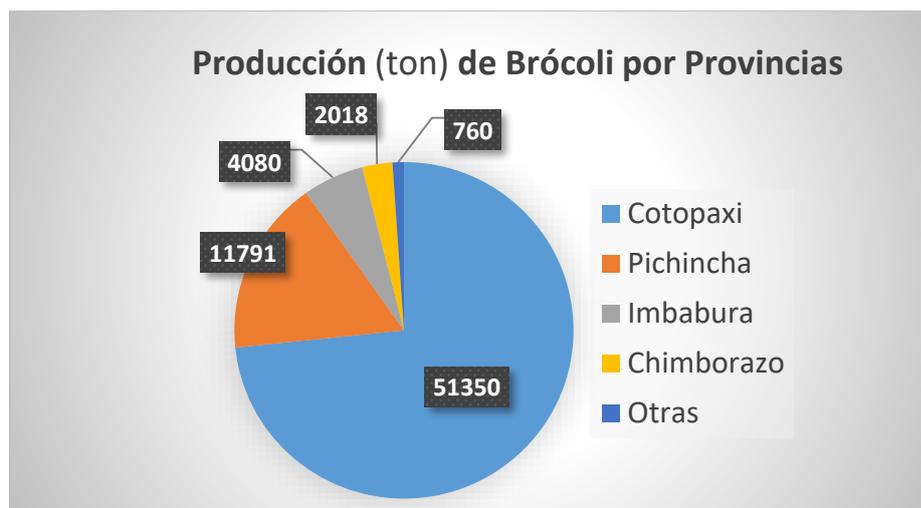


Figura 3. Producción de brócoli por provincias

Nota: Fuente: (Ministerio de Agricultura Ganadería Acuicultura y Pesca (MAGAP) y Coordinación General del Sistema de Información Nacional (SINAGAP), 2013)

### 3.6.3 Consumo del brócoli

La demanda de brócoli a nivel nacional e internacional cada año es mayor (ver figura 4), por lo que la producción ha aumentado entre 2 y 3 % según la producción de cada agricultor (Enriquez, s/f). A nivel nacional ha aumentado 10 % la producción.

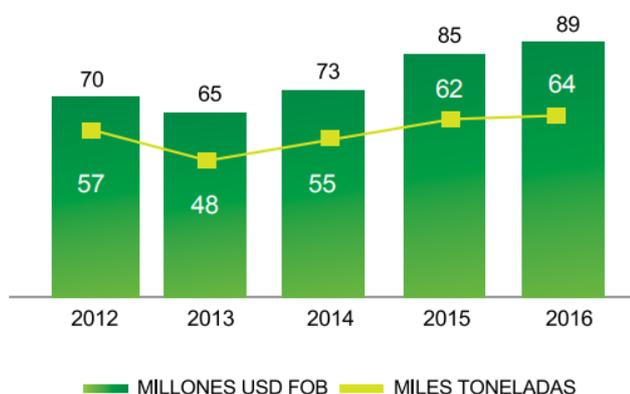
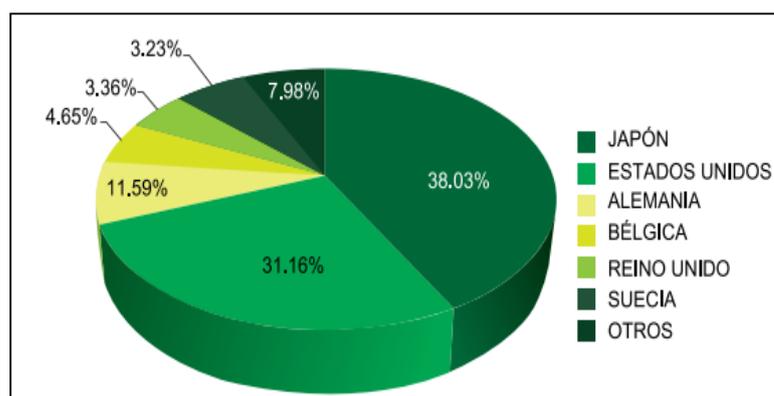


Figura 4. Evolución de las exportaciones de brócoli de Ecuador

Nota. Fuente: Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones PRO ECUADOR. (2017). Análisis sectorial brócoli. Recuperado de [https://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2017/02/PROEC\\_AS2017\\_BROCOLI.pdf](https://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2017/02/PROEC_AS2017_BROCOLI.pdf).

En Ecuador apenas 2.000 toneladas de las 110.000 son destinadas al consumo local, el resto se exporta a diferentes países. Japón es el principal con un 38,03 % (ver figura 5) (Enriquez, s/f), lo que representa la mayor cantidad de agrotóxicos usados en las plantaciones.



*Figura 5.* Porcentaje principales consumidores del brócoli de Ecuador 2016  
 Nota. Fuente: Instituto de Promoción de Exportaciones e Inversiones PRO ECUADOR. (2017).  
 Análisis sectorial brócoli. Recuperado de [https://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2017/02/PROEC\\_AS2017\\_BROCOLI.pdf](https://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2017/02/PROEC_AS2017_BROCOLI.pdf).

### 3.6.4 Requerimientos de clima y suelo

Los principales requerimientos climáticos para el crecimiento óptimo del brócoli son: (a) la temperatura en un rango de 13 a 15 °C; (b) la precipitación anual debe fluctuar entre 800 y 1.200 mm; (c) la altitud debe ser entre 2.600 y 3.000 msnm; (d) la humedad relativa con un intervalo del 70 % al 80 % como condición ideal. Para cultivar el brócoli, el suelo debe ser profundo, de textura media franca con una estructura friable, de fácil drenaje, pero con capacidad para retener nutrientes, con alto porcentaje de materia orgánica que evita problemas de crecimiento radicular. El pH adecuado para este cultivo es de 6 a 6,8, ya que este parámetro tiene efectos directos sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo (MAGAP y SINAGAP, 2014; Oleas, 2002).

### 3.6.5 Etapas de cultivo

El brócoli es una hortaliza de trasplante. Por ser una semilla muy frágil se coloca en semilleros por 5 a 6 semanas hasta su fase óptima de trasplante, cuando las plántulas miden de 12 a 15 cm de altura y tienen entre 3 y 5 pares de hojas. Las etapas del cultivo son: preparación del terreno, siembra de las semillas, siembra de la plántula, deshierbas y riegos, y cosecha, cuando la inflorescencia está completamente formada (Oleas, 2002).

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la presente investigación se establecieron tres fases de estudio: campo, laboratorio y gabinete, las cuales son detalladas a continuación:

### 4.1 Fase de campo

**Tabla 1**

*Materiales utilizados en la fase de campo*

	<b>Materiales</b>	<b>Equipos</b>
<b>Fase de campo</b>	Cilindros biselados, machete, pala, balde, libreta, fundas Ziploc, cooler, marcadores, etiquetas, balde, botellas de agua de 1 L, guantes	Dron Phantom 3 professional, balanza, pH metro, GPS, cámara fotográfica

Nota. Elaborado por: Chiluisa M., 2018.

#### 4.1.1 Identificación de parcelas

Se realizó la socialización del proyecto a los agricultores pertenecientes a la Asociación Agroecológica Buen Vivir con el fin de ubicar y determinar las parcelas experimentales, ya que al tratarse de cultivos agroecológicos, sus parcelas no presentan grandes extensiones. Se identificó cinco agricultores con sistema agroecológico con una superficie útil como unidad funcional para el estudio. Y en el caso del sistema agrícola convencional, se trabajó con un agricultor que contaba con la unidad funcional necesaria para este estudio.

#### 4.1.2 Realización de inventarios y toma de ortofotos

Mediante cuestionarios y entrevistas a los agricultores (anexo 3) se obtuvo los datos necesarios para la construcción del inventario de entradas y salidas de cada proceso durante la fase agrícola. Otra actividad que se ejecutó es la toma de ortofotos de las parcelas de estudio con un dron phantom 3 para su ubicación y georreferenciación (anexo 1 y 2)

### **4.1.3 Toma de muestras de agua y suelo**

La toma de muestras de agua se realizó mediante el protocolo de Sadzawka (2006), por el tipo de fuentes de agua que se iba a muestrear, mientras que las muestras de suelo fueron tomadas según el procedimiento de Fernández, Roldán, Zegarra y Hernández (2008). Estas muestras fueron tomadas en cada una de las parcelas de los cultivos convencionales y agroecológicos.

## **4.2 Fase de laboratorio**

La determinación de los parámetros físico-químicos necesarios para la comparación entre los dos sistemas agrícolas, que a continuación son detallados, se realizaron en las muestras de agua y suelo tanto de las parcelas agroecológicas como en las convencionales. Estos análisis se llevaron a cabo en el laboratorio de agua y suelo en la extensión que tiene la Universidad Politécnica Salesiana en Cayambe, mediante metodologías ya establecidas (ver anexo 4)

### **4.2.1 Análisis de parámetros físico-químicos del suelo**

Los parámetros analizados que se encuentran en la tabla 2 se determinaron siguiendo el proceso que las metodologías describían. Así, para la materia orgánica se utilizó la metodología de Walkley y Black hallada en Aguilar, Etchevers y Castellanos (1987), para la medición del pH y conductividad se utilizó la metodología electrométrica definida en Thompson y Troeh (1980), la textura se analizó mediante el método de Bouyoucos-Day descrito en Karkanis, Au, y Schaalje (1991), el porcentaje de humedad se determinó por el método gravimétrico indicado en Fernández *et al.* (2008) y para la densidad aparente, la metodología del volumen del cilindro conocido publicado en Agostini, Monterubbianesi, Studdert y Maurette (2014).

**Tabla 2**  
*Análisis de suelo*

<b>Parámetro</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Materiales y equipos</b>
<b>Materia orgánica</b>	Dicromato de potasio ( $K_2Cr_2O_7$ ), sulfato ferroso ( $FeSO_4$ ), ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), ácido fosfórico ( $H_3PO_4$ )	Erlenmeyers, buretas, soporte universal, pipetas, peras, balanza analítica, extractor de vapores
<b>pH</b>	Agua destilada	pH metro
<b>Humedad</b>	-	Balanza analítica, estufa
<b>Textura</b>	Hexametáfosfato de sodio ( $(NaPO_3)_6$ ), agua destilada	Hidrómetro, buretas, reloj, recipiente de plástico, balanza, termómetro
<b>Conductividad</b>	-	Conductímetro

Nota. Elaborado por: Chiluisa M., 2018.

#### 4.2.2 Análisis de parámetros físico-químicos del agua

Para la determinación de los parámetros del agua se realizó los análisis según las metodologías encontradas en Association American Public Health (1992), las cuales utilizaron los reactivos, materiales y equipos indicados en la tabla 3. Conforme con dichas metodologías se realizó la determinación de cloruros mediante el método de Mohr, la determinación de pH y conductividad a través de la metodología electrométrica, la determinación de sólidos sedimentables por el método volumétrico, los sólidos totales con el método gravimétrico y finalmente la alcalinidad mediante el método titulométrico.

**Tabla 3**  
*Análisis de aguas*

<b>Parámetro</b>	<b>Reactivos</b>	<b>Materiales y equipos</b>
<b>Cloruros</b>	Solución de $AgNO_3$ 0,0282 N Solución de $K_2CrO_4$	Bureta, erlenmeyer, vaso de precipitado, probeta
<b>pH</b>	-	pH metro
<b>Conductividad</b>	-	conductímetro
<b>Sólidos sedimentables</b>	-	cono imhoff
<b>Sólidos totales</b>	-	Vidrio reloj, estufa, mufla
<b>Alcalinidad/ carbonatos</b>	Ácido Clorhídrico (HCl), fenolftaleína, bromofenol	Bureta, soporte universal, goteros, erlenmeyers

Nota. Elaborado por: Chiluisa. M, 2018.

### 4.3 Fase de gabinete

#### 4.3.1 Análisis de ciclo de vida (ACV)

Mediante el ACV se identificó los insumos utilizados en cada proceso de la fase agrícola de producción del brócoli, como lo indica la figura 6. Mediante la identificación de los insumos se logró seleccionar cuáles son los datos que se van a utilizar en el cálculo de la huella de carbono e hídrica.

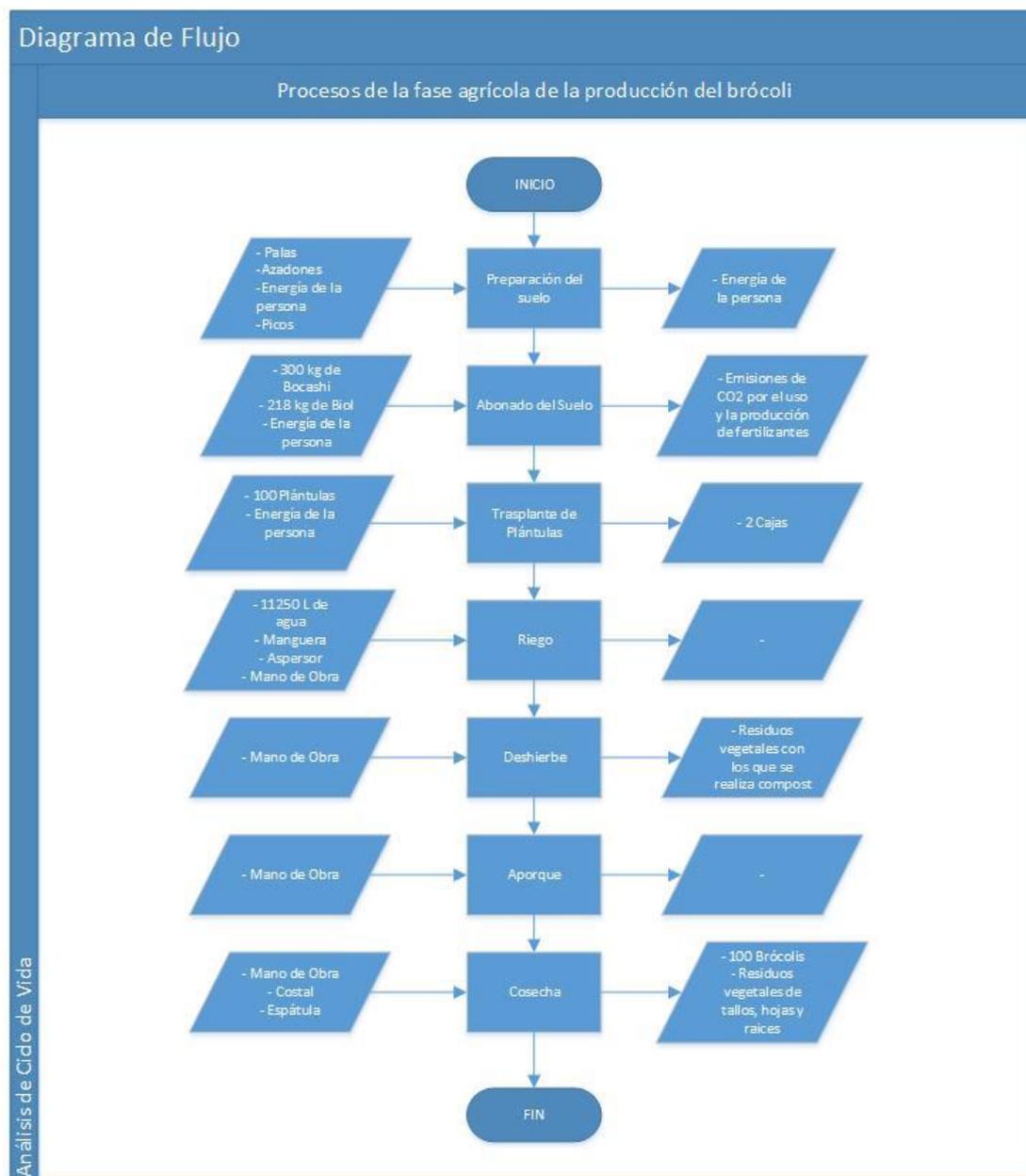


Figura 6. Entradas y salidas de la fase agrícola del brócoli  
Nota. Elaborado por Chiluisa, M, 2018.

### 4.3.2 Estimación de la huella de carbono

La estimación de huella de carbono de la fase agrícola de la producción del brócoli se realizó mediante la metodología PAS 2050:2011 (BSI, 2008), la cual detalla la información requerida, los procesos a considerar para estimar la HC, mientras que para la estimación de los gases de efecto invernadero de los procesos requeridos en la PAS 2050:2011 se utilizó el manual del IPCC (2006c) el cual se describe a continuación:

#### 4.3.2.1 Estimación de gases de efecto invernadero

Este cálculo se realizó mediante la tabulación de datos recolectados en el análisis de ciclo de vida en el *software* Excel, para cada una de las parcelas experimentales de los cultivos agroecológicos y el cultivo convencional.

##### 4.3.2.1.1 Emisiones por combustión móvil

Se basó en el volumen 2 del manual mencionado en la metodología, se calculó las emisiones por combustión móvil de transporte todo terreno, estas fueron calculadas solo para el cultivo convencional, debido a que en la preparación del suelo se utilizaba un tractor para remover el suelo, por lo que la primera ecuación que se va a utilizar es:

$$Emisiones = \sum_j (Combustible\ j * EF\ j) \quad (5)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006a). *Combustión móvil. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 2). Japón: IGES.

**Donde:**

Emisiones: Emisiones (Kg)

Combustible j: Combustible consumido (representado por el combustible vendido) (TJ)

EF j: Factor de emisión (Kg/TJ)

J: Tipo de combustible

A continuación se encontrarán 3 tablas: en la tabla 4 se presentan los datos necesarios para obtener el valor del combustible consumido, la tabla 5 nos muestra

los factores de emisión para los gases CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O, y en la tabla 6 disponemos los factores de conversión a CO<sub>2</sub>eq.

**Tabla 4**

*Datos del combustible*

Tipo de combustible	Volumen utilizado (m <sup>3</sup> )	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Masa (kg)	VCN TJ/Gg
Diésel	0,015	832	12,16	43

Nota. Fuente: Adaptado de BioGrace. (2011). Biograce Complete List of Standar Values Version Public. Recuperado de <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>. IPCC. (2006a). *Combustión móvil. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 2). Japón: IGES.

**Tabla 5**

*Factores de emisión por defecto para las fuentes y maquinaria móviles todo terreno*

Factores de emisión			
Fuente todo terreno	CO <sub>2</sub> (Kg/TJ)	CH <sub>4</sub> (Kg/TJ)	N <sub>2</sub> O (Kg/TJ)
Agricultura	74100	4,15	28,6

Nota. Fuente: IPCC. (2006a). *Combustión móvil. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 2). Japón: IGES.

**Tabla 6**

*Factores de conversión a CO<sub>2</sub>eq*

Gases	Factor de conversión	Equivalencia
CO <sub>2</sub>	1	CO <sub>2</sub> eq
N <sub>2</sub> O	298	CO <sub>2</sub> eq
CH <sub>4</sub>	25	CO <sub>2</sub> eq

Nota. Fuente: IPCC. (2006a). *Combustión móvil. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 2). Japón: IGES.

#### 4.3.2.1.2 Emisiones directas de N<sub>2</sub>O

Para calcular las emisiones directas de N<sub>2</sub>O se trabajó con la siguiente ecuación:

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - O_{N\ aportes} + N_2O - N_{OS} + N_2O - N_{PRP} \quad (6)$$

Nota. Fuente: IPCC (2006b). *Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

**Donde:**

- $N_2O_{Directas}$ : Emisiones directas de N<sub>2</sub>O–N producidas por suelos gestionados, kg N<sub>2</sub>O–N
- $N_2O - O_{N\ aportes}$ : Emisiones directas de N<sub>2</sub>O–N producidas por aportes de N a suelos gestionados, kg N<sub>2</sub>O–N
- $N_2O - N_{OS}$ : Emisiones directas de N<sub>2</sub>O–N de suelos orgánicos gestionados, kg N<sub>2</sub>O–N
- $N_2O - N_{PRP}$ : Emisiones directas de N<sub>2</sub>O–N de aportes de orina y estiércol a tierras de pastoreo, kg N<sub>2</sub>O–N

De la ecuación indicada, el valor de los términos  $(N_2O - N_{OS})$  y  $(N_2O - N_{PRP})$  es 0, ya que son variables que no corresponden al tipo de suelo gestionado en el estudio. Entonces la ecuación queda en términos de:

$$N_2O_{Directas} - N = N_2O - O_{N\ aportes}$$

$$N_2O_{Directas} - N = \{[(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM}) * EF_1] + [(F_{SN} + F_{ON} + F_{CR} + F_{SOM})_{FR} * EF_{1FR}]\}$$

Todas las variables que no fueron consideradas toman en cuenta aspectos de otro tipo de cultivos, razón por la cual quedan fuera del estudio:  $F_{ON}$  (kg N de estiércol animal, compost, lodos cloacales y otros aportes de N),  $F_{CR}$  (kg N en los residuos agrícolas aéreos y subterráneos, incluyendo los cultivos fijadores de N y la renovación de forraje/pastura, que regresan a los suelos),  $F_{SOM}$  (kg anuales de N en suelos minerales que se mineralizan, relacionados con la pérdida de C del suelo de la materia orgánica como resultado de cambios en el uso o la gestión de la tierra),  $F_{OS}$  (representa la superficie anual de suelos orgánicos gestionados/drenados) (IPCC, 2006b). Así, la ecuación para calcular  $N_2O_{Directas} - N$  de suelos de cultivos convencionales es:

$$N_2O_{Directas} - N = F_{SN} * EF_1 \quad (7)$$

**Donde:**

$F_{SN}$ : Cantidad de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante sintético, Kg N

$EF_1$ : Factor de emisión para emisiones de  $N_2O$  de aportes de N, Kg  $N_2O-N$ , igual a **0,01**

Pero la ecuación para calcular  $N_2O_{Directas} - N$  de suelos de cultivos agroecológicos es:

$$N_2O_{Directas} - N = F_{ON} * EF_1 \quad (8)$$

**Donde:**

$F_{ON}$ : Cantidad de estiércol animal, compost, lodos cloacales y otros aportes de N aplicada a los suelos, Kg N

La ecuación para determinar el valor de  $F_{ON}$  es la siguiente:

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA} \quad (9)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

La variable F<sub>AM</sub> (cantidad de N de estiércol animal aplicada a los suelos) no se consideró para evitar el doble cómputo de N con el estiércol del compost, la F<sub>SEW</sub> (cantidad de N total de barros cloacales que se aplica a los suelos) se considera nula y la F<sub>OOA</sub> (cantidad de otros abonos orgánicos utilizados) tampoco se contempló, puesto que todos los abonos utilizados están conformados por estiércol (IPCC, 2006b).

Una vez remplazados los datos en las ecuaciones (7) y (8) y obtenidos los resultados, se procede a realizar la conversión de N<sub>2</sub>O<sub>Directas</sub> - N a emisiones N<sub>2</sub>O mediante la ecuación:

$$Kg N_2O = N_2O_{Directas} - N * \frac{44}{28} \quad (10)$$

#### 4.3.2.1.3 Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O

Las emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O se determinan por dos vías. La primera es la volatilización de N como NH<sub>3</sub> y óxidos de N (NO<sub>x</sub>), y la deposición de estos gases y de sus productos NH<sub>4</sub><sup>+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> sobre los suelos y la superficie de masas de agua, para lo cual se ha utilizado la siguiente ecuación:

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} * Frac_{GASF}) + ((F_{ON} + F_{PRP}) * Frac_{GASM})]EF_4 \quad (11)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

#### Donde:

- Frac<sub>GASF</sub>: Fracción de N de fertilizantes sintéticos que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>, kg N volatilizado (kg de N aplicado)<sup>-1</sup>, siendo este igual a **0,1** del valor por defecto
- F<sub>PRP</sub>: Cantidad de N de la orina y el estiércol depositada por animales de pastoreo en pasturas, prados y praderas, kg N
- Frac<sub>GASM</sub>: Fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (F<sub>ON</sub>) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (F<sub>PRP</sub>) que se volatiliza como NH<sub>3</sub> y NO<sub>x</sub>, kg N volatilizado, siendo este igual a **0,2**, tomado el valor por defecto
- EF<sub>4</sub>: Factor de emisión correspondiente a las emisiones de N<sub>2</sub>O de la deposición atmosférica de N en los suelos y en las superficies del agua [kg N-N<sub>2</sub>O (kg NH<sub>3</sub>-N + NO<sub>x</sub>-N volatilizado)<sup>-1</sup>], siendo este igual a **0,01**, tomado el valor por defecto del volumen 5 del manual del IPCC (IPCC, 2006b)

Para cultivos convencionales, la ecuación presenta los siguientes términos:

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{SN} * Frac_{GASF})] * EF_4 \quad (12)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

Para cultivos agroecológicos, la ecuación presenta los siguientes términos:

$$N_2O_{(ATD)} - N = [(F_{ON} * Frac_{GASM})] * EF_4 \quad (13)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

Obtenidos los resultados de  $N_2O_{(ATD)} - N$  de las ecuaciones (12) y (13), se procede a convertir estos valores en la ecuación:

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)} - N * 44/28 \quad (14)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

La segunda vía de emisiones indirectas es la lixiviación y el escurrimiento desde la tierra de N de agregados de fertilizantes sintéticos y orgánicos, ambos residuos agrícolas.

Según la IPCC (2006b), cuando las precipitaciones (P) en la zona de estudio son menores que la evapotranspiración (EV) durante la mayor parte del año, el valor de la Frac LIXIVIACIÓN es igual a cero. En este caso, por datos tomados del INHAMI, la parroquia de La Esperanza y Tabacundo en el año 2016 presentaron una precipitación igual a 49 mm y una evapotranspiración igual a 122,2 mm, por lo que la Frac LIXIVIACIÓN es igual a cero.

**Tabla 7**

*Valor de la frac lixiviación*

Relación	Frac LIXIVIACIÓN
P < EV	0
P > EV	0,3

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

Una vez obtenidos los Kg de  $N_2O$ , se transforman a  $CO_2eq$ , para lo cual se utiliza el potencial de calentamiento global GWP del nitrógeno mediante la ecuación:

$$Kg \text{ de } CO_2 \text{ eq} = Kg \text{ de } N_2O * 298 \quad (15)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de  $N_2O$  de los suelos gestionados y emisiones de  $CO_2$  derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

#### 4.3.2.1.4 Emisiones de $CO_2$ por encalado

En la fase de preparación del suelo en los cultivos agroecológicos y el cultivo convencional, los productores utilizan como insumo la cal. Por ello, para determinar las emisiones de  $CO_2$  provenientes del encalado se utilizó la ecuación (11) del manual de la IPCC (2006b).

$$Emisión \text{ } CO_2 - C = (M_{Caliza} * FE_{Caliza}) + (M_{Dolomita} * FE_{Dolomita}) \quad (16)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de  $N_2O$  de los suelos gestionados y emisiones de  $CO_2$  derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

**Donde:**

Emisión  $CO_2-C$  = Emisiones anuales de C por aplicación de cal

$M_{caliza}$  = Cantidad en ton de piedra caliza cálcica ( $CaCO_3$ ) o dolomita  $CaMg(CO_3)_2$

FE = Factor de emisión, ton de C (ton de piedra caliza o dolomita)<sup>-1</sup>

#### 4.3.2.1.5 Emisiones de $CO_2$ de fertilización con urea

Las emisiones por urea, según la IPCC (2006b), se determinan por la ecuación:

$$Emisión \text{ } CO_2 - C = M * FE \quad (17)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de  $N_2O$  de los suelos gestionados y emisiones de  $CO_2$  derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

**Donde:**

Emisión de  $CO_2-C$ : Emisiones anuales de C por aplicación de urea

M: Cantidad anual de fertilización con urea

FE: Factor de emisión, ton de C (ton de urea)<sup>-1</sup>

#### 4.3.2.1.6 Transformación de (Kg CO<sub>2</sub> – C) a (Kg CO<sub>2</sub>)

Finalmente, se multiplican los Kg de CO<sub>2</sub> – C resultantes por 44/12 para convertirlos en Kg de CO<sub>2</sub>, tanto en las emisiones por encalado como en fertilización por urea, tal como se indica a continuación:

$$Kg\ CO_2 = CO_2 - C * 44/12 \quad (18)$$

Nota. Fuente: IPCC. (2006b). *Emisiones de N<sub>2</sub>O de los suelos gestionados y emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la aplicación de cal y urea. Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.

#### 4.3.2.1.7 Emisiones por la producción de fertilizantes

Este valor se calculó de acuerdo con la cantidad total de fertilizantes que ingresaron en la fase agrícola, tanto de los cultivos agrícolas como de los convencionales, según la siguiente fórmula:

$$Kg\ CO_2\ eq = DA * FE \quad (19)$$

**Donde:**

DA: Cantidad de fertilización con urea, ton urea  
FE: Factor de emisión

Los factores de emisión se tomaron de Biograce. La tabla 8 describe los fertilizantes utilizados.

**Tabla 8**

*Factores de emisión GEI por producción de fertilizantes*

DA (kg/ha)	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
FE (gCO <sub>2</sub> eq/Kg)	5,88	1,01	0,57

Nota. Fuente: BioGrace. (2011). *Biograce Complete List of Standar Values Version Public*. Recuperado de <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>.

Las emisiones de gas metano CH<sub>4</sub> pertenecen a los gases principales de efecto invernadero pero en esta investigación no fueron estimadas, ya que en las directrices del (IPCC 2006), en el volumen 4 capítulo 10 establece que estas emisiones de metano son procedentes de la fermentación entérica de los sistemas digestivos de los rumiantes o de la descomposición anaeróbica de la materia orgánica en los campos de arroz y debido a que en las parcelas estudiadas no presentaron para

ninguna actividad, ni utilizaron material relacionado al ganado y tampoco a cultivos de arroz, dentro de la fase agrícola, no se estimó las emisiones del gas.

#### ***4.3.2.2 Respiración del suelo***

La respiración del suelo se realizó bajo la metodología de la respiración basal, siguiendo el procedimiento detallado por Anderson (1982), el cual arroja un resultado en mg de CO<sub>2</sub> por 10 días. Pero como el estudio necesita datos diarios, se divide por 10 y posteriormente se multiplica por la duración total de días de la fase agrícola.

#### **4.3.3 Estimación de la huella hídrica**

Mediante la metodología descrita anteriormente para el cálculo de la huella hídrica se realizó la programación de una calculadora en el *software* Excel, así como también del *software* CROPWAT 8.0 de la FAO para la determinación de varios parámetros. En esta metodología se requiere calcular las huellas hídricas azul, verde y gris. A continuación se indica los procesos para su cálculo.

##### ***4.3.3.1 Recopilación de datos del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)***

Como primer paso se solicitó la información media mensual del período 2005-2015 al INAMHI sobre los datos meteorológicos de precipitación, temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, heliófila e insolación de la Estación Tomalón–Tabacundo (ver anexo 5), ya que es la estación meteorológica más cercana al área de estudio.

##### ***4.3.3.2 Cálculo de la precipitación efectiva***

Hershfield (1964) definió la precipitación efectiva como la parte de la lluvia total durante la temporada de crecimiento que está disponible para cumplir con los requisitos de consumo de agua de un cultivo; se excluye la infiltración profunda, la

escorrentía superficial y la evaporación de la superficie del suelo. Para su cálculo se ingresó los datos de la precipitación media mensual obtenidos del INAMHI en el *software* CROPWAT 8.0, seleccionando la fórmula de FAO/AGLW que responde a una precipitación confiable. Este proceso se realizó con los datos mensuales de cada año hasta cubrir el periodo en estudio.

#### ***4.3.3.3 Rendimiento agrícola***

Está definido por las toneladas cosechadas en un área delimitada de terreno. En este estudio el rendimiento fue determinado en campo, mediante el conteo de brócolis cosechados y su peso, para finalmente obtener la unidad: toneladas (ton) de brócoli sobre hectárea (ha) (EcuRed, s/f).

#### ***4.3.3.4 Parámetros de cálculo de huellas hídricas azul y verde***

Para el cálculo de las huellas hídricas azul y verde fue necesario conocer el requerimiento de agua del cultivo (RAC). Por ello, se utiliza el *software* CROPWAT 8.0 para calcular algunos parámetros específicos previos, tomando en cuenta el lugar en donde se realizó el estudio.

##### ***4.3.3.4.1 Cálculo de evapotranspiración de referencia***

Los datos medios mensuales de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento, heliófila e insolación se ingresaron en el *software* CROPWAT 8.0 para calcular la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) mediante la fórmula de Penman-Monteith. Los dos procesos se realizaron por año hasta cubrir el periodo en estudio.

##### ***4.3.3.4.2 Evapotranspiración mensual del cultivo***

Con los datos obtenidos de la evapotranspiración de referencia mensual y la información de duración de cada periodo de desarrollo del cultivo se procedió a realizar el promedio de evapotranspiración de referencia de los meses en los que se

desarrollaba cada etapa del cultivo para obtener la evapotranspiración de referencia (ET<sub>o</sub>) en las etapas inicial, media y final.

Una vez obtenidos estos valores, se aplicó la fórmula (20). En la tabla 9 se muestran los coeficientes K<sub>c</sub> del cultivo del brócoli.

$$ET_c = K_c * ET_o \quad (20)$$

Nota. Fuente: Allen G. *et al.* (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.

**Donde:**

E<sub>t</sub>: Evapotranspiración mensual del cultivo, mm/mes

E<sub>o</sub>: Evapotranspiración de referencia

K<sub>c</sub>: Coeficiente único del cultivo

**Tabla 9**

*Coefficientes de cultivo del brócoli*

K <sub>c</sub> inicial	K <sub>c</sub> medio	K <sub>c</sub> fin
0,7	1,05	0,95

Nota. K<sub>c</sub> inicial. Coeficiente en la etapa inicial del crecimiento del brócoli, K<sub>c</sub> medio. Coeficiente en la etapa media, K<sub>c</sub> fin. Coeficiente en la etapa final.

Fuente: Allen G. *et al.* (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.

**4.3.3.4.3 Ajuste del factor de agotamiento crítico (p)**

Siguiendo el proceso, se realizó el ajuste de (p) para diferentes valores de ET<sub>c</sub> mediante la fórmula:

$$p = p(\text{cultivo}) + 0,04(5 - ET_c) \quad (21)$$

Nota. Fuente: Allen G. *et al.* (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.

**Donde:**

p: factor de agotamiento crítico ajustado

p (cultivo): fracción de agotamiento de la humedad en el suelo (p) para condiciones sin estrés hídrico; valor establecido por la FAO para el brócoli

E<sub>t</sub>: Evapotranspiración promedio de los meses de cada etapa de desarrollo del cultivo, mm/día<sup>-1</sup>

**4.3.3.4.4 Factor de respuesta al rendimiento (K<sub>y</sub>)**

Para la determinación de este factor se requirió varios datos de las *Guías para la determinación de los requerimientos de agua en los cultivos*, como se puede observar en el anexo 6. La fórmula para encontrar el agua disponible total es:

$$ADT = [1000(\theta_{FC} - \theta_{WP})] * Z_r \quad (22)$$

$$ADT = [170\text{mm (agua)/m (profundidad del suelo)}] * Z_r$$

Nota. Fuente: Allen G. *et al.* (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.

**Donde:**

ADT: Total de agua disponible en la zona radicular del suelo [mm]

$\theta_{FC}$ : Contenido de humedad a capacidad de campo [m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>]

$\theta_{WP}$ : Contenido de humedad en el punto de marchitez permanente [m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup>]

$Z_r$ : Profundidad de las raíces [m]

Los datos requeridos para la ecuación (23) se pueden encontrar en el anexo C. El agua fácilmente aprovechable se determinó mediante la fórmula:

$$AFA = p * ADT \quad (23)$$

Nota. Fuente: Allen G. *et al.* (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.

**Donde:**

p: Factor de agotamiento crítico ajustado de las etapas: inicial, media y final

El nivel de agotamiento en la zona de las raíces es:

$$Dr = Wrcc - Wr \quad (24)$$

$$Dr = (1000 * \theta_{FC} * Z_r) - (1000 * \theta_{WP} * Z_r) \quad (25)$$

Nota. Fuente: Allen G. *et al.* (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.

**Donde:**

Dr: Nivel de agotamiento en las zonas de las raíces

El coeficiente de estrés hídrico (Ks) se determinó para las tres etapas del cultivo: inicial, media y final.

$$Ks = (ADT - Dr) / (ADT - AFA) \quad (26)$$

$$Ks = (ADT - Dr) / ((1 - p) * ADT)$$

Nota. Fuente: Allen G. *et al.* (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.

La evapotranspiración del cultivo con estrés hídrico (ETc aj) también se determinó para las tres etapas del cultivo:

$$ETc_{aj} = Ks * Kc * ET_o \quad (27)$$

Nota. Fuente: Allen G. *et al.* (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.

Finalmente, el factor de respuesta al rendimiento ( $K_y$ ) se calcula para cada una de las tres etapas del cultivo con los datos obtenidos anteriormente y con los datos levantados en campo, mediante la fórmula (9).

$$K_y = [1 - (Y_a/Y_x)]/[1 - (ET_{c\ aj}/ET_x)] \quad (28)$$

Nota. Fuente: Allen G. *et al.* (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. Doi: <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>.

**Donde:**

$K_y$ : Factor de respuesta al rendimiento

$Y_a$ : Rendimiento obtenido de la parcela

$Y_x$ : Rendimiento máximo general (dato histórico del lugar y/o bibliográfico)

$ET_{c\ aj}$ : Evapotranspiración del cultivo con estrés hídrico

$ET_x$ : Evapotranspiración del cultivo sin estrés hídrico

#### 4.3.3.4.5 *Requerimiento de agua del cultivo RAC*

Mediante el *software* CROPWAT 8.0 se calculó el requerimiento de riego en mm/período de cada año (RAC), para lo cual se ingresó previamente los datos en los campos de clima/ $ET_o$ , precipitación, suelo y cultivo. Para este último fue necesario realizar todos los cálculos antes mencionados.

#### 4.3.3.5 *Cálculo de la huella hídrica azul y verde*

La huella hídrica azul se calcula con la ecuación (1) y la huella hídrica verde se calcula con la ecuación (2) mencionadas anteriormente.

#### 4.3.3.6 *Huella hídrica agrícola de los cultivos agroecológicos*

Para determinar la huella hídrica agrícola de los cultivos agroecológicos se utiliza la ecuación (29), la cual no presenta el tercer componente (huella hídrica gris), ya que no se utiliza fertilizantes químicos ni plaguicidas para su control en la fase agrícola.

$$HH\ agrícola = HH\ verde + HH\ azul \quad (29)$$

#### 4.3.3.7 *Cálculo de la huella hídrica gris*

Se calculó mediante la cantidad aplicada de productos químicos para el campo por hectárea (AR, kg/ha), multiplicado por (Parra, 2016) la fracción ( $\alpha$ ) de

lixiviación y escorrentía, y dividido por la concentración máxima aceptable ( $c_{max}$ , kg/m<sup>3</sup>), menos la concentración natural para el contaminante considerado ( $c_{nat}$ , kg/m<sup>3</sup>) y finalmente dividido por el rendimiento del cultivo ( $Y$ , ton/ha) (Hoekstra *et al.*, 2011).

$$HH_{gris} = \{(\alpha * AR) / (C_{max} - C_{nat})\} / Y$$

**Donde:**

- $\alpha$ : Fracción de lixiviación de agua de riego aplicada = (10% todos)
- AR: Cantidad de fertilizante aplicada al cultivo (Kg/ha; Kg/m<sup>2</sup>)
- $C_{max}$ : Concentración máxima permisible de contaminante en la fuente receptora
- $C_{nat}$ : Concentración natural del contaminante en la fuente receptora
- Y: Rendimiento del cultivo (ton/m<sup>2</sup>)

**4.3.3.1 Huella hídrica agrícola de los cultivos convencionales**

Por último, para calcular la huella hídrica agrícola total de la fase agrícola de la cadena agroalimentaria del cultivo convencional se utiliza la ecuación (14), puesto que al utilizar fertilizantes químicos y pesticidas en los cultivos, se considera la HH gris para tratar las cargas de agua contaminadas.

$$HH_{agrícola} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris} \quad (30)$$

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1 Levantamiento de información de las parcelas

Las parcelas que se indican en la tabla 10 fueron seleccionadas por encontrarse dentro del alcance del estudio y por presentar características similares entre sí en el proceso de laboreo del suelo en la fase agrícola de la producción del brócoli. Se eligió cinco parcelas agroecológicas, y una parcela convencional, para el estudio.

**Tabla 10**  
*Información básica de las parcelas*

<b>Código de muestras</b>	<b>Tipo de cultivo</b>	<b>Área de parcela (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Kg total de producción de brócoli</b>	<b>Ubicación geográfica</b>	<b>Parroquia</b>
<b>M3</b>	A	60,38	315	0804800; 0003519	La Esperanza
<b>M4</b>	A	118,2	576	0809419; 0006402	Tabacundo
<b>M8</b>	A	9	79,2	0809136; 0003476	Tabacundo
<b>M10</b>	A	144	600	0804806; 0003527	Tabacundo
<b>M11</b>	A	56	326,7	0811423; 0003176	Tabacundo
<b>M12</b>	C	2511,6	8316	0805608; 0001169	La Esperanza

Nota. A Tipo de cultivo agroecológico. C Tipo de cultivo convencional  
Fuente: Elaborado por Chiluisa M, 2018

Como parte del levantamiento de información se realizó ortofotos de las parcelas en estudio, la cuales se puede observar en el anexo 1 y2.

### 5.2 Resultado del análisis de parámetros físico-químicos del suelo

En la tabla 11 se exhiben los resultados de los parámetros analizados en muestras de suelo de cultivos agroecológicos y convencionales, uno de estos parámetros que se observa es el porcentaje de humedad el cual indica que es mayor en el suelo de los cultivos agroecológicos, lo que significa que presenta mayor retención de agua conforme López y Llorente (2010) en comparación al suelo del cultivo convencional.

Además, también se encontró que el pH del suelo de los cultivos agroecológicos está en el rango óptimo para producir brócoli que es de 6 a 7,4 según (Andrades y Martínez, 2014), todo lo contrario con el cultivo convencional M12s ya que sobre pasa del pH óptimo para producir, con un resultado de 7,65.

**Tabla 11**

*Resultados del análisis de parámetros físico-químicos del suelo*

Parámetros	Parcelas					
	M3s	M4s	M8s	M10s	M11s	M12s
Humedad (%)	20,42	33,13	11,83	24,05	31,75	15,58
Conductividad eléctrica (dS)	0,772	0,130	0,373	0,508	0,256	0,262
pH	7,4	7,2	7,4	7,1	7,4	7,65
Textura	FA	FA	FA	FA	FA	FA
<b>% Materia orgánica MO</b>	<b>3,54</b>	<b>3,20</b>	<b>2,12</b>	<b>3,51</b>	<b>2,16</b>	<b>1,71</b>

*Nota.* FA Textura franca arenosa

Fuente: Elaborado por Chiluisa, M.

Otro resultado significativo es el porcentaje de la materia orgánica, dado que este influye en los datos antes obtenidos. Las muestras M8 y M11 presentan un porcentaje medianamente bajo en MO con 2,12% Y 2,16% respectivamente, debido a que estos agricultores empezaron, hace tan solo dos años a trabajar con principios agroecológicos; pero aun así estos suelos presentan mayor porcentaje de materia que el suelo del cultivo convencional.

En la tabla 12 se puede visualizar de mejor manera el promedio de los datos del porcentaje de materia orgánica del suelo de cultivos agroecológicos vs el convencional; los fertilizantes orgánicos que utilizan los productores agroecológicos presentan gran porcentaje de materia orgánica (Julca, Meneses, Blas y Bello, 2006).

**Tabla 12**

*Porcentaje de la materia orgánica del suelo de cultivos convencionales y agroecológicos*

Suelo	% de Materia orgánica
SCA	2,93
SCC	1,71

*Nota.* SCA Suelo de cultivos agroecológicos, SCC Suelo de cultivos convencionales

Fuente: Elaborado por Chiluisa, M, 2018.

### 5.3 Resultado del análisis de parámetros físico-químicos del agua

En la tabla 13 se puede visualizar los resultados de cada parámetro analizado, los cuales indican que el agua es apta para riego, visto que están dentro de la *Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes: Recurso Agua* del Ministerio del Ambiente (MAE).

**Tabla 13**  
*Parámetros físico-químicos del agua*

Parámetros	Parcelas					
	M3a	M4a	M8a	M10a	M11a	M12a
<i>pH</i>	7,86	8,01	8,18	8,01	7,09	7,87
<i>Conductividad eléctrica (ds/m)</i>	0,18	0,21	0,20	0,21	0,20	0,18
<i>Alcalinidad total (mg CaCO3/l)</i>	89,00	95,00	89	95,00	97,00	66,00
<i>Bicarbonato (mg CaCO3/l)</i>	89	89	83	89	97,00	66,00
<i>Cloruros (meq/l)</i>	0,36	0,46	0,49	0,46	0,48	0,46
<i>Sólidos totales (mg/l)</i>	110	250	300	250	129	130
<i>Sólidos suspendidos totales (mg/l)</i>	8	125	133	125	2	13

Nota. M4 y M10 presentan los mismos resultados porque las dos parcelas se riegan con el mismo reservorio.

Fuente: Elaborado por Chiluisa. M, 2018.

### 5.4 Resultado del análisis de pesticidas en el agua, suelo y producto.

Durante el análisis de pesticidas en el agua de riego se detectó la presencia de organoclorados en la muestra M3a. Lo anterior se debe a que las canaletas por donde se realiza la distribución de agua de riego pasan por florícolas u otros tipos de cultivos convencionales, los cuales utilizan pesticidas y fertilizantes químicos que contaminan el agua que transita por el lugar. Por tal motivo, el agua llega con residuos de estos químicos a los productores agroecológicos; este resultado se puede ver anexo 10 y 11.

Además, una característica importante que se comprobó durante el estudio es que al no presentar rastros de pesticidas en el suelo y producto, se puede afirmar que

por la materia orgánica presente en el suelo facilita la absorción de plaguicidas, como clorofenoles como lo dice Van Gesteli, Adema y Dirven-van Breemen (1996).

## **5.5 Huella de carbono**

### **5.5.1 Emisiones por parámetros**

La tabla 14 proporciona una visión general de las fuentes de emisión de GEI evaluadas, las cuales están dentro del alcance de la calculadora. El análisis comparativo más detallado se centró en los factores principales de la huella de carbono de los cultivos convencionales y agroecológicos: los insumos agroquímicos, incluidos los materiales orgánicos, la combustión móvil, como lo describe la metodología PAS 2050:2011, a esto se sumó la respiración del suelo como otro componente de la huella de carbono, como lo menciona Brenton, Edwards-Jones, y Jensen (2010) en su investigación de comparación de huellas de carbono, ya que ha venido siendo un factor importante de generación de CO<sub>2</sub> pero que no ha sido tomado en cuenta en la sumatoria de los gases GEI.

Se observa que el componente que más emisiones genera en el sistema agrícola convencional es la respiración del suelo con 2.401 kg CO<sub>2</sub>, producida por la profunda remoción del suelo con el tractor (Vásquez, Macías y Menjivar, 2013), y por las condiciones climáticas, incluyendo la descomposición de material vegetal en el suelo (Brenton et al., 2010), seguido de los valores del encalado por producción y uso, 444,81 kg CO<sub>2</sub> y 444,75 kg CO<sub>2</sub>, respectivamente, procesos que se realizan en la preparación del suelo, todo lo contrario en las emisiones de los sistemas agroecológicos, ya que la respiración de suelo también es el componente que más emisiones genera con un promedio de 68,11 kg CO<sub>2</sub>, y aun así es menor que el convencional, además que los agricultores el sistema agroecológico no utilizaron la cal por lo que este componente reporta 0 emisiones y por el laboreo manual del suelo

para su preparación, las emisiones por combustión móvil reportan 0.

**Tabla 14**

*Detalle de emisiones de GEI por componentes estudiados*

Parámetros estudiados	Parcelas					
	M3	M4	M8	M10	M11	M12
Combustibles	0	0	0	0	0	43,21
GEI fertilizantes (producción)	4,3	6,03	0,90	12,88	5,37	190,40
Encalado (producción)	0	0	0	0	0	444,81
GEI fertilizantes (uso)	2,85	4,5	0,74	11,2	4,27	121,36
Encalado (uso)	0	0	0	0	0	444,75
Respiración del suelo	55,38	91,25	7,36	133,69	52,85	2401,00
<i>Total de emisiones (kg CO<sub>2</sub>)</i>	<i>62,53</i>	<i>101,78</i>	<i>9,00</i>	<i>157,77</i>	<i>62,49</i>	<i>3645,52</i>
<b>kg CO<sub>2</sub>/kg brócoli</b>	<b>0,199</b>	<b>0,177</b>	<b>0,144</b>	<b>0,263</b>	<b>0,191</b>	<b>0,438</b>

Fuente: Elaborado por Chiluisa. M, 2018.

### 5.5.2 Huella de carbono de la fase agrícola de cultivos agroecológicos y convencionales

Se puede observar en la tabla 15 que la producción convencional de brócoli emite 438,37 gCO<sub>2</sub>eq, mientras que la producción agroecológica emite 188,61 gCO<sub>2</sub>eq, lo que quiere decir que para la producción de un kilogramo de brócoli agroecológico se emiten 2,32 veces menos gases de efecto invernadero que cuando se produce un kilogramo de brócoli de cultivo convencional.

**Tabla 15**

*Emisiones de kg CO<sub>2</sub>eq de cultivos agroecológicos vs convencionales*

Tipo de cultivos	g CO <sub>2</sub> eq / kg producción
Cultivos agroecológicos	188,61
Cultivos convencionales	438,37

Fuente: Elaborado por Chiluisa. M, 2018.

Se observa en la figura 7 la comparación de estos resultados con los estudios anteriores de la Comisión Económica para América y el Caribe (CEPAL, 2013) para cultivos convencionales. Con respecto a los cultivos agroecológicos, no existen datos para la comparación, ya que no se ha realizado el cálculo de la huella de carbono del brócoli agroecológico.

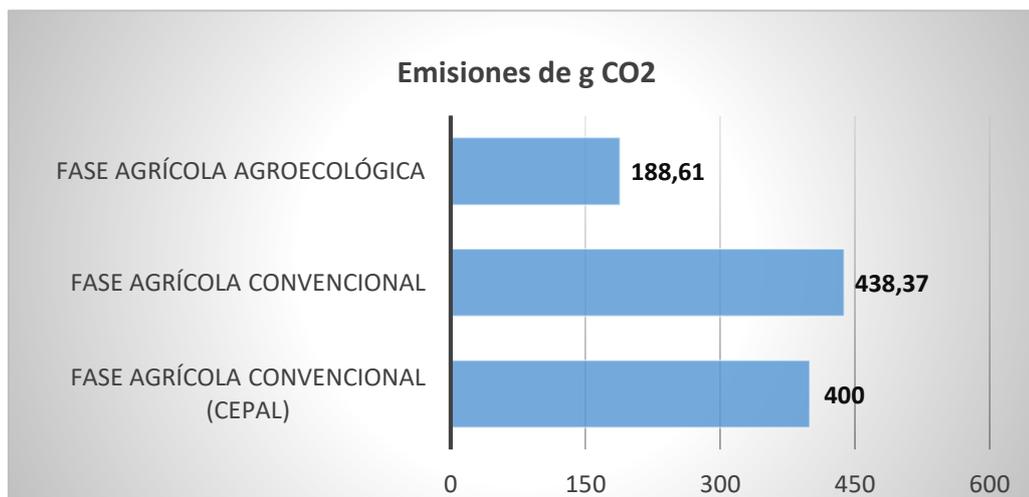


Figura 7. Emisiones de cultivos agroecológicos vs convencionales  
 Nota. Fuente: Elaborado por Chiluisa. M, 2018.

## 5.6 Huella hídrica

### 5.6.1 Recopilación de datos del INAMHI

Los datos obtenidos del INAMHI se pueden observar en el anexo 8, los cuales fueron extraídos de los reportes diarios de los últimos diez años de la estación meteorológica de Tomalón-Tabacundo y tabulados en un documento de Excel como datos primarios para armar la calculadora (ver figura 8).

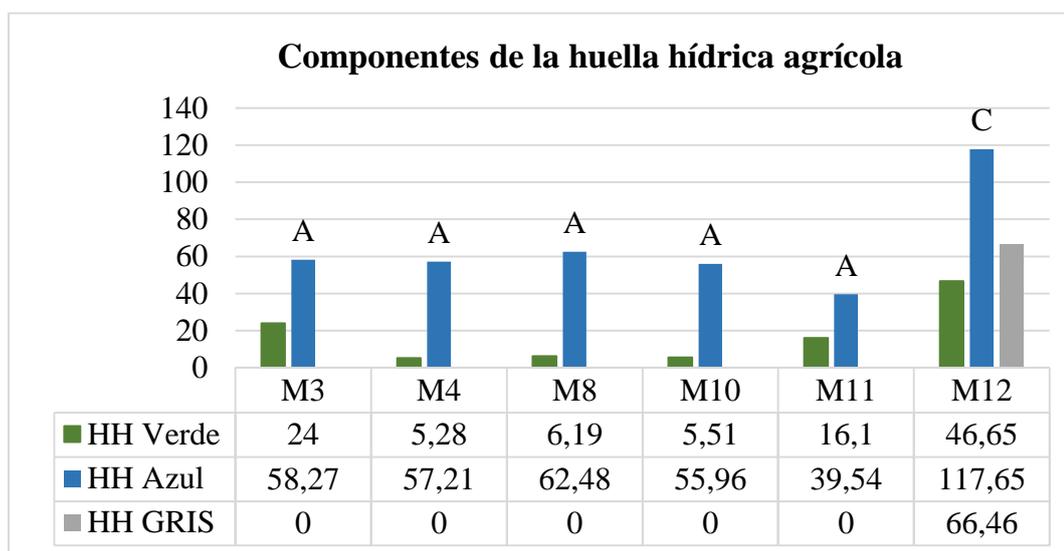
	PRECIPITACIÓN PROMEDIO REPORTE INAMHI - PUCARA (mm)												
MESES/AÑOS	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	PROMEDIO
Enero	38,3	41,2	18,8	73,8	75,2	22,6	56	86	31,7	72,9	66,9	60,8	53,68
Febrero	63,2	83,4	18,5	82	43,5	39,1	109	69,3	99,6	39,6	43,5	6,1	58,07
Marzo	68,2	108,6	84,8	145,9	105	23,3	88,4	52,7	69,2	75,1	73,8	98,2	82,77
Abril	54,8	88,2	140,1	108,4	37,7	108,5	170,8	112,7	75	40,8	63,7	116,5	93,10
Mayo	30,2	38,5	41,6	91,7	26,5	60,2	39,7	6,7	124,5	98,6	23,7	55,9	53,15
Junio	21,8	62,3	31,8	37,8	48,5	48,6	26,2	7,7	2,5	25	3,1	25,9	28,43
Julio	7,6	3,5	5	9,5	1,7	63,1	58,8	3,2	3,8	2,2	21,8	5,1	15,44
Agosto	6,6	4,9	12,3	22,8	1,3	10,2	31,4	5,6	22,9	3,3	0,7	2,5	10,38
Septiembre	40,3	4,6	8,6	39,4	14,6	47,6	14,9	9,5	4,7	56,6	14,1	37,1	24,33
Octubre	45,1	72,7	102,7	123	42,6	57,7	77,1	59,8	82,3	123,2	56,5	91,3	77,83
Noviembre	33,6	134,2	81,5	57,8	31,4	115,5	59	113,9	23,8	78,8	61,5	32,9	68,66
Diciembre	169,1	101,5	72	53,9	67,4	105,1	86	19,4	42,6	34	1	56,8	67,40
TOTAL	578,80	743,60	617,70	846,00	495,40	701,50	817,30	546,50	582,60	650,10	430,30	589,10	633,24
PROMEDIO	48,23	61,97	51,48	70,50	41,28	58,46	68,11	45,54	48,55	54,18	35,86	49,09	52,77

Figura 8. Datos tabulados en Excel  
 Nota. Fuente. Elaborado por: Chiluisa. M, 2017.

### 5.6.2 Huella Hídrica Azul, Verde y Gris

En la figura 9 se puede observar los resultados de las huellas hídricas verde, azul y gris. Es claro que todos los cultivos agroecológicos no presentan huella gris, puesto que no generan pasivos ambientales que requieran de una posterior

descontaminación. También se notó que los datos pertenecientes a la huella azul tienen una orientación baja, debido a que estos cultivos, al presentar un mayor porcentaje de materia orgánica, no tienen la necesidad de realizar más riegos y así consumen menos agua que los cultivos convencionales.



*Figura 9.* Huellas hídricas verde y azul de cada parcela en estudio

Nota. Fuente: Elaborado por Chiluisa. M, 2018.

### 5.6.3 Huella Hídrica de la fase agrícola de cultivos agroecológicos y convencionales

En la tabla 16 se puede ver que el sistema agrícola convencional del brócoli presenta una huella hídrica total de 230,75 m<sup>3</sup>/ton, conformada por la HH verde igual a 46,65 m<sup>3</sup>/ton, la HH azul con 117,65 y finalmente la HH gris con 66,46 m<sup>3</sup>/ton. Estos valores son comparables con el estudio de Orjuela y Vargas (2016) realizado en Colombia, ya que muestra unos resultados de 288,2 m<sup>3</sup>/ton en la huella hídrica total, 107 m<sup>3</sup>/ton para la HH verde, 94,3 m<sup>3</sup>/ton para la HH azul y 86,9 m<sup>3</sup>/ton para la HH gris. El parámetro con más variación es HH verde debido al clima del lugar donde se realizaron estos proyectos.

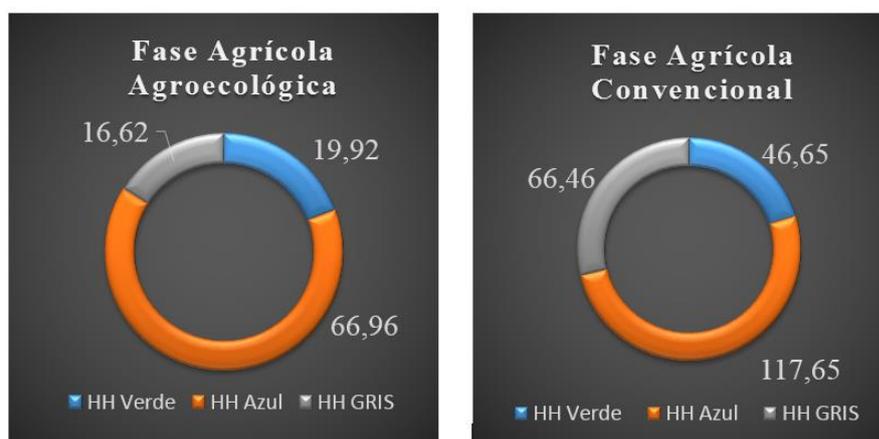
**Tabla 16**

*Huella hídrica agrícola de las parcelas en estudio*

Tipo de cultivo	Huella hídrica agrícola (m <sup>3</sup> /ton)
Cultivos agroecológicos	82,11
Cultivos convencionales	230,75

Elaborado por: Chiluisa. M, 2018

Además es importante aclarar que no se encontró información sobre huella hídrica agrícola de la producción agroecológica de brócoli, por lo que no se puede realizar una comparación. A pesar de ello se nota claramente la diferencia entre los resultados de la fase agrícola de la cadena agroalimentaria convencional vs la agroecológica.



*Figura 10. Componentes de la huella hídrica*

Nota. Fuente: Elaborado por Chiluisa. M, 2018.

## 6. Conclusiones y recomendaciones

En el presente estudio se concluyó con respecto a la huella de carbono que para producir 1 kg de brócoli en el sistema agroecológico se emiten 188,61 gCO<sub>2</sub>eq, versus 438,37 gCO<sub>2</sub>eq para producir 1 kg de producto en el sistema agrícola convencional, con lo cual se puede notar claramente el impacto que genera el sistema agrícola convencional, atribuyéndole ese valor a los fertilizantes químicos, a la cal industrial que coloco en la preparación del suelo y principalmente a la respiración del suelo por todo el laboreo realizado por el tractor.

En la huella hídrica se encontró que para el sistema agroecológico se necesitó 82,11 m<sup>3</sup> de agua para producir 1 tonelada de brócoli, su valor es bajo ya que este sistema no presenta el componente huella hídrica gris, pues no utiliza fertilizantes químicos durante la producción, evitando la utilización de más agua para su descontaminación. Para el cultivo convencional se necesitó 230,75 m<sup>3</sup> de agua puesto que en este sistema sí se determinó el componente de la huella gris, el cual aumentó el valor total de la huella hídrica del sistema agrícola convencional para la producción de 1 tonelada de brócoli.

Los análisis físico-químicos revelaron la situación actual del suelo y el agua. Se concluyó que los fertilizantes orgánicos ayudan a mantener tanto la estructura física como la química del suelo, ya que se encontró altos porcentajes de materia orgánica en los suelos de sistemas agroecológicos, a diferencia de los suelos de los sistemas agrícolas convencionales, que presentaron bajo porcentaje de materia orgánica. En tanto que los resultados del análisis del agua mostraron parámetros físicos normales dentro de las normativa de calidad de agua para riego vigente, pero en los parámetros químicos se encontró rastros de organoclorados, lo que indica que las grandes plantaciones de flores y de monocultivos aledañas a las parcelas

estudiadas si causan externalidades negativas las cuales afectan a los pequeños agricultores, ya que les obligan a realizar más trabajo para combatir la contaminación genera y muchas veces no presentan los recursos necesarios para realizar las acciones correctivas.

Se demostró que aunque el agua de riego presentaba organoclorados, los análisis de pesticidas del suelo y producto no mostraron rastros del mismo, y esto se debe al laboreo que realizan los productos agroecológicos, ayudando a descontaminar y proteger sus cultivos, así como también garantizar la calidad de sus productos.

Los resultado de los dos indicadores estudiados en el ACV de los dos sistemas agrícolas sirven como una herramienta para instaurar las ecoetiquetas en los productos agroecológicos, ya que está comprobado que los sistemas agroecológicos generan menos impactos ambientales que los sistemas convencionales y de esta manera se valoriza y se visibilizar el trabajo de los campesinos, así como promover el consumo nacional del brócoli, para que su producción no solo se enfoque en la exportación.

Es necesario desarrollar investigaciones para estimar los impactos ambientales de las siguientes fases de la cadena agroalimentaria del producto que son el mercadeo que contiene varios subprocesos y el consumo, completando la información de todas las fases de las cadenas y mostrar a los consumidores cuales son los beneficios que tienen al comprar productos agroecológicos, así como también impulsar las circuitos cortos de venta de productos nacionales mejorando el metabolismo campo - ciudad.

## 7. Bibliografía

- Agostini, M. de los Á., Monterubbianesi, M. G., Studdert, G. A., & Maurette, S. (2014). Un método simple y práctico para la determinación de densidad aparente. *Ciencia del Suelo*, 32(2), 171–176.
- Aguilar, A., Etchevers, J., & Castellanos, J. (1987). *Análisis Químico Para Evaluar La Fertilidad del Suelo* (Primera). Mexico: Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo.
- Allen G., R., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. *Estudios FAO Riego y Drenaje* 56, 297. <https://doi.org/10.1590/1983-40632015v4529143>
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2000). *AGROECOLOGÍA Teoría y práctica para una agricultura sustentable* (Primera). México: Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente . Recuperado a partir de <https://www.socla.co/wp-content/uploads/2014/altieri-libroagroecologia.pdf?iv=192>
- Anderson, J. P. (1982). Soil Respiration. En Page, R. H, Miller, D.R., Keeney, & eds (Eds.), *Methods of soil analysis* (Segunda, pp. 831–871). Wisconsin- USA: Soil Science Society of America Number 9.
- Andrades, M., & Martinez, E. (2014). Fertilidad del suelo y parámetros que la definen. *Universidad de la Rioja-Servicio de Publicaciones., Iberus*(3), 16–34. Recuperado a partir de <http://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=267902&info=resumen&idioma=SPA>
- Association American Public Health. (1992). *Standard Methods for the Examination of water an waste*. (APHA, Ed.) (18th Editi). Washington.

BioGrace. (2011). Biograce Complete List of Standar Values Version Public.

Recuperado el 14 de enero de 2018, a partir de

<http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>

Brenton, P., Edwards-Jones, G., & Jensen, M. F. (2010). *Carbon footprints and food systems : do current accounting methodologies disadvantage developing countries?* World Bank.

British Standards Institution (BSI). (2008). *PAS 2050:2008. Specification for the Assessment of the Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Goods and Serveces-Guide to PAS 2050. How to Access the Carbon Footprint of Goods and Services.* London:BSI.

Carbon Trust. (2007). *Carbon Footprint Measurement Methodology. The Carbon Trust.* London, UK. Recuperado a partir de <http://www.carbontrust.co.uk>

Comisión Económica para América y el Caribe (CEPAL). (2013). Informe del Cuarto Seminario internacional sobre la huella de carbono “Huella ambiental en las exportaciones de alimentos de América Latina: normativa internacional y prácticas empresariales”. *Colección Documentos de Proyectos.* Recuperado a partir de

[http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4083/S2013303\\_es.pdf;jsessionid=135CAA01B59EB6EF742562FA69EC799E?sequence=1](http://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/4083/S2013303_es.pdf;jsessionid=135CAA01B59EB6EF742562FA69EC799E?sequence=1)

Díaz, A. (2016). *Cadenas Alimentarias Con Visión Agroecológica , Y Sus Aportaciones En El Ambito Social Y Territorial.* Universidad Complutense de Madrid.

EcuRed. (s/f). Rendimiento agrícola. Recuperado el 14 de enero de 2018, a partir de [https://www.ecured.cu/Rendimiento\\_agrícola](https://www.ecured.cu/Rendimiento_agrícola)

Enriquez, C. (s/f). El brócoli mantiene una alta demanda externa. *Revista Lideres.*

Recuperado a partir de

<http://edicionimpresa.elcomercio.com/es/13153656a0ae0c21-c200-4222-8cda-e33df78b93d8>

Fernández, L., Roldán, T., Zegarra, H., & Hernández, D. (2008). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Mexico.

García, M., Riveros, H., Pavez, I., Lam, F., & Herrera, D. (2009). Cadenas agroalimentarias: un instrumento para fortalecer la institucionalidad del sector agrícola y rural. *Agronegocios*, 4(2), 26–38. Recuperado a partir de <http://copal.org.ar/wp-content/uploads/2015/06/cadenasagroalimentarias2.pdf>

Giampietro, M., & Pimentel, D. (1991). Energy Efficiency: Assessing the Interaction between Humans and Their Environment. *Ecological Economics*, 4.

Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. London-Washington, DC: earthscan.

Iglesias, D. J. (2014). *La Huella de Carbono en Plantaciones de Cítricos*. Instituto Valenciano de Investigación Agrarias. Recuperado a partir de <http://www.ivia.gva.es>

Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. (1998). *Estadísticas del Medio Ambiente 1997*. Mexico. Recuperado a partir de [https://books.google.com.ec/books?id=TDnxCwAAQBAJ&pg=PA4&lpg=PA4&dq=Instituto+de+Recursos+Mundiales+1992-1993&source=bl&ots=Qolb--v--C&sig=47eYvf\\_ZoRIIbFEqNtT0NtFick&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi12dXp6dbYAhVvUd8KHYZ3CwMQ6AEIKjAB#v=snippet&q=2040&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=TDnxCwAAQBAJ&pg=PA4&lpg=PA4&dq=Instituto+de+Recursos+Mundiales+1992-1993&source=bl&ots=Qolb--v--C&sig=47eYvf_ZoRIIbFEqNtT0NtFick&hl=es-419&sa=X&ved=0ahUKEwi12dXp6dbYAhVvUd8KHYZ3CwMQ6AEIKjAB#v=snippet&q=2040&f=false)

International Organization for Standardization. ISO 14040 (2016).

- IPCC. (2006). *Combustión Móvil*. (K. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, Ed.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 2). Japón: IGES.
- IPCC. (2006). *Emisiones de N<sub>2</sub>O de los Suelos Gestionados y Emisiones de CO<sub>2</sub> derivadas de la Aplicación de Cal y Úrea*. (T. K. Eggleston H., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Ed.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Prepared b, Vol. 4). Japón: IGES.
- IPCC. (2006). Introducción. En K. Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe (Ed.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 2, pp. 1–30). Japón: IGES.
- IPCC. (2006). *Introducción*. (T. K. Eggleston H., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Ed.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero* (Vol. 4). Japón: IGES.
- Julca-Otiniano, A., Meneses-Florián, L., Blas-Sevillano, R., & Bello-Amez, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA Y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia (Arica)*, 24(1), 49–61.  
<https://doi.org/10.4067/S0718-34292006000100009>
- Karkanis, P. G., Au, K., & Schaalje, G. B. (1991). Comparison of 4 Measurement Schedules for Determination of Soil Particle-Size Distribution by the Hydrometer Method. *Canadian Agricultural Engineering*, 33(2), 211–215.
- Klöpffer, W., & Grahl, B. (2014). *Life Cycle Assessment (LCA): A Guide to Best Practice*. (V. G. y C. KGaA, Ed.). Germany: WILEY-VCH.  
<https://doi.org/10.1002/9783527655625.ch5>
- La Gra, J., Kitinoja, L., & Alpizar, K. (2016). *Metodología de evaluación de cadenas agroalimentarias para la identificación de problemas y proyectos: un primer*

*paso para la disminución de pérdidas de alimentos*. Costa Rica: IICA.

López, D., & Llorente, M. (2010). *La agroecología: hacia un nuevo modelo agrario*.

(Ecologistas en Acción, Ed.). Madrid. Recuperado a partir de

[https://www.researchgate.net/profile/Mireia\\_Llorente/publication/317063663\\_La\\_agroecologia\\_hacia\\_un\\_nuevo\\_modelo\\_agrario\\_Sistema\\_agroalimentario\\_produccion\\_ecologica\\_y\\_consumo\\_responsable/links/5923e5cca6fdcc4443fa3bea/La-agroecologia-hacia-un-nuevo-model](https://www.researchgate.net/profile/Mireia_Llorente/publication/317063663_La_agroecologia_hacia_un_nuevo_modelo_agrario_Sistema_agroalimentario_produccion_ecologica_y_consumo_responsable/links/5923e5cca6fdcc4443fa3bea/La-agroecologia-hacia-un-nuevo-model)

Mançano, B. (2013). Territorios: teoría y disputas por el desarrollo rural. *Cedem*, 17, 116–133.

Mart, J., Alier, N. E. Z., & Econ, C. (2001). *Economía ecológica y política ambiental* (Segunda Ed). México: Fondo de Cultura Económica.

Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), & Coordinación General del Sistema de Información Nacional (SINAGAP).

(2013). Boletín Situacional del Brócoli 2013. Recuperado a partir de

<http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/brocoli.pdf>

Ministerio de Agricultura Ganadería Acuacultura y Pesca (MAGAP), & Coordinación General del Sistema de Información Nacional (SINAGAP).

(2014). *Boletín Situacional Brócoli*. Ecuador.

Ministerio del Ambiente MAE. (2011). Norma de Calidad Ambiental y de descarga de efluentes : Recurso Agua. *TULAS Texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente*, 8–9.

Municipio de Pedro Moncayo. (2006). *Tabacundo en la historia*. Tabacundo: Municipio de Tabacundo.

Oleas, M. del R. (2002). *Análisis de Competitividad de la Cadena Agroalimentaria del Brócoli: Brócoli Fresco /Brócoli Congelado*. Universidad Central del

Ecuador.

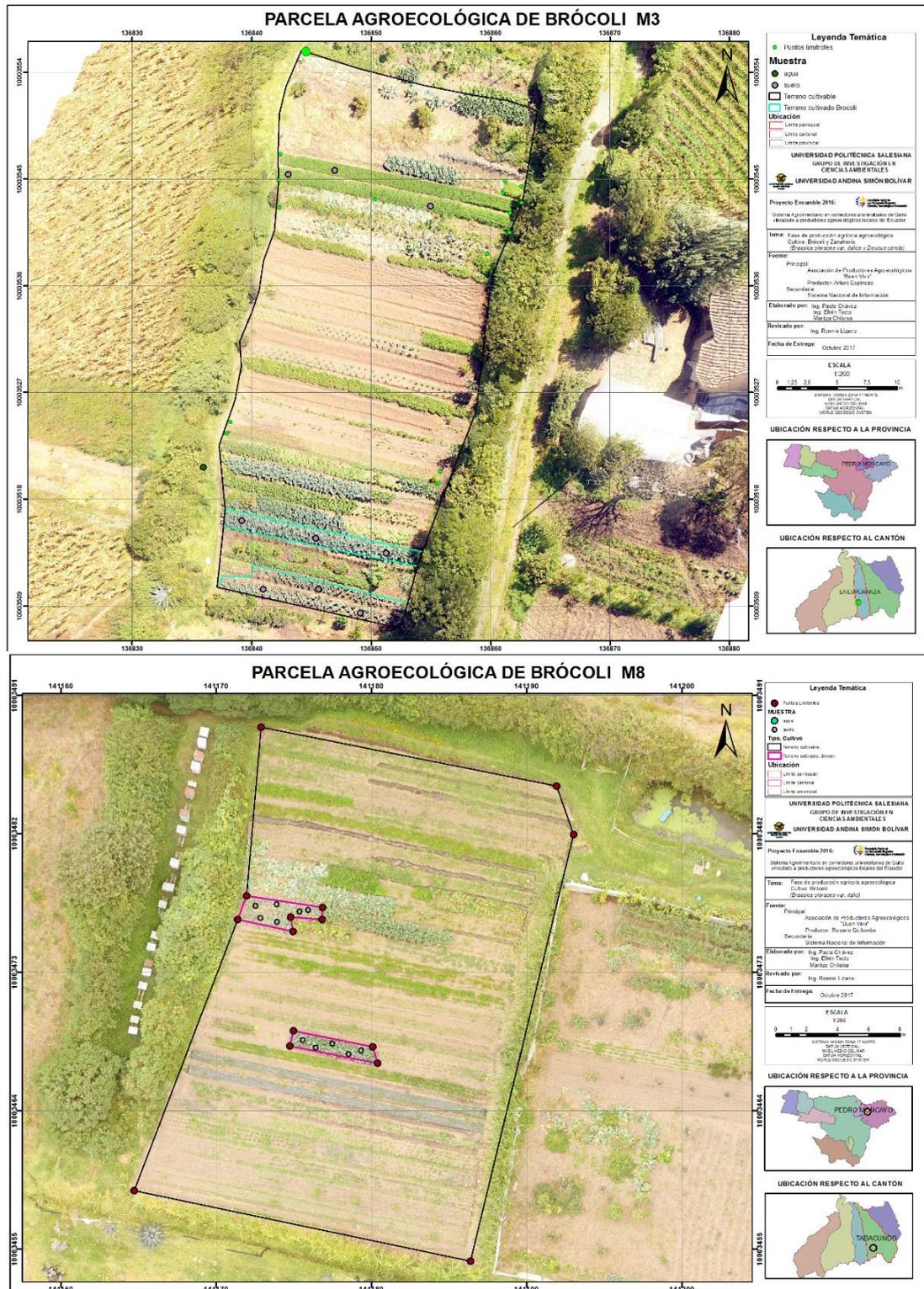
- Orjuela, M., & Vargas, D. (2016). *Estrategias para el uso eficiente del agua a partir de la estimación de huella hídrica en cultivos de Lechuga (Lactuca Sativa) y Brócoli (Brassica) para una finca de diez hectáreas en Mosquera Cundinamarca*. Universidad de la Salle. Recuperado a partir de [http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20412/41112702\\_2016.pdf?sequence=1](http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/20412/41112702_2016.pdf?sequence=1)
- Orozco, I. H. (2016). Evaluación Ambiental mediante el Análisis de ciclo de vida. En *Sustentabilidad energética, medio ambiente y sociedad*, (p. 60). España.
- Parra, Y. (2016). *Evaluación de la huella hídrica del cultivo de flores de especie hydrangea en el municipio de facatativá*. Universidad de la Salle.
- Pérez, A., & Landeros, C. (s/f). Agricultura y deterioro ambiental. Recuperado a partir de [https://www.researchgate.net/profile/Cesareo\\_Landeros-Sanchez/publication/280319205\\_Agricultura\\_y\\_deterioro\\_ambiental/links/55b28b2b08ae9289a0858aec/Agricultura-y-deterioro-ambiental.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Cesareo_Landeros-Sanchez/publication/280319205_Agricultura_y_deterioro_ambiental/links/55b28b2b08ae9289a0858aec/Agricultura-y-deterioro-ambiental.pdf)
- Pino, M. (2017). Los Sistemas Participativos de Garantía en el Ecuador. Aproximaciones a su desarrollo. *Letras Verdes*, (22), 120–145. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.17141/letrasverdes.22.2017.2679>
- Sadzawka, A. (2006). *Metodos de analisis de agua para riego*, 332 p.
- Thompson, L. M. (Louis M., & Troeh, F. R. (1980). *Los suelos y su fertilidad*. Reverté.
- Van Gesteli, C. A. M., Adema, D. M. M., & Dirven-van Breemen, E. M. (1996). Phytotoxicity of some chloroanilines and chlorophenols, in relation to bioavailability in soil. *Water, Air, and Soil Pollution*, 88(1), 119–132. <https://doi.org/10.1007/BF00157417>

Vandepitte, M. (2012). *Otra economía es necesaria y posible. Rebelión*.

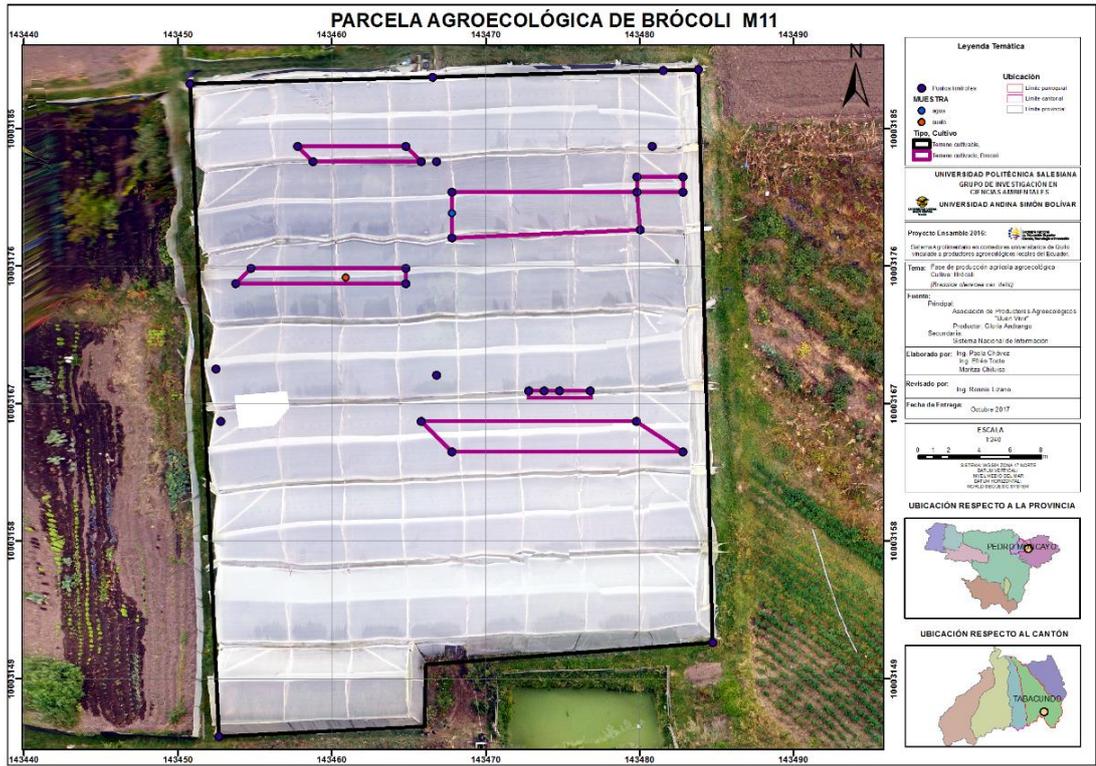
Vásquez, J. R., Macías, F., & Menjivar, J. C. (2013). Respiración del Suelo Según su Uso y su Relación con Algunas Formas de Carbono en el Departamento de Magdalena, Colombia. *Bioagro*, 25(3), 175–180. Recuperado a partir de [http://www.ucla.edu.ve/Bioagro/Rev25\(3\)/4\\_MS\\_1316.pdf](http://www.ucla.edu.ve/Bioagro/Rev25(3)/4_MS_1316.pdf)

## 8. Apéndice/Anexos

### Anexo I Mapas de las parcelas de cultivos agroecológicos







Anexo 2 Mapa de la parcela del cultivo convencional



## Anexo 3 Cuestionario para recolectar información en campo para la huella hídrica



CUESTIONARIO DE HUELLA HÍDRICA

### CUESTIONARIO EN CAMPO PARA HUELLA HÍDRICA

Nombre del Propietario: \_\_\_\_\_ Fecha de visita: \_\_\_\_\_

Nombre clave de la parcela: \_\_\_\_\_ Superficie: \_\_\_\_\_ (ha)

Ubicación en Coordenadas: \_\_\_\_\_

CULTIVO:  \_\_\_\_\_ VARIEDAD: \_\_\_\_\_

PERÍODO DEL CULTIVO				
Etapas	Cultivo en estado	Altura de tallo (cm, m)	Tamaño de raíz (cm, m)	Días contados
Inicio				
Desarrollo				
Medio				
Fin				
TOTAL DE DÍAS				

#### Etapa: Preparación del suelo

Fecha de preparación: \_\_\_\_\_ (Fecha de visita: \_\_\_\_\_)

Aplicación de aditamentos/nutriente:

Nombre:	Tipo de aditamento:		Composición:	Cantidad:
	Orgánico	Sintético		

\*Número de días aproximados de lluvia: \_\_\_\_\_ (x días/semana; x días/mes)

#### Etapa: Siembra

\*Fecha de siembra: \_\_\_\_\_ (Fecha de visita: \_\_\_\_\_)

Cantidad de semilla: \_\_\_\_\_ (x/parcela-x/ha) (aproximadamente)

Profundidad de colocación: \_\_\_\_\_ (cm/surco, mm/surco, aproximadamente)

\*\*Aplicación de Riego a la fecha: SI \_\_\_\_/NO \_\_\_\_ \*\*Reservorio: SI \_\_\_\_/NO \_\_\_\_

\*Número de días aproximados de lluvia: \_\_\_\_\_ (x días/semana; x días/mes)

#### Etapa: Fertilización

\*Fecha de fertilización: \_\_\_\_\_ (Fecha de visita: \_\_\_\_\_)

Nombre	Tipo		Cantidad	Frecuencia de aplicación	Etapa de período de cultivo
	Org	Sin.			
Composición/Mezcla:					
Composición/Mezcla:					

Aplicación de Riego a la fecha: SI \_\_\_\_/NO \_\_\_\_

\*Número de días aproximados de lluvia: \_\_\_\_\_ (x días/semana; x días/mes)

#### Etapa: Controles (herbicidas, plaguicidas, etc)

(Fecha de visita: \_\_\_\_\_)

Nombre	Tipo		Cantidad	Frecuencia de aplicación	Etapa de período de cultivo
	Org	Sin.			
Composición/Mezcla:					
Composición/Mezcla:					

Aplicación de Riego a la fecha: SI \_\_\_\_/NO \_\_\_\_

\*Número de días aproximados de lluvia: \_\_\_\_\_ (x días/semana; x días/mes)

#### Etapa: Cosecha

\*Fecha de cosecha: \_\_\_\_\_ (+) ha de visita: \_\_\_\_\_

Cantidad cosechada	Número de costales	Peso de costales	Cantidad de residuos (peso)

Aplicación de Riego a la fecha: SI \_\_\_\_/NO \_\_\_\_

\*Número de días aproximados de lluvia: \_\_\_\_\_ (x días/semana; x días/mes)

#### Etapa: Post-cosecha

(Fecha de visita: \_\_\_\_\_)

Uso de los residuos: \_\_\_\_\_

Aplicación de Riego a la fecha: SI \_\_\_\_/NO \_\_\_\_

### SISTEMA DE RIEGO Y RESERVORIO

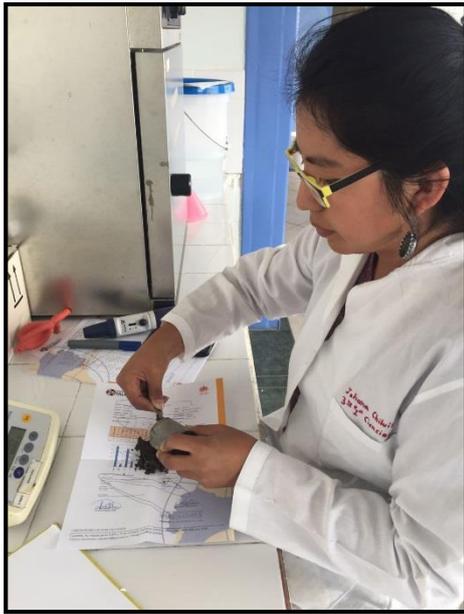
Datos del reservorio	
A=	a=
B=	b=
H=	*Q=

Tipo de sistema de riego	Duración	Repeticiones	Horarios

Caudal del sistema de riego		
VOLUMEN (Vo)	TIEMPO (t)	CAUDAL (Q)



Anexo 4 Análisis en el laboratorio



Preparación de muestras de suelo



Medición de la conductividad eléctrica



Titulación, para la determinación de la respiración del suelo



Preparación de las muestras de agua

## Anexo 5 Cálculo de Emisiones por combustión móvil

EMISIONES DE CO <sub>2</sub> EMITIDOS POR EL TRACTOR	
Cantidad de diésel (galones)	3,86
Cantidad de diésel (m <sup>3</sup> )	0,015
Cantidad de diésel (kg)	12,15
Cantidad de diésel (Gg)	0,00001
VCN TJ	0,001
VCN GJ	0,52
CO <sub>2</sub> (kg)	38,71
NO <sub>2</sub> (kg)	0,015
CH <sub>4</sub> (kg)	0,002
kg CO <sub>2</sub> eq	38,71
kg NO <sub>2</sub> eq	4,45
kg CH <sub>4</sub> eq	0,05
<b>TOTAL kg CO<sub>2</sub> eq</b>	<b>43,215</b>

## Anexo 6 Cálculo de Emisiones directas e indirectas de NO<sub>2</sub>

M12			
N <sub>2</sub> O EMISIONES DIRECTAS APORTADO POR LOS FERTILIZANTES			
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
F <sub>ON</sub>	Cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante orgánico.	21,47	kgN
EF1	Factor de emisión para emisiones de N <sub>2</sub> O	0,01	%
N <sub>2</sub> O_N directas	Emisiones de Oxido Nitroso como N	0,21	kgN
<b>TOTAL de Emisiones directas de N<sub>2</sub>O</b>		<b>0,34</b>	<b>kg N<sub>2</sub>O</b>

N <sub>2</sub> O EMISIONES INDIRECTAS APORTADO POR DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE N VOLATILIZADO DE SUELOS GESTIONADOS			
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
EF4	factor de emisión correspondiente a las emisiones de N <sub>2</sub> O de la deposición atmosférica de N en los suelo	0,01	%
FON	Cantidad anual de estiércol animal gestionado, <i>compost</i> , lodos cloacales y otros agregados de N orgánico aplicada a los suelos	21,47	kg N
[[Frac]]_GASM	Fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (F <sub>ON</sub> ) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (FPRP) que se volatiliza como NH <sub>3</sub> y NO, kg N volatilizado	0,20	%
N <sub>2</sub> O_N (ATD)	Nitrus oxide emissions as N	0,04	kgN
<b>TOTAL Emisiones indirectas de N<sub>2</sub>O:</b>		<b>0,07</b>	<b>Kg N<sub>2</sub>O</b>

EMISIONES DE CO2 POR ENCALADO			
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
M caliza	Cantidad anual de piedra caliza cálcica (CaCO3) o dolomita (CaMg(CO3)2), ton	0,61	ton CaCO3/produccion
EF caliza	Factor de emisión, ton de C (ton de piedra caliza o dolomita)-1	0,12	(ton C)^(-1)
M dolomita	Cantidad anual de piedra caliza cálcica (CaCO3) o dolomita (CaMg(CO3)2), ton	0,37	ton CaMg(CO3)2
EF dolomita	Factor de emisión, ton de C (ton de piedra caliza o dolomita)-1	0,13	(ton C)^(-1)
CO2-C	Emisiones anuales de C por aplicación de cal, ton C	0,12	ton C
<b>TOTAL Emisiones indirectas de CO2:</b>		<b>0,44</b>	<b>ton CO2</b>
<b>TOTAL Emisiones indirectas de CO2:</b>		<b>444,75</b>	<b>kg CO2</b>

## Anexo 7 Datos Meteorológicos del INAMHI

salm1094v: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Viento-Dirección Predominante -Velocidad 13H(m/s)

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: TOMALON-TABACUNDO CODIGO: M1094

PERIODO: 2005 - 2017 LATITUD: 06 0' 40.16" N LONGITUD: 78 15' 18.19" W ELEVACION: 2790.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2005	4.8 SW	3.8 SW	4.0 SW	5.1 E	3.6 W	11.0 SE	8.2 SE	8.3 E	12.0 E	3.1 SW	4.4 SW	4.4 SW	72.6	6.0
2006	3.7 W	4.4 SW	2.8 SW	2.8 SW	4.7 SW	10.0 E	13.0 SE	11.0 SE	8.9 E	9.3 E	5.4 SW	4.2 SW	80.2	6.6
2007	11.0 E	5.8 SW	5.4 SW	3.9 W	4.6 SW	9.6 E	12.0 E	9.8 E	11.0 SE	4.7 SW	4.1 SW	4.3 SW	86.2	7.1
2008	4.6 SW	3.8 SW	4.6 SW	2.9 W	3.4 W	7.6 E	6.5 E	7.1 SE	6.9 E	4.1 NE	4.0 SW	4.5 SW	60.0	5.0
2009	3.8 SW	3.6 SW	2.9 W	2.6 SW	4.9 E	7.8 E	8.9 E	10.0 E	12.0 E	5.6 E	4.7 SW	3.7 SW	70.5	5.8
2010	3.7 W	9.1 SE	6.5 E	2.5 W	3.6 SW	7.8 E	2.8 SW	7.9 E	5.7 E	3.5 SW	3.4 SW	2.9 SW	59.4	4.9
2011	4.6 SW	2.9 SW	3.2 SW	2.9 SW	3.0 SW	2.6 W	9.1 SE	9.8 SE	8.1 E	3.5 SW	3.8 SW	3.6 SW	57.1	4.7
2012	3.6 SW	2.5 SW	6.3 E	2.4 SW	7.8 E	7.9 E	11.0 E	8.1 SE	10.0 E	2.6 SW	3.1 SW	3.0 SW	68.3	5.6
2013	5.8 E	2.0 SW	2.1 SW	2.7 SW	2.0 SW	6.7 E	10.0 E	8.4 E	7.9 E	2.5 SW	3.8 SW	8.0 E	61.9	5.1
2014	3.1 SW	3.8 SW	3.4 SW	6.2 E	2.5 SW	8.0 E	10.0 E	10.0 E	8.1 E	3.7 SW	3.0 SW	2.3 SW	64.1	5.3
2015	5.7 E	1.8 SW	1.8 SW	4.7 E	1.8 SW	8.2 SE	6.0 SE	7.9 SE	7.1 E	3.8 E	2.2 SW	7.2 SE	60.2	5.0
2016	2.6 SW	2.2 SW	1.6 SW	1.7 SW	6.1 SE	4.5 E	6.8 SE	7.3 SE	5.2 E	3.6 SW	4.1 SW	2.9 SW	48.6	4.0
media	4.7	3.8	3.7	3.3	4.0	7.6	8.6	8.8	8.5	4.3	3.8	4.2	65.7	5.4
minima	2.6	1.8	1.6	1.7	1.8	2.6	2.8	7.1	5.2	2.5	2.2	2.3		1.6
maxima	11.0	9.1	6.5	6.2	7.8	11.0	13.0	11.0	12.0	9.3	5.4	8.0		13.0

salm343r: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Precipitación Total Mensual (mm)

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: EL QUINCHÉ-PICHINCHA CODIGO: M0343

PERIODO: 2005 - 2017 LATITUD: 06 6' 31.2" S LONGITUD: 78 17' 53" W ELEVACION: 2605.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2005	11.0	22.8	29.8	28.7	22.2	7.7	3.2	12.5	15.8	20.3	20.3	85.5	279.8	23.3
2006	47.6	19.6	69.8	83.5	17.0	19.1	0.0	0.0	0.0	23.2	82.5	121.6	483.9	40.3
2007	29.3	4.6	40.9	98.8	26.4	12.4	0.0	2.4	4.2	40.3	52.3	22.2	333.8	27.8
2008	46.6	46.1	113.8	104.1	101.0	21.3	15.7	9.3	19.9	60.3	17.5	17.4	573.0	47.7
2009	96.1	26.4	25.5	61.1	17.8	0.0	0.9	2.3	14.5	4.2	31.0			
2010	9.4	13.3	16.0	42.8	51.4	17.9	53.7	10.2	31.5	16.3	61.4	80.2	404.1	33.6
2011	51.3	37.6	46.8	100.4	37.5	6.7	28.6	12.9	8.5	23.7	12.9			
2012	47.3	30.4	26.8	58.3	2.3	1.5	0.0	3.7	5.7	39.2	54.2	5.5	274.9	22.9
2013	9.4	48.9	20.3	38.5	67.6	0.0	0.8	2.8	6.1	36.8	0.4	11.6	243.2	20.2
2014	69.8	46.6	61.7	41.4	62.5	15.5	0.8	0.9	54.1	47.2	20.8	13.3	434.6	36.2
2015	37.5	35.5	55.8	31.2	21.8	0.5	5.7	0.0			31.7			
suma	455.3	305.4	508.1	653.2	470.8	120.4	108.5	55.6	148.1	321.8	358.2	388.3	3893.7	324.4
media	41.3	30.5	46.1	59.3	42.8	10.9	9.8	5.0	14.8	32.1	32.5	43.1	368.8	30.7
minima	9.4	4.6	16.0	25.5	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	14.5	0.4	5.5		0.0
maxima	96.1	48.9	113.8	104.1	101.0	21.3	53.7	12.9	54.1	60.3	82.5	121.6		121.6

salm009tm: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Temperatura Media Mensual (°C)

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: LA VICTORIA INERHI CODIGO: M0009

PERIODO: 2005 - 2017 LATITUD: 06 3' 36" S LONGITUD: 78G 19' 23" W ELEVACION: 2262.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2005	17.8	17.8	17.1	18.0	17.9	17.4	17.4	17.7	17.4	17.5	17.7	16.5	210.2	17.5
2006	17.0	17.6	17.1	17.4	17.6	17.1	16.9	17.7	17.3	17.5	17.0	17.4	207.6	17.3
2007	17.6	17.4	17.3	16.8	17.3	16.5	17.1	16.9	17.2	17.1	16.8	16.7	204.7	17.0
2008	17.1	16.2	16.4	16.8	16.7	16.6	16.4	16.7	17.2	16.7	16.9	17.0	200.7	16.7
2009	16.6	16.6	17.4	17.6	17.6	17.2	17.1	17.5	17.6	17.8	18.3	18.1	209.4	17.4
2010	18.1	18.5	18.3	18.0	18.1	17.0	16.6	17.0	16.9	17.6	16.5	16.2	208.8	17.4
2011	16.7	17.1	17.0	16.6	17.5	17.0	16.7	17.3	17.3	16.7	17.1	16.6	203.6	16.9
2012	16.4	16.3	17.4	16.8	16.9	17.3	17.8	17.6	17.8	17.4	17.0	16.9	205.6	17.1
2013	17.9	16.8	17.4	17.6	16.8	17.3	17.3	17.2	17.3	17.3	17.4	17.3	207.6	17.3
2014	17.4	17.2	16.9	17.6	17.3	17.3	18.0	17.3	17.1	17.2	17.3	17.3	207.9	17.3
2015	17.4	17.8	17.5	17.6	17.6	18.1	17.6	18.1	18.0	17.7	17.5	18.4	213.3	17.7
media	17.2	17.2	17.2	17.3	17.3	17.1	17.1	17.3	17.3	17.3	17.2	17.1	207.2	17.2
minima	16.4	16.2	16.4	16.6	16.7	16.5	16.4	16.7	16.9	16.7	16.5	16.2		16.2
maxima	18.1	18.5	18.3	18.0	18.1	18.1	18.0	18.1	18.0	17.8	18.3	18.4		18.5

salm009hr: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA

Humedad Relativa Media Mensual (%)

SERIES MENSUALES DE DATOS METEOROLOGICOS

NOMBRE: LA VICTORIA INERHI CODIGO: M0009

PERIODO: 2005 - 2017 LATITUD: 06 3' 36" S LONGITUD: 78G 19' 23" W ELEVACION: 2262.00

AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
2005	76	79	82	79	73	75	69	72	76	72	72	86	908	75
2006	86	86	87	85	82	79	75	73	77	78	84	84	976	81
2007	84	80	84	89	86	84	78	82	80	85	87	86	1005	83
2008	87	88	87	87	88	86	83	83	82	87	86	85	1029	85
2009	89	89	87	85	83	83	79	78	76	80	80	85	994	82
2010	85	86	87	88	86	86	85	78	81	81	87	90	1020	85
2011	88	88	88	90	87	86	84	81	82	86	85	88	1033	86
2012	90	89	86	88	86	82	76	75	76	82	85	84	999	83
2013	87	91	87	87	91	82	79	80	78	82	81	82	1007	83
2014	84	86	87	83	84	80	73	76	78	82	80	79	972	81
2015	78	80	83	82	81	75	79	74	75	82	84	76	949	79
media	84	85	85	85	84	81	78	77	77	81	82	84	990	82
minima	76	79	82	79	73	75	69	69	72	76	72	76		69
maxima	90	91	88	90	91	86	85	83	82	87	87	90		91

Anexo 8 Características típicas de la humedad del suelo para diferentes tipos de suelo

Tipo de Suelo (Clasificación de la textura del Suelo del USDA)	Características de la humedad del suelo			Parámetros de Evaporación	
	$\theta_{fc}$	$\theta_{wp}$	$(\theta_{fc} - \theta_{wp})$	Cantidad de agua que puede ser agotada a través de la evaporación	
	$m^3/m^3$	$m^3/m^3$	$m^3/m^3$	Etapa 1 AFE mm	Etapa 1 y 2 AET* ( $Z_e = 0,10 \text{ m}$ ) mm
Arenoso	0,07 - 0,17	0,02 - 0,07	0,05 - 0,11	2 - 7	6 - 12
Arenoso Franco	0,11 - 0,19	0,03 - 0,10	0,06 - 0,12	4 - 8	9 - 14
Franco Arenoso	0,18 - 0,28	0,06 - 0,16	0,11 - 0,15	6 - 10	15 - 20
Franco	0,20 - 0,30	0,07 - 0,17	0,13 - 0,18	8 - 10	16 - 22
Franco Limoso	0,22 - 0,36	0,09 - 0,21	0,13 - 0,19	8 - 11	18 - 25
Limoso	0,28 - 0,36	0,12 - 0,22	0,16 - 0,20	8 - 11	22 - 26
Franco Arcillo Limoso	0,30 - 0,37	0,17 - 0,24	0,13 - 0,18	8 - 11	22 - 27
Arcillo Limoso	0,30 - 0,42	0,17 - 0,29	0,13 - 0,19	8 - 12	22 - 28
Arcilloso	0,32 - 0,40	0,20 - 0,24	0,12 - 0,20	8 - 12	22 - 29

Anexo 9 Rangos de almacenamiento de Agua en suelo según textura

Textura	IHD (mm de agua por m de profundidad del suelo)
Arenoso	70-100
Franco-arenoso	90-150
Franco	140-190
Franco-arcilloso	170-220
Arcilloso	200-250

Anexo 10 Resultados del Análisis de Organoclorados en el laboratorio



Orden de trabajo N° 174161  
Página 1 de 1

**NOMBRE DEL CLIENTE:** Ronnie Lizano  
**DIRECCIÓN:** La Vicentina  
**FECHA DE RECEPCIÓN:** 17 de julio del 2017  
**MUESTRA:** Agua de riego  
 Productor: Arturo Espinoza  
 Tipo de muestra: —  
 Cod. de muestra: AE1Agua  
**ANÁLISIS:** Organoclorados  
**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA:** Líquido ligeramente coloreado  
**ENVASE:** Polietileno  
**FECHA DE TOMA DE MUESTRA:** 16 de julio del 2017  
**LOCALIZACIÓN:** Parroquia La Esperanza, Tabacundo Latitud 0804793  
 Longitud 0003516  
**FECHA DE REALIZACIÓN DE ENSAYO:** 17 - 31 de julio de 2017  
**REFERENCIA:** 174161  
**MUESTREO:** Por cliente  
**CONDICIONES AMBIENTALES:** 23 °C 39 %HR

PARAMETRO	METODO	UNIDAD	RESULTADOS
α-HCH	EPA 8081 A Modificado/ Cromatografía de gases con µECD.	mg/L	0.00002
HCB		mg/L	0.00002
β-HCH		mg/L	< 0.000002
γ-HCH (Lindano)		mg/L	< 0.000002
δ-HCH		mg/L	< 0.000002
Heptaclor		mg/L	< 0.000002
Aldrin		mg/L	< 0.000002
Cis-Heptacloróxido		mg/L	< 0.000002
Trans-Heptacloróxido		mg/L	< 0.000002
Trans-Clordano		mg/L	< 0.000002
Cis-Clordano		mg/L	< 0.000002
pp-DDE		mg/L	< 0.000002
Dieldrin		mg/L	< 0.000002
Endrin		mg/L	< 0.000002
pp-DDD		mg/L	< 0.000002
op-DDT		mg/L	< 0.000002
pp-DDT		mg/L	< 0.000002
Alacloro		mg/L	< 0.000002
Tetraconazol		mg/L	< 0.000002
Cipermetrina		mg/L	< 0.000002

*Cecilia Luzuriaga*  
 Dra. Cecilia Luzuriaga  
 GENERAL  
**LABCLAB**  
 ANÁLISIS DE ALIMENTOS, AGUAS Y AFINES

El presente informe solo es válido para la muestra analizada  
 Este informe no debe reproducirse más que en su totalidad por vía autorizada escrita de LABCLAB

Anexo 11 Resultados del análisis de pesticidas en suelos, aguas y producto en el laboratorio

<b>Tipo de plaguicida</b>	<b>Organoclorados</b>	<b>Organofosforados</b>	<b>Piretrinas</b>	<b>Piretroides</b>	<b>Ditiocarbamatos</b>	
<b>Método empleado</b>	EPA 8081 A Modificado/ Cromatografía de gases con detector selectivo de masas.	EPA 8141 A Modificado/ Cromatografía de gases con detector selectivo de masas.	EPA 1699 Modificado/Cromatografía de gases con MSD.		ME.Q.141 Modificado /UV-VIS Desarrollo de CS2	
<b>Unidad</b>	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
<b>Suelo</b>	M3	< 0,001	< 0,002	< 0,008	< 0,008	< 0,001
	M4	< 0,001	< 0,002	< 0,008	< 0,008	< 0,001
	M8	< 0,001	< 0,002	< 0,008	< 0,008	< 0,001
	M10	< 0,001	< 0,002	< 0,008	< 0,008	< 0,001
	M11	< 0,001	< 0,002	< 0,008	< 0,008	< 0,001
	M12	< 0,001	< 0,002	< 0,008	< 0,008	< 0,001
<b>Agua de riego</b>	M3	0,00002	<0,00002	<0,00008	< 0,00008	< 0,001
	M4	< 0,000002	<0,00002	<0,00008	<0,00008	< 0,001
	M8	< 0,000002	< 0,00002	< 0,00008	< 0,00008	< 0,001
	M10	< 0,000002	< 0,00002	< 0,00008	< 0,00008	< 0,001
	M11	< 0,000002	< 0,00002	< 0,00008	< 0,00008	< 0,001
<b>Producto (brócoli)</b>	BrA	< 0,001	< 0,002	< 0,008	< 0,008	---
	BrC	< 0,001	< 0,002	< 0,008	< 0,008	---

Nota. BrA. Brócoli agroecológico. BrC, Brócoli convencional.

Fuente: Elaborado por Chiluisa M, 2018