

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

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

**TEMA:
ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*) Y
BRÓCOLI (*BRASSICA OLERACEA ITALICA*) EN LAS FASES DE
PROCESAMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y ACCESO DE PRODUCTOS
CONVENCIONALES Y AGROECOLÓGICOS. CASO DE ESTUDIO: “LA
ESPERANZA” Y “ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES
AGROECOLÓGICOS BUEN VIVIR” - CANTÓN PEDRO MONCAYO**

**AUTOR:
DIEGO ANDRÉS PADILLA SANTANA**

**TUTOR:
RONNIE XAVIER LIZANO ACEVEDO**

Quito, octubre del 2018

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo, DIEGO ANDRÉS PADILLA SANTANA con documento de identificación N° 1805219936, manifestó mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación intitulado: ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*) Y BRÓCOLI (*BRASSICA OLERACEA ITALICA*) EN LAS FASES DE PROCESAMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y ACCESO DE PRODUCTOS CONVENCIONALES Y AGROECOLÓGICOS. CASO DE ESTUDIO: “LA ESPERANZA” Y “ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROECOLÓGICOS BUEN VIVIR” - CANTÓN PEDRO MONCAYO, mismo que ha sido desarrollado para obtener el título de: INGENIERO 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 autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Diego Andrés Padilla Santana
1805219936
Octubre de 2018

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo experimental, ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE LA PAPA (*SOLANUM TUBEROSUM*) Y BRÓCOLI (*BRASSICA OLERACEA ITÁLICA*) EN LAS FASES DE PROCESAMIENTO, DISTRIBUCIÓN Y ACCESO DE PRODUCTOS CONVENCIONALES Y AGROECOLÓGICOS. CASO DE ESTUDIO: “LA ESPERANZA” Y ASOCIACIÓN DE PRODUCTORES AGROECOLÓGICOS “BUEN VIVIR” - CANTÓN PEDRO MONCAYO, realizado por Diego Andrés Padilla Santana, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, octubre de 2018



.....
Ronnie Xavier Lizano Acevedo
1714291588

AGRADECIMIENTOS

A mis ancestros, a los que estuvieron y a los que están...

A mi madre Mercedes Santana, a mi padre Juan Padilla y a mi hermana Valeria, gracias por auspiciarme la vida.

A todas las personas que aportaron en mi educación.

A mis amigos y amigas, por todas las batallas que vivimos juntos.

A la Universidad Politécnica Salesiana y a todo su personal por permitirme instruir en sus instalaciones.

**Un segundo más en este samsara, en el próximo lo haremos mejor.
(El Quinta Decollavi)**

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
2.	OBJETIVOS.....	4
	2.1 Objetivo General	4
	2.2 Objetivos Específicos	4
3.	MARCO TEÓRICO	5
	3.1 Evolución de la agricultura.....	5
	3.2 Estado actual de la agricultura.....	7
	3.3 Cadenas agroalimentarias.....	8
	3.3.1 Cadena Agroalimentaria Convencional.....	8
	3.3.2 Cadena Agroalimentaria Ecológica.....	9
	3.3.3 Sistema comercial agroecológico versus convencional	10
	3.4 Papa (<i>Solanum tuberosum</i>).....	13
	3.4.1 Requerimientos del cultivo (<i>Solanum tuberosum</i>)	14
	3.5 Brócoli (<i>Brassica oleracea itálica</i>)	14
	3.5.1 Requerimientos del cultivo (<i>Brassica oleracea itálica</i>).....	15
	3.6 Sistema productivo	15
	3.7 Huella hídrica	16
	3.8 Huella de carbono.....	17
	3.8.1 Metodologías para el cálculo de la huella de carbono.....	17
	3.9 Ciclo de vida.....	18
	3.10 Análisis de ciclo de vida (ACV).....	18

3.10.1	Definición del objetivo y alcance	20
3.10.2	Análisis de inventario del ciclo de vida.....	20
3.10.3	Evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV)	20
3.10.4	Interpretación de los resultados del análisis de ciclo de vida.....	22
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	23
4.1	Materiales	23
4.2	Métodos aplicados	23
4.2.1	Estimación de la huella hídrica	23
4.2.2	Estimación de la huella de carbono.....	25
4.2.3	Método para el análisis del ciclo de vida	28
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	32
5.1	Recolección de datos	32
5.2	Resultados del análisis agroecológico.....	32
5.2.1	Huella Hídrica	33
5.2.2	Huella de Carbono.....	33
5.2.3	Análisis de Ciclo de Vida.....	35
5.2.4	Acceso sistema agroecológico.....	38
5.3	Resultados del análisis agrícola convencional	38
5.3.1	Huella Hídrica	39
5.3.2	Huella de Carbono.....	40
5.3.3	Análisis de Ciclo de Vida.....	41
5.3.4	Acceso sistema convencional.....	44

5.4 Análisis Comparativo: Discusión Global	44
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	57
6.1 Conclusiones	57
6.2 Recomendaciones	59
7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
8. ANEXOS	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Materiales empleados en el proyecto	23
Tabla 2 Alcance 1 (procesamiento).....	26
Tabla 3 Alcance 2 (procesamiento).....	26
Tabla 4 Alcance 3 (distribución).....	26
Tabla 5 Cálculo total (suma de los alcances)	27
Tabla 6 Factores de emisión.....	27
Tabla 7 Valores de CO ₂ eq para diferentes gases de efecto invernadero	27
Tabla 8 Categorías evaluadas en la investigación	29
Tabla 9 Factores de caracterización, GWP [kg CO ₂ eq/kg] acorde a periodos de integración de 20 y 100 años para gases de efecto invernadero típicos.....	30
Tabla 10 Factores de equivalencia para EP [g PO ₄ eq/g] para compuestos eutrofizantes comunes.....	31
Tabla 11 Inventario para el cálculo de huellas ambientales y análisis de ciclo de vida.....	32
Tabla 12 Huella Hídrica sistema agroecológico.....	33
Tabla 13 Huella de carbono del sistema agroecológico	34
Tabla 14 Cálculo del CCI [g CO ₂ eq/kg producto] con un tiempo de integración de 20 años	35
Tabla 15 Cálculo del CCI [g CO ₂ eq/kg producto] con un tiempo de integración de 100 años	35
Tabla 16 Cálculo del EI [g PO ₄ eq/Kg producto].....	37
Tabla 17 Acceso a ferias agroecológicas.....	38
Tabla 18 Cálculo de la Huella Hídrica del sistema agrícola convencional	39
Tabla 19 Cálculo de la Huella de Carbono del sistema agrícola convencional....	40

Tabla 20 Cálculo del CCI [g CO ₂ eq/kg producto] para un tiempo de integración de 20 años	41
Tabla 21 Cálculo del CCI [g CO ₂ eq/kg producto] para un tiempo de integración de 100 años	41
Tabla 22 Cálculo del EI [gPO ₄ eq/kg producto].....	43
Tabla 23 Acceso al mercado convencional	44
Tabla 24 Resultados del Acceso a los productos por sistema	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Evolución de la agricultura	5
Figura 2. Emisiones de CO ₂ eq del sistema convencional versus el sistema agroecológico a escala global.....	7
Figura 3. Emisiones de CO ₂ eq del sistema convencional versus el sistema agroecológico a escala nacional	8
Figura 4. Petrodependencia del sistema agroalimentario convencional.....	9
Figura 5. Estructura del Sistema Alimentario Agroecológico	10
Figura 6. Estructura organizacional de los sistemas agrícolas	10
Figura 7. Estrategia comercial del sistema agroecológico y convencional	12
Figura 8. Requerimientos para el cultivo de papa	14
Figura 9. Requerimientos para el cultivo de papa	15
Figura 10. Fases del Análisis de Ciclo de Vida.....	19
Figura 11. Elementos del EICV	21
Figura 12. Esquema metodológico de la suma de cadenas	24
Figura 13. Descripción del Objetivo y Alcance	28
Figura 14. Clasificación EICV	29
Figura 15. Flujograma en la fase de procesamiento, distribución y acceso de la papa y brócoli del sistema agroecológico	33
Figura 16. Huellas de Carbono por fase (Sistema agroecológico)	34
Figura 17. CCI con un tiempo de integración de 20 años (Sistema agroecológico)	36
Figura 18. CCI con un tiempo de integración de 100 años (Sistema agroecológico)	36
Figura 19. Eutrofización por fase (Sistema agroecológico)	37

Figura 20. Flujograma en la fase de procesamiento, distribución y acceso del brócoli de origen convencional	38
Figura 21. Flujograma en la fase de procesamiento, distribución y acceso de la papa de origen convencional	39
Figura 22. Huella de carbono por fase (Sistema convencional).....	40
Figura 23. CCI (20) por fase (Sistema convencional).....	42
Figura 24. CCI (100) por fase (Sistema convencional).....	42
Figura 25. Índice de Eutrofización por fase (Sistema convencional).....	43
Figura 26. Contraste de Huellas Hídricas por producto	44
Figura 27 Huella Hídrica de la papa y brócoli en el sistema productivo	46
Figura 28. Comparación de Huellas de Carbono por producto	47
Figura 29. Comparación por fases de la huella de carbono del brócoli	48
Figura 30. Comparación por fases de la huella de carbono de la papa	49
Figura 31. Análisis de la fase de distribución	51
Figura 32. Dinámica del CCI a 20 y 100 años (Brócoli).....	53
Figura 33. Dinámica del CCI a 20 y 100 años (Papa).....	53
Figura 34. EI total comparativo por producto	54
Figura 35. Acceso a cada producto por sistema	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Masa del producto evaluado por sistema productivo	70
Anexo 2 Conversión para la obtención los gramos de CO ₂ eq	70
Anexo 3. Encuesta para la recolección de datos en la fase de acceso	70
Anexo 4. Feria agroecológica “El Buen Vivir”	71
Anexo 5. Mercado Municipal Tabacundo	72

RESUMEN

Se presenta una visión general del sistema agrícola convencional y agroecológico con énfasis en las etapas de procesamiento, distribución y acceso, todo ello enmarcado en la cuantificación de la huella hídrica y de carbono a fin de elaborar un análisis de ciclo de vida comparativo entre productos de origen convencional versus sus similares de origen agroecológico.

Se empleó como guía metodológica The Water Footprint Assessment Manual para el cálculo de la huella hídrica; por otro lado, el estudio también se sustentó en lo estipulado por las normas ISO para el cálculo de la huella de carbono y análisis de ciclo de vida, este último en conjunto con el método CML para la cuantificación de impactos ambientales.

El estudio permitió conocer que la huella de carbono e indicadores del ACV de la papa y brócoli (agroecológica y convencional), está en función de los procesos de transporte de hortalizas. La huella hídrica por su parte para las fases analizadas (procesamiento y distribución) se ve influenciada por el gasto de agua existente en el subproceso de lavado de hortalizas.

ABSTRACT

A general vision of the conventional and agroecological-agricultural system with emphasis on the processing, distribution and access stages is presented. The overall study is lined up in the quantification of the water and carbon footprint in order to develop a comparative life cycle analysis among products of conventional origin in opposition to its similar ones of agroecological origin.

The Manual for the Evaluation of the Water Footprint for the calculation of the water footprint was used as a methodological guide; On the other hand, the study was also based on the stipulations of the ISO standards for the calculation of the carbon footprint and life cycle analysis, the latter in conjunction with the CML method for the quantification of environmental impacts.

The study would allow to know the carbon footprint and indicators of the LCA of the potato and broccoli (agroecological and conventional), is in function of the processes of transport of vegetables. The water footprint on the other hand for the phases analyzed has been influenced by the water expenditure existing in the vegetable washing sub-process.

1. INTRODUCCIÓN

La agroecología es una ciencia multidisciplinaria (Suarez, Gortaire, & Intriago, 2011) enfocada en diferentes niveles como son el social, político, económico y ambiental que, a través de la convergencia de prácticas agrícolas (ancestrales, culturales y científicas) y de conservación ecológica, se ha tecnificado la sustentabilidad en los entornos agrícolas de tal manera que los componentes y factores de los agroecosistemas cumplan con sus roles y nichos definidos, anulando así, el uso de elementos potencialmente dañinos para el suelo y la vida en sus diferentes escalas.

De forma paralela a la agroecología y en un contexto global y nacional mucho más amplio se tiene a la agricultura convencional que adquirió fuerza con la revolución verde alrededor de 1950, la misma que supone el uso de técnicas depredatorias (uso de insumos agrotóxicos, energía y agua en grandes cantidades) de los agroecosistemas a través de paquetes tecnológicos impulsados por las corporaciones de financiamiento de escala mundial (Suquilanda, 1996); se debe mencionar que este tipo de agricultura es altamente eficiente en cuanto a productividad se refiere, pero en periodos de tiempo relativamente cortos, puesto que la productividad del terreno disminuye conforme se incrementan dichas prácticas.

Explicados los conceptos anteriores se entenderá que existe un enfrentamiento entre ambas formas de concebir la agricultura, que poseen ventajas y desventajas y sobretodo que una de ellas resulta letal para los campesinos, consumidores y la vida en general, llevando como etiqueta “agricultura convencional” que a través del supuesto de “mayor productividad” emplea de forma desmedida todo tipo de recursos, explotando la mano de obra, contaminando el aire al incrementar la huella de carbono por cada kilogramo de producción, y por qué no, al emplear el recurso hídrico de forma excesiva incrementando la huella hídrica durante la cadena productiva.

Se torna necesario echar una mirada a la situación del Ecuador respecto a esa problemática, motivo por el cual se ha seleccionado para el presente proyecto fincas de agroproducción en el cantón Pedro Moncayo ubicado en la provincia de Pichincha. La ventaja de trabajar en Pedro Moncayo radica en que presenta tierras agrícolas en toda la extensión del cantón (Guerrero, 2016).

Las herramientas conceptuales con las que se pretenden evidenciar el problema consisten en la evaluación de huellas hídricas y de carbono para realizar posteriormente un Análisis de Ciclo de Vida comparativo entre hortalizas (papa y brócoli) obtenidas de forma agroecológica y sus similares de procedencia convencional a partir de la fase de postcosecha en tres etapas que son el procesamiento, distribución y acceso.

La papa es uno de los productos agrícolas de mayor relevancia en el país, siendo cultivado principalmente a lo largo de la serranía ecuatoriana. Análisis previos de su situación señalan que es uno de los ocho cultivos de mayor productividad y añadido a esto se ubica en el décimo lugar de los productos más consumidos a escala nacional (Monteros, 2016). En el año 2016 tuvo una producción de 16,49 toneladas por hectárea, siendo las provincias de mayor aporte en ese año Sucumbíos y Carchi, respectivamente (Monteros, 2016).

El brócoli es el segundo producto no tradicional más importante de la sierra (El Agro, s.f.), siendo las provincias de mayor aporte Cotopaxi y Pichincha, mismas que cuentan con procesos altamente tecnificados, razón por la que a partir del año 2000 se ha dado cabida a su exportación logrando consolidarse el Ecuador en el año 2012 como el séptimo productor de brócoli a nivel mundial (MAGAP, 2013).

A manera de retroalimentación se señala que el boom del brócoli se dio a inicios del nuevo milenio, razón por la que aumentó considerablemente el número de agricultores dedicados a esta actividad (mayor demanda de agua y agrotóxicos); y qué decir de la papa si es uno de los productos de uso diario en la dieta nacional cuya producción cada cierto tiempo se ve conflictuada por carecer de valor agregado, y al mismo tiempo el suelo empleado para su cultivo cada vez se va degradando más por ser funcional a las técnicas de la revolución verde. Es aquí donde la investigación desarrollada adquiere fuerza, evaluando el sistema agrícola convencional y realizando un contraste con el sistema agroecológico.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar el Análisis del Ciclo de Vida de la papa (*Solanum tuberosum*) y brócoli (*Brassica oleracea italica*) en las fases de procesamiento, distribución y acceso de productos convencionales y agroecológicos a fin de establecer un análisis comparativo.

2.2 Objetivos Específicos

En campo:

- Realizar el inventario de entradas y salidas en la fase de procesamiento de alimentos para un kilogramo de producto de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica.
- Realizar el inventario de entradas y salidas en la fase de distribución de alimentos para un kilogramo de producto de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica.
- Realizar el inventario de entradas y salidas en la fase de acceso de alimentos para un kilogramo de producto de la cadena agroalimentaria convencional y agroecológica.

En gabinete:

- Estimar la huella hídrica y de carbono para ambos sistemas de producción.

3. MARCO TEÓRICO

3.1 Evolución de la agricultura

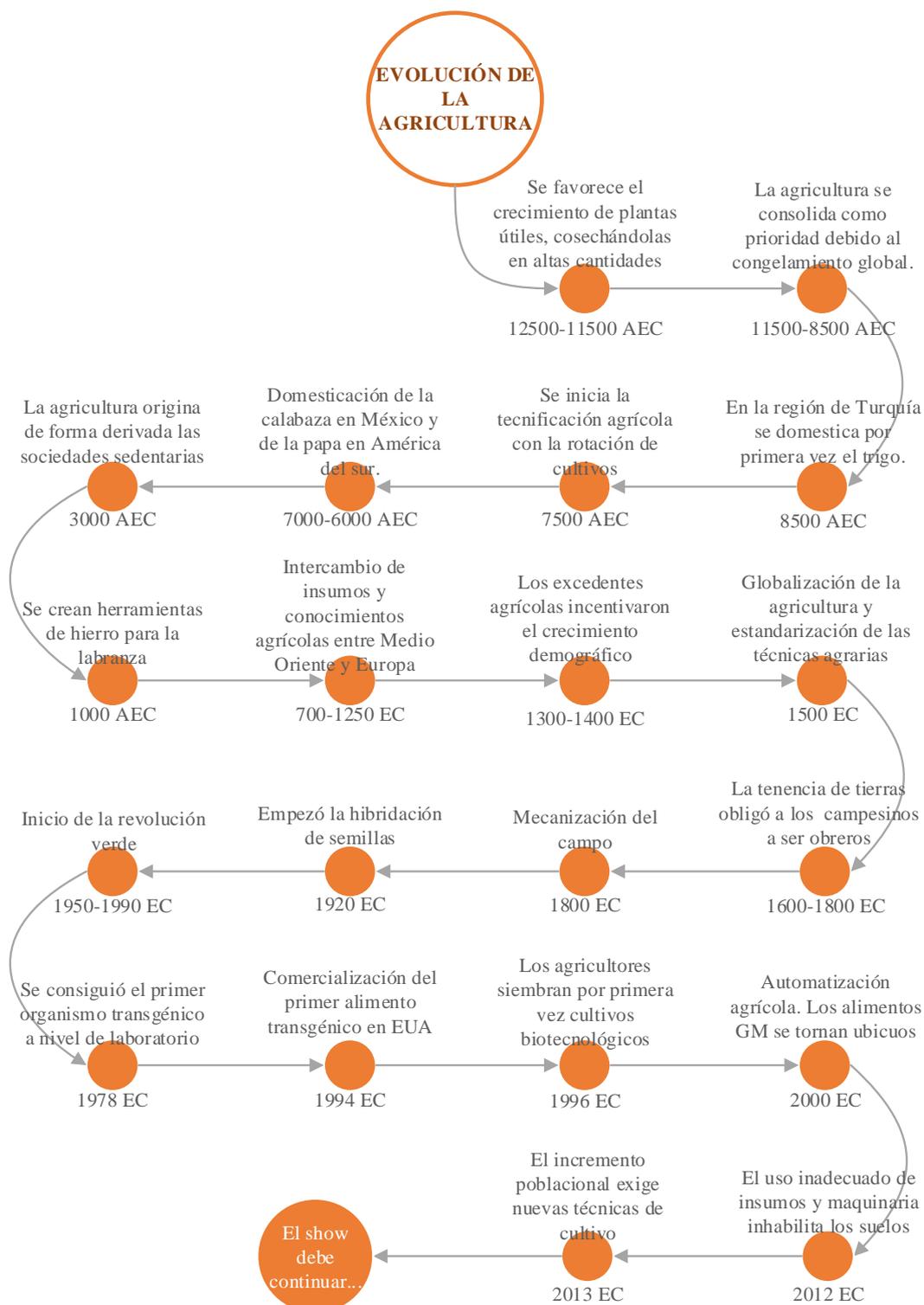


Figura 1. Evolución de la agricultura

Fuente. (AgroBio, n.d.; Roa, n.d.)

Elaborado por: D. Padilla

Entiéndase por agricultura el arte de cultivar la tierra, encargándose de la producción, desarrollo y cosecha de aquello que previamente se ha sembrado.

Si algo se ha de destacar de la línea de tiempo de la agricultura es que en la mitad posterior del siglo veinte, es decir en la década de los cincuenta, se vivió el boom de los agrotóxicos y con esto un incremento acelerado de los impactos ambientales potencialmente negativos como resultado de prácticas agrícolas apoyadas en un eje extractivista.

A finales de la década de los cincuenta se inicia el plan de la revolución verde para hacerle frente a los problemas de escasez alimenticia a nivel mundial, teniendo mayor éxito en los territorios tercermundistas y en vías de desarrollo (FAO, n.d.-a). La FAO como promotora principal lanzó el Plan Mundial de Desarrollo Agrario que lamentablemente incitaba a los agroproductores a abandonar la agricultura tradicional (no confundir con convencional) y adoptar el sistema de monocultivos con escasas variedades de alto rendimiento y dependientes de la petroquímica (Barg & Queirós, n.d.).

Cabe señalar que la idea básica de la revolución verde estuvo muy bien planteada, al igual que su interés primario, ambos aspectos bastante nobles, pero se debe entender que el mundo es completamente heterogéneo en cuanto a diversidad biológica, clima, prácticas culturales, ambientales y sociales que no fueron consideradas por sus desarrolladores, puesto que, los paquetes tecnológicos ofertados se manifestaban como universales para la agroproducción.

Para este nuevo milenio en el año 2007 la FAO repitió su discurso del siglo anterior para apoyar la segunda revolución verde que alimentará a las masas, evitando así que la población mundial muera por inanición (Barg & Queirós, n.d.), al parecer los

directivos del mundo no tienen muy claro las consecuencias de la primera revolución verde.

3.2 Estado actual de la agricultura

En la figura 2 se aprecian las emisiones de CO₂eq por parte del sistema agrícola convencional y ecológico a una escala global, mientras que las emisiones a nivel nacional pueden observarse en la figura 3.

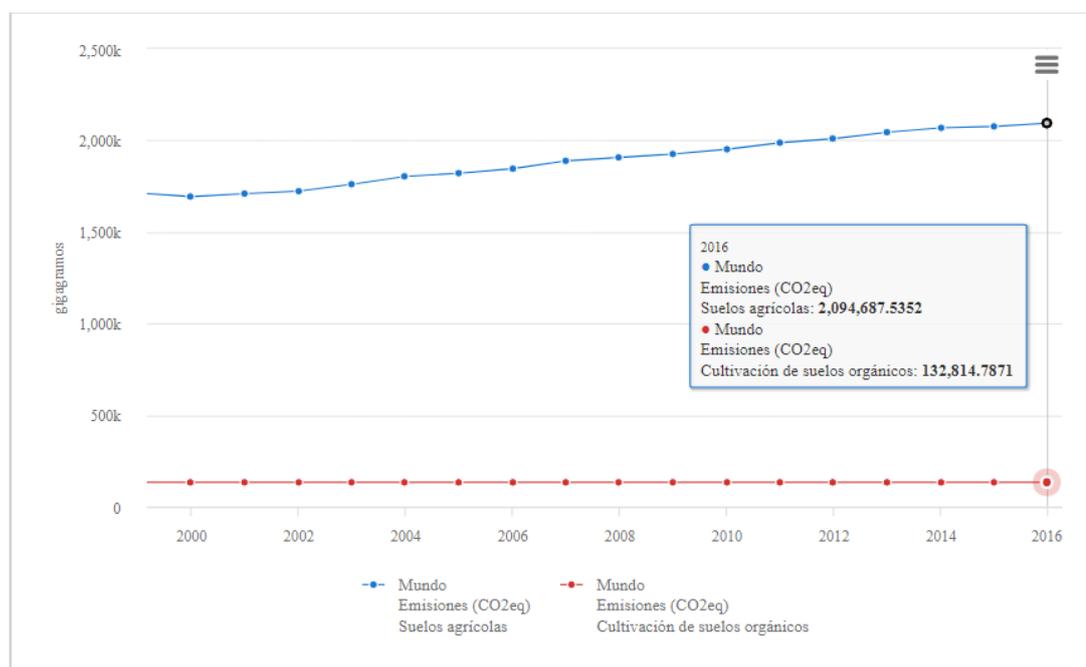


Figura 2. Emisiones de CO₂eq del sistema convencional versus el sistema agroecológico a escala global

Fuente: (FAO, 2016)

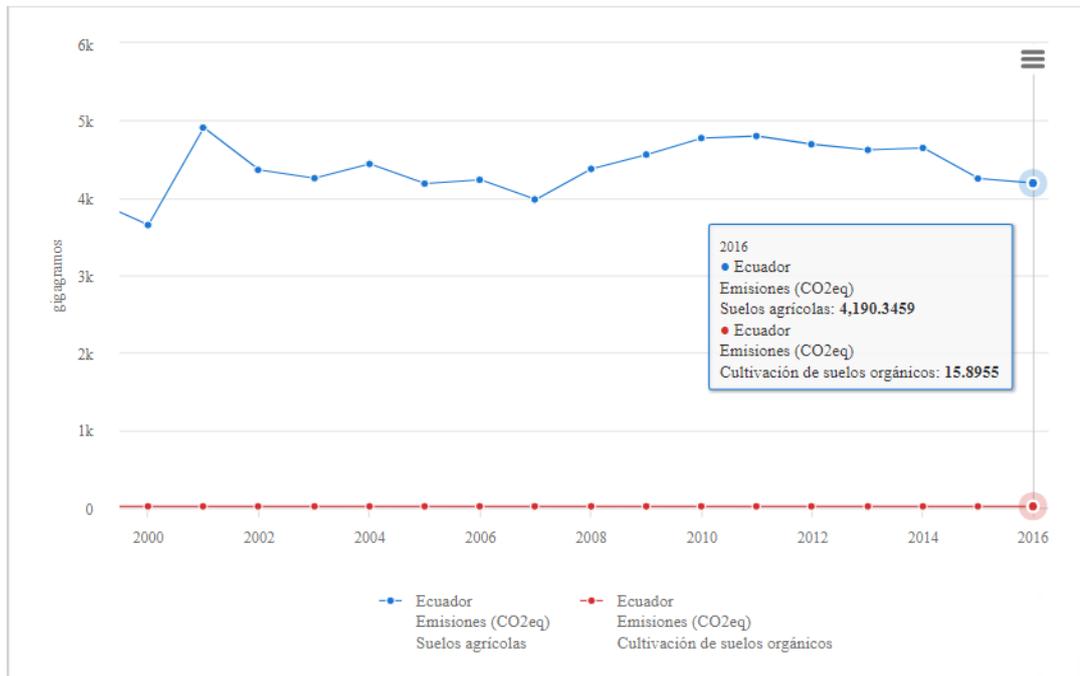


Figura 3. Emisiones de CO₂eq del sistema convencional versus el sistema agroecológico a escala nacional
Fuente: (FAO, 2016)

De las figuras 2 y 3 se puede señalar que las emisiones de CO₂eq por parte del sistema agrícola convencional se mantienen en un aumento paulatino, en contraposición con lo que sucede en el sistema agroecológico que mantiene sus emisiones constantes y son significativamente más bajas que en el sistema convencional.

3.3 Cadenas agroalimentarias

3.3.1 Cadena Agroalimentaria Convencional

Es aquella que en su fase agrícola ha adoptado el modelo de revolución verde aplicando sus paquetes tecnológicos (Barg & Queirós, n.d.).

Se trata de un conjunto de prácticas de producción que tienen como eje central la petrodependencia tal y como se ilustra en la figura 4.

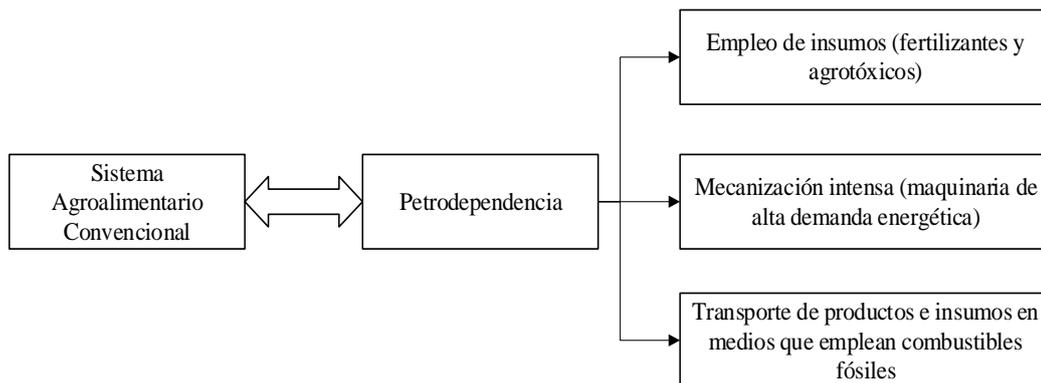


Figura 4. Petrodependencia del sistema agroalimentario convencional

Fuente. (Barg & Queirós, n.d.; Vivas, 2014)

Elaborado por: D. Padilla

Como se mencionó en párrafos anteriores la FAO a comienzos del 2000 incentivó a la población a aceptar la nueva revolución verde, por lo tanto, es lógico asumir que el modelo agroalimentario más extendido y que mayor peso tiene en el mundo es el convencional.

3.3.2 Cadena Agroalimentaria Ecológica

Su contexto es amplio y multinivel, puesto que considera la heterogeneidad agroecosistémica del medio, teniendo como pilar fundamental la agricultura tradicional y su vínculo con los conocimientos ancestrales propios de cada pueblo, mismos que desde la visión antropogénica en diferentes áreas han convertido la experimentación en ciencia y tecnificación, siendo éstas dos últimas el camino para la producción limpia, consolidándose así, el sistema alimentario agroecológico (Véase la figura 5).

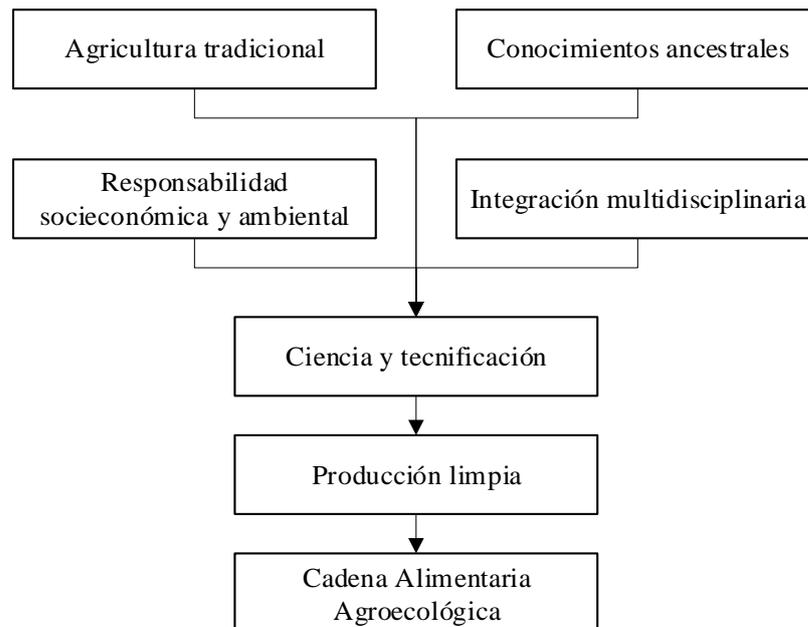


Figura 5. Estructura del Sistema Alimentario Agroecológico
Elaborado por: D. Padilla

3.3.3 Sistema comercial agroecológico versus convencional

Como ya se vio, las estructuras agrícolas analizadas poseen ejes diferentes, razón por la que emplean tácticas de comercio que difieren entre sí.

La estructura jerárquica y organizacional del sistema convencional presenta una relación vertical, mientras que el sistema agroecológico está sujeto a una relación horizontal, tal y como manifiesta la figura 6.

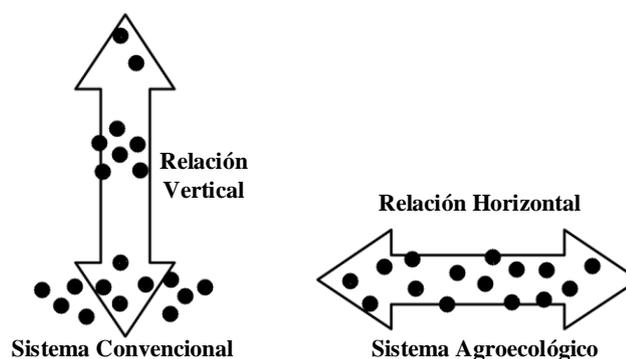


Figura 6. Estructura organizacional de los sistemas agrícolas
Fuente: (Chase & Grubinger, 2014)

Acorde a la figura 6, los puntos allí ubicados se entienden como personas o colectivos sociales que se agrupan o separan en función del flujo y distribución del

poder, por ello la relación vertical representa a pocos sectores en su punta superior, mientras que en su punta inferior se encuentra una gran cantidad de colectivos que se dinamizan en función del poder ejercido por quienes que se encuentran en la cima jerárquica (Chase & Grubinger, 2014), puesto que, comercialmente se enmarcan en cadenas típicas de valor, las cuales serán explicadas en los párrafos siguientes. La relación horizontal es propia del sistema agroecológico dado que hacen uso de circuitos cortos de valor, donde el ejercicio del poder se distribuye de manera uniforme (Chase & Grubinger, 2014).

Las cadenas de valor son estrategias de comercialización aplicadas a cualquier tipo de medio de producción, considerando una serie de puntos que aseguran la competitividad (a nivel de mercado) por los que atraviesa un producto hasta llegar a su consumidor final (Instituto Nacional del Emprendedor, 2014). El sistema agrícola convencional hace uso de una cadena de valor típica en donde existe una gran cantidad de empresas en función de intermediarias que aumentan el valor de cambio del producto. El sistema agroecológico igualmente emplea una cadena de valor, pero a esta se la ha bautizado con el nombre de circuito corto, denominada así, dado que tiende a la nulidad de los intermediarios, fijando una interacción directa entre productores y consumidores (CEPAL, FAO, & IICA, 2015). La figura 7 permite entender los puntos principales entre las estrategias comerciales de los sistemas en estudio.

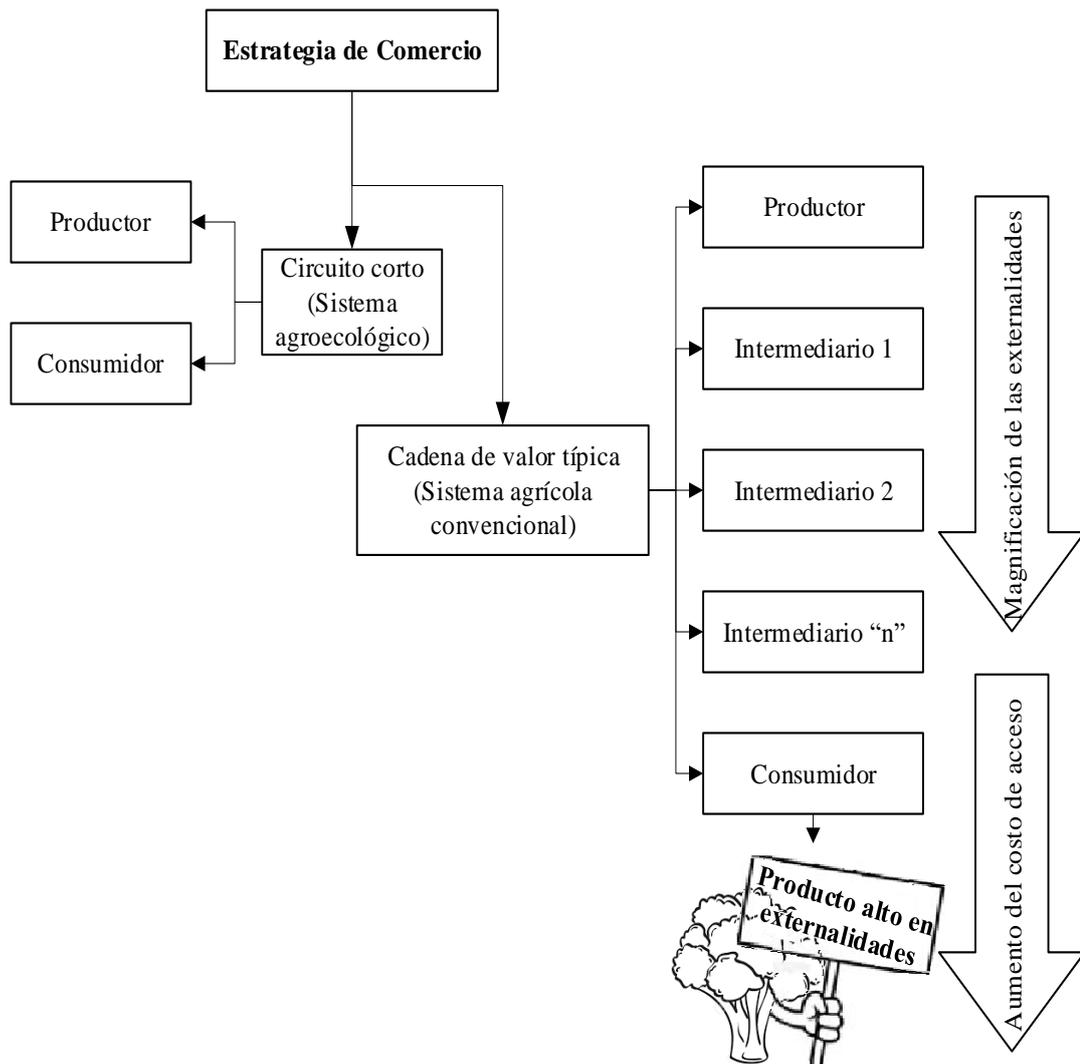


Figura 7. Estrategia comercial del sistema agroecológico y convencional
Elaborado por: D. Padilla

Se habla de la magnificación de las externalidades porque conforme se pasa de un intermediario a otro, más se aleja el producto de un único sistema de control de los posibles impactos positivos o negativos que este provoque a lo largo de su secuencia productiva; en tanto que las externalidades en el sistema agroecológico están controladas única y estrictamente por quienes producen la mercancía; finalmente lo que pretenden ambos sistemas es brindar un bien (llámense hortalizas) de calidad, con un valor de uso, que dinamice la rentabilidad de la empresa.

El hecho de acceder a bienes producidos de forma local, como es el caso del comercio de circuito corto, favorece el desarrollo sustentable y permite que las

mercancías alcancen un precio justo para productores y consumidores, reduciendo los puntos medios de las secuencias productivas y con esto los potenciales impactos negativos que se puedan originar.

El consumo local en conjunto con los circuitos cortos se ven respaldados por el concepto del “kilómetro cero” que manifiesta que la producción y comercialización de productos deben darse en un radio menor a los 100 kilómetros (Sabaté, 2017) a fin de reducir las pérdidas de las mercancías y los gastos energéticos innecesarios, asegurando la sustentabilidad de los entornos y sociedades que hacen uso de dichos bienes.

3.4 Papa (*Solanum tuberosum*)

Es propia de la región andina de América del Sur, sector en el que las culturas ancestrales han logrado domesticar el cultivo dando a conocer su forma comestible que desde hace siglos se ha popularizado alrededor del mundo (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2002).

El género *Solanum* posee alrededor de 2000 especies, de ellas entre 160 y 180 producen tubérculos, a pesar de ello únicamente ocho son comestibles (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, 2002).

El mercado mundial actual de papa está liderado por China (FAO, 2016b) y en su competencia cercana no se encuentra un solo país andino, seguramente esto se deba a las políticas de comercio existentes en dichos territorios. La situación del Ecuador en el año 2014 respecto a su competitividad en el mercado mundial lo ubicó en el puesto setenta, pero a nivel de América latina se posicionó en octavo lugar (FAO, 2014).

3.4.1 Requerimientos del cultivo (*Solanum tuberosum*)

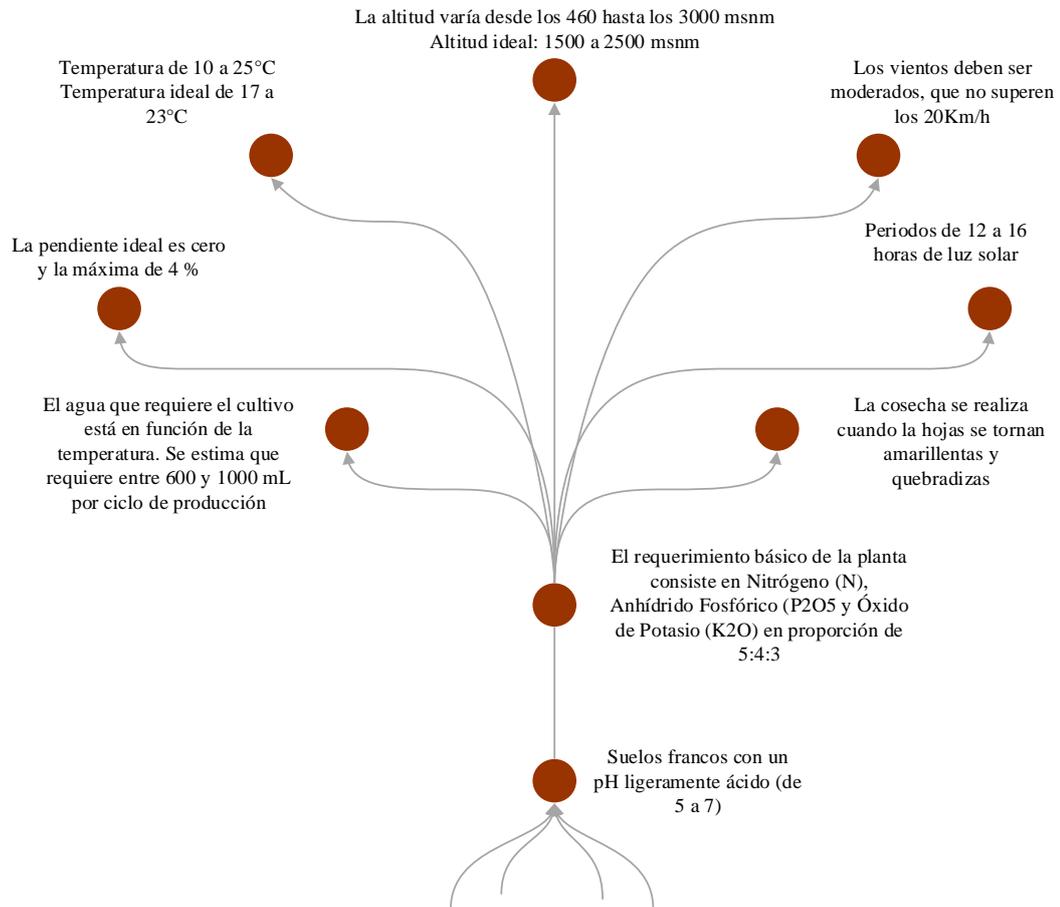


Figura 8. Requerimientos para el cultivo de papa
Fuente: (Infoagro, n.d.-b; Intagri, n.d.; Román & Hurtado, 2002)
Elaborado por: D. Padilla

3.5 Brócoli (*Brassica oleracea itálica*)

Tiene su origen en Medio Oriente en los territorios bañados por el mar Mediterráneo (“BRÉCOL,” n.d.).

En el año 2016 el país que más cultivo brócoli fue China, convirtiéndose en el mayor productor del mundo hasta los días actuales según los datos obtenidos (“Resumen del mercado global del brócoli y la coliflor,” 2016). La situación del brócoli nacional en el mercado mundial ha ido variando notablemente, es así que en el 2013 el Ecuador se posicionó en el puesto 10 (ranking mundial) en cuanto a ingresos

por brócoli vendido (FAO, 2013), escalando a nivel regional y posicionándose en este año como el mayor productor de brócoli de América del Sur (DELCORP, n.d.).

3.5.1 Requerimientos del cultivo (*Brassica oleracea itálica*)

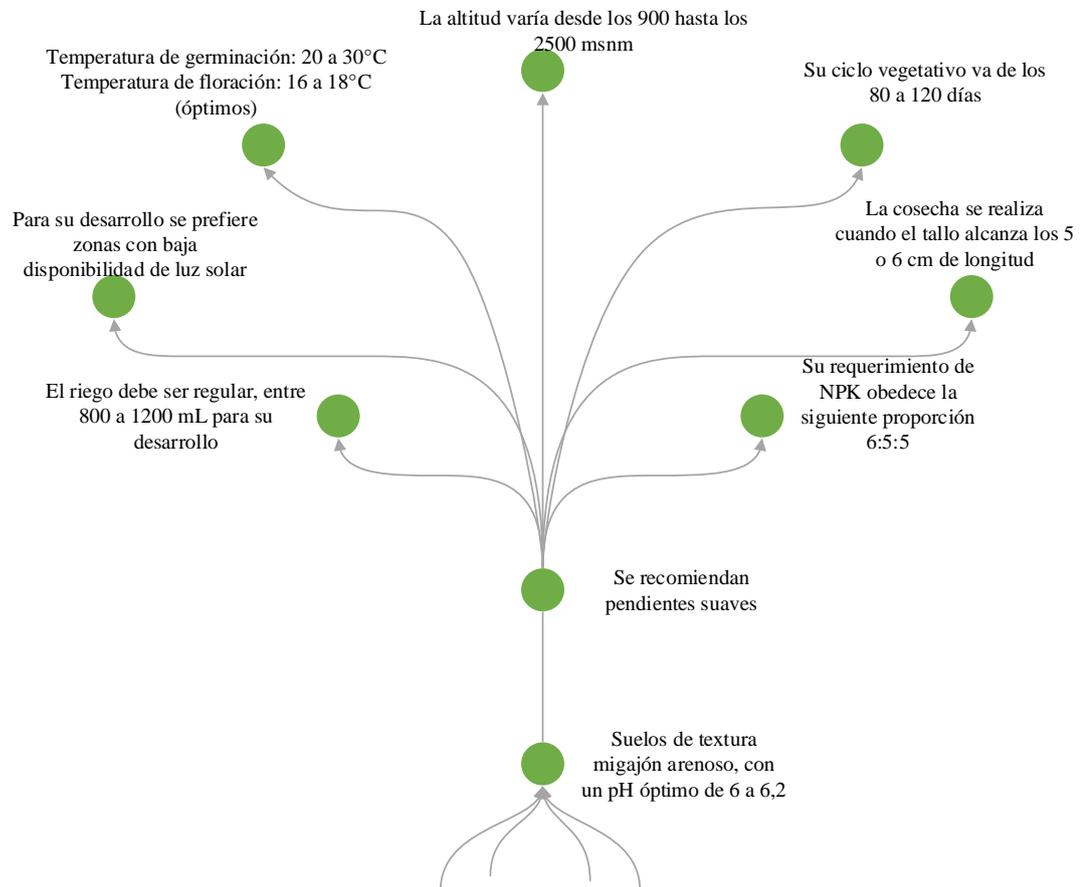


Figura 9. Requerimientos para el cultivo de papa
Fuente: (Infoagro, n.d.; *Requerimientos agroecológicos de cultivos*, n.d.)
Elaborado por: D. Padilla

3.6 Sistema productivo

Las fases evaluadas en el presente estudio son el procesamiento, distribución y acceso a las hortalizas anteriormente descritas.

Procesamiento: Es la adecuación del producto acorde a los requerimientos del usuario, es decir que mediante una serie de operaciones se obtiene el producto óptimo para el consumo (Veas, Cortés, & Jara, 2015),

Distribución: Se la define como el conjunto de actividades ejecutadas para que el producto llegue por parte del fabricante al cliente (“La distribución de productos en la empresa,” n.d.).

La organización establece un sistema que permite que el producto se traslade desde la misma hasta el cliente, este proceso está compuesto por canales de distribución que son las vías del proceso anteriormente señalado (“La distribución de productos en la empresa,” n.d.). , En el caso de la agroproducción se emplea el canal de distribución de bienes de consumo que consiste en hacer llegar a los clientes los productos de forma inmediata ya que estos son generalmente de naturaleza perecedera (“La distribución de productos en la empresa,” n.d.)

Acceso: Es la capacidad adquisitiva de bienes, productos o servicios; este se ve atenuado por la carencia física de las mercancías (FAO, n.d.-b) o de la masa monetaria.

3.7 Huella hídrica

Es un indicador del uso de agua, ya sea consumida o contaminada (en unidades de volumen) de forma directa o indirecta por unidad de tiempo dentro de un contexto geográfico. Su cálculo es empleado en procesos, productos, productores, consumidores o grupos de consumidores (Hoekstra, Chapagain, Aldaya, & Mekonnen, 2011), cada uno de ellos presenta su metodología correspondiente. Los textos guía más conocidos, para el cálculo de huellas hídricas son: el “Manual de Evaluación de Huella Hídrica” y la norma “ISO 14046: Huella de agua- principios, requisitos y directrices”.

3.8 Huella de carbono

La huella de carbono es una herramienta derivada e incluida dentro de la huella ecológica, llegando a representar el 50% de esta última (Schneider & Samaniego, 2009).

Se define a la huella de carbono como la cantidad de gases de efecto invernadero expresados en masa de anhídrido carbónico equivalente (CO₂eq) liberado a la atmósfera a consecuencia de las actividades antropogénicas; por otro lado, también puede ser entendida como la medida de impacto de los gases de efecto invernadero provenientes de las actividades humanas sobre el ambiente (Schneider & Samaniego, 2009).

3.8.1 Metodologías para el cálculo de la huella de carbono

Por convención el cálculo de la huella de carbono considera tres clases de alcances:

Alcance 1: mide las emisiones directas como uso interno de combustibles fósiles o generación de residuos en la actividad ejecutada (CEPAL, 2013).

Alcance 2: mide las emisiones indirectas asociadas al gasto energético (CEPAL, 2013).

Alcance 3: mide las emisiones indirectas restantes (aquellas que se vinculan a procesos de distribución, recepción o fin de la vida útil de los productos) (CEPAL, 2013)

Las herramientas metodológicas más conocidas son las que se describen a continuación.

ISO 14064.- es una guía metodológica que permite la cuantificación de GEI asociados a actividades específicas (ISO 14064, n.d.)

GHG protocol (GreenHouse Gas Protocol).- se implementó en el 2001 por la cooperación de varias partes interesadas en la contabilización de GEI (las evaluadas en el protocolo de Kioto). Comprende un software e índices para el cálculo de las emisiones y guías sobre su (CEPAL, 2013).

Bilan Carbone.- se originó en el 2004 en Francia. Contiene un software de acceso gratuito para la medición de la huella de carbono ya sea empresarial o de productos, pero con costos para la capacitación en su manejo (CEPAL, 2013).

3.9 Ciclo de vida

Entiéndase como vida al espacio comprendido entre la concepción y la muerte, mientras que ciclo es la oscilación de estados, materia y energía; por lo tanto, es posible señalar que el ciclo de vida es la ocurrencia continua de transformaciones desde un punto inicial hacia uno final en donde la materia y energía en óbito se reintroducen al sistema productivo ya sea este de bienes o servicios, originando vida nueva, repitiéndose de esta manera el ciclo.

3.10 Análisis de ciclo de vida (ACV)

El ACV es un instrumento de identificación, caracterización y cuantificación de los impactos ambientales de los sistemas productivos a partir de los flujos de materia y energía de sus entradas y salidas (Artaraz, 2002).

El ACV como instrumento permite identificar las interacciones de los bienes y servicios con el entorno (social, económico o ambiental) y sus diferentes niveles, es decir que el comportamiento del producto puede ser evaluado en cualquier dimensión o parte del medio, de tal forma que es observable la evolución del producto dentro del sistema o ámbito de estudio (Ramos & Márquez, 2002).

A nivel normativo se ubica dentro de la familia ISO (International Organization for Standardization) perteneciendo al grupo de Gestión Ambiental bajo la etiqueta de “ISO 14040 GESTIÓN AMBIENTAL. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA” (International Organization for Standardization, 2007).

Se ha de entender que la norma ISO 14040 presenta lineamientos que sirven como guía para realizar un ACV, mas no describe una metodología detallada de como se ha de ejecutar en su totalidad, ni mucho menos cada una de sus fases (definición de objetivos y alcance, análisis del inventario, evaluación del impacto del ciclo de vida, y la interpretación de resultados) mismas que se representan en la figura 6 (International Organization for Standardization, 2007).

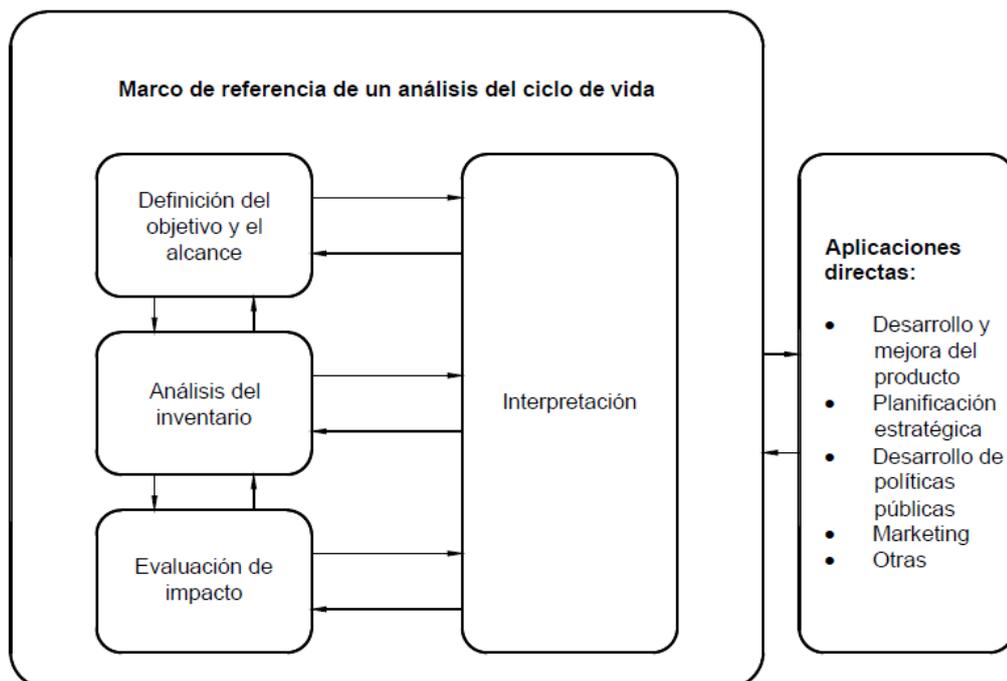


Figura 10. Fases del Análisis de Ciclo de Vida
Fuente: (International Organization for Standardization, 2007)

Se emplea la norma de forma flexible y acorde a lo que pretende ser evaluado, finalmente queda aclarar que se enfoca en determinar los posibles impactos ambientales sin considerar factores sociales o económicos sobre los mismos.

3.10.1 Definición del objetivo y alcance

Abarca la definición del sistema estudiado, así como también el alcance y el nivel de profundidad del análisis en cuanto a objetivos (Benveniste et al., 2011).

Existen dos parámetros relevantes dentro del alcance, el primero denominado “unidad funcional” se encarga de cuantificar las funciones del producto, es decir es un parámetro completamente medible, que facilita la comparación al analizar distintos sistemas sobre una base común (Ruiz, 2007); mientras que el segundo recibe el nombre de “límites del sistema”, teniendo a su cargo la identificación de procesos unitarios del sistema productivo y su consecuente selección dentro del análisis a fin de que los procesos estén acorde a los objetivos del ACV (Facultad de Ingeniería, 2015).

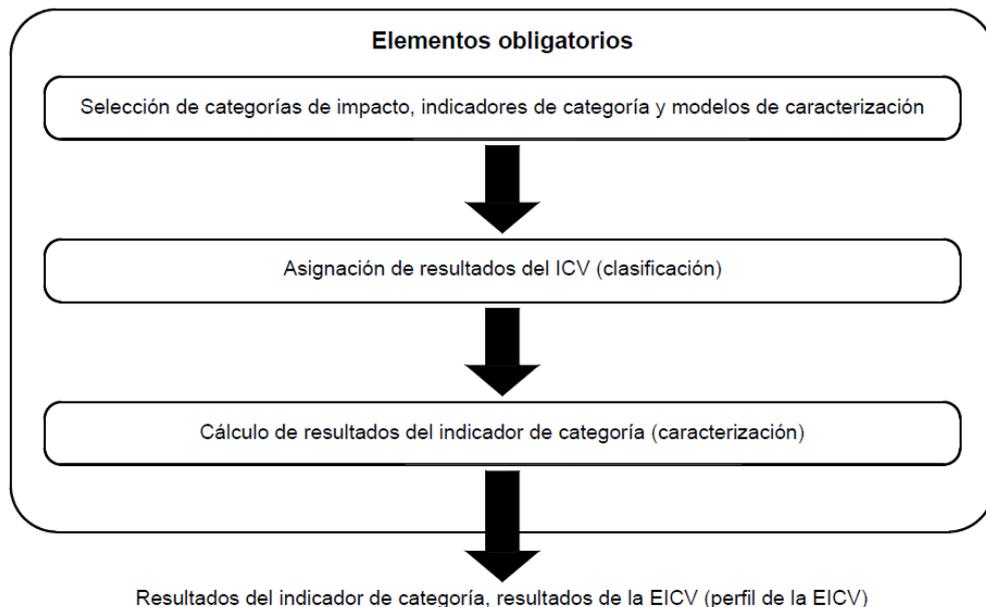
3.10.2 Análisis de inventario del ciclo de vida

Esta fase se ocupa de la evaluación en términos cualitativos y cuantitativos de los recursos en cuanto a entradas y salidas dentro del sistema de producción (Romero, 2008). En sí corresponde a un balance de masa y energía para cada proceso unitario previamente seleccionado.

3.10.3 Evaluación de impacto del ciclo de vida (EICV)

Se basa en el análisis de inventario para identificar y evaluar los impactos producidos en la fase anteriormente descrita (Vélez, 2014).

La evaluación considera el dinamismo de los resultados del análisis de inventario, agrupándolos en categorías de impacto con sus indicadores correspondientes (International Organization for Standardization, 2007). La figura 10 detalla los elementos necesarios para llevar a cabo la EICV.



Resultados del indicador de categoría, resultados de la EICV (perfil de la EICV)

Figura 11. Elementos del EICV

Fuente: (International Organization for Standardization, 2007).

3.10.3.1 Metodologías para ejecutar el EICV

CML 2016.- fue desarrollada por la universidad de Leiden en Holanda. Contiene categorías de impacto y metodologías de caracterización basándose en la normativa expuesta por la ISO, a más de ello trabaja en dos líneas de acción que son el daño y el problema (Haya, 2016).

Ecoindicator. - metodología de origen holandés. Se emplea indicadores de categoría de impacto final para trabajar sobre los daños (Lazo, 2015). Cabe señalar que la terminología categoría de daño y los llamados factores de daño no se encuentran dentro de los lineamientos expuestos por la ISO (Haya, 2016).

Impact 2002+.- posee indicadores de categoría, categorías de impacto y daño, y modelos de caracterización aceptados a nivel internacional, es decir que dicha metodología se encuentra aprobada por organismos competentes (Viloria, 2015).

EDIP'03 – Environmental Design of Industrial Products. - metodología creada por la Universidad Técnica de Dinamarca. Contiene categorías de impacto a escala local,

regional y global; a más de ello presenta aspectos de daño vinculados a la salud humana en el entorno laboral. Se la emplea mayormente en los procesos productivos (Haya, 2016).

Environmental Priority Strategy in Product Design (EPS 2002). - cuantifica el daño ambiental, así como también la restauración del mismo manteniendo un enfoque económico. Es útil para evaluar las cargas ambientales de los sistemas productivos. Presenta cinco categorías de impacto, lineamientos de caracterización y agregación (Steen, 1999).

3.10.4 Interpretación de los resultados del análisis de ciclo de vida

Se centra en brindar resultados acordes al objetivo y alcance expuestos, a más de ello también valida y verifica la recopilación de datos empleando para ello técnicas cualitativas o cuantitativas (Romero, 2008).

4. MATERIALES Y MÉTODOS

La elaboración del presente estudio contempló una estructura de campo y gabinete, a fin de llevar un orden adecuado en la toma de datos y ejecución de cálculos.

4.1 Materiales

Tabla 1

Materiales empleados en el proyecto

Fase	Materiales	Equipos
Fase de campo	Recipiente de un litro graduado	Cronómetro
Fase de gabinete	Materiales de oficina	Computadora

Elaborado por: D. Padilla

4.2 Métodos aplicados

Básicamente las cadenas agroalimentarias comprenden las fases agrícola, industrial, transporte y acceso. El proyecto presente se limita a obtener los resultados de las fases industrial y comercialización en términos de indicadores de impacto ambiental en cuanto a huella hídrica, huella de carbono y análisis de ciclo de vida; finalmente el acceso se analiza de manera porcentual en función de las personas que visitan los mercados convencionales y ferias agroecológicas para adquirir hortalizas.

El estudio ha considerado el criterio “cut-off”, el mismo que señala la exclusión del análisis de los procesos o cuantificaciones que no son significativas (Monari, 2013), este proyecto particularmente no evidencia la cuantificación de los indicadores de impacto ambiental (acidificación, eutrofización, etc) provenientes de la etapa de lavado, dado que son menores al 1% dentro de cada categoría de impacto.

4.2.1 Estimación de la huella hídrica

El cálculo de la huella hídrica fue realizado en la fase de procesamiento, puesto que, dentro de las partes del sistema productivo evaluadas, es esta únicamente en la que registra consumo de agua.

El levantamiento de información (fase de campo) se realizó solicitando los datos de producción de las hortalizas evaluadas, mientras que la cantidad de agua empleada se determinó midiendo el volumen de agua recolectado en un recipiente graduado de un litro por unidad de tiempo para lo cual se empleó un cronómetro

En la fase de gabinete se trabajó con los lineamientos y ecuaciones expuestas en “The Water Footprint Assessment Manual”. La forma de cálculo se basa en la huella hídrica para productos, la misma que posee el nombre de “Enfoque de la suma de cadenas”, desarrollada para sistemas que generan un solo producto en su salida, en este caso hortalizas (papa y brócoli).

El esquema general del método empleado se visualiza en la figura 11.

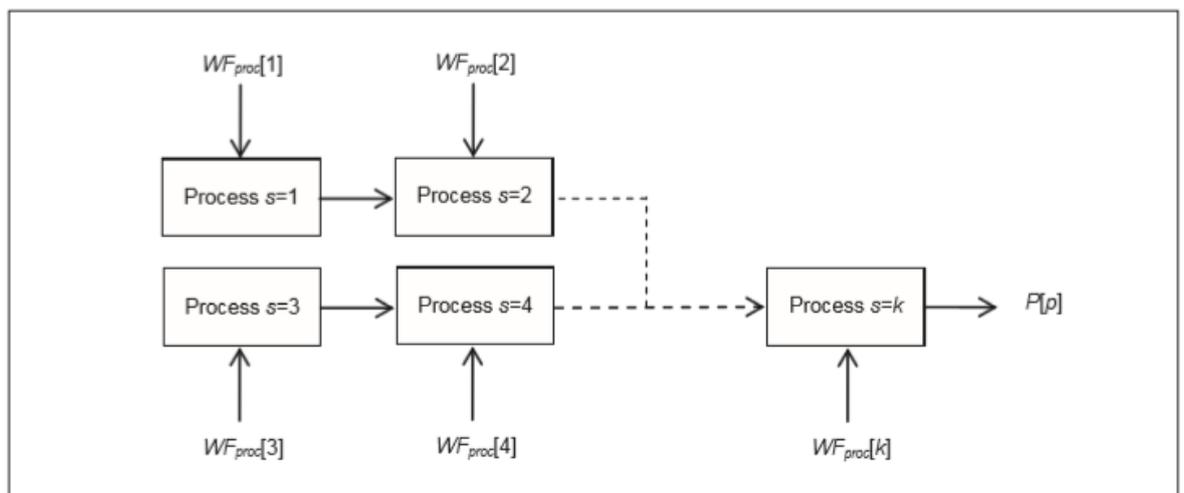


Figura 12. Esquema metodológico de la suma de cadenas
Fuente: (Hoekstra et al., 2011)

Las huellas hídricas asociadas a los procesos influyen en el producto final del sistema, de tal manera que la huella hídrica del producto se torna equivalente a la sumatoria de las huellas de los procesos relevantes, véase la ecuación (1).

$$WF_{prod}[p] = \sum_{s=1}^k \frac{WF_{proc}[s]}{P[p]} \left[\frac{\text{volumen}}{\text{masa}} \right] \quad (1)$$

Fuente: (Hoekstra et al., 2011)

Donde:

$$WF_{prod}[P] = H.H. \text{ del producto; } \left[\frac{\text{Volumen}}{\text{masa}} \right]$$

$$WF_{proc}[P] = H.H. \text{ del proceso; } \left[\frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}} \right]$$

$$P = \text{cantidad de producción del producto } \left[\frac{\text{masa}}{\text{tiempo}} \right]$$

En los casos que analizamos, es decir hortalizas procedentes del sistema agrícola convencional y hortalizas del sistema agroecológico, la huella hídrica solo se ve influenciada por el proceso de lavado durante la postcosecha.

4.2.2 Estimación de la huella de carbono

Los datos fueron recogidos por medio de preguntas direccionadas al consumo energético de las fases analizadas.

En general el cálculo de la huella de carbono contempla operaciones matemáticas simples. Se deben considerar factores de emisión de los insumos y procesos evaluados, así como también de las equivalencias en kilogramos de CO₂ de los gases de efecto invernadero. De manera general su ecuación (2) expresa lo siguiente:

$$E = A * Fe \quad (2)$$

Donde:

E = Emisiones de GEI expresadas en toneladas de CO₂ eq

A = Actividad que produce las emisiones o cantidad de insumos

Fe = (Factor de emisión) expresa la cantidad de GEI por parámetro

Se elaboraron tres tipos de tablas en base a los “alcances” (1, 2 y 3) que se ajustan a las fases del sistema productivo evaluadas en el presente estudio.

Tabla 2
Alcance 1 (procesamiento)

Alcance 1	Consumo [TJ]	Factor de emisión $\left[\frac{\text{ton GEI}x}{\text{TJ}}\right]$	Total de emisiones [tonCO ₂]	Total de emisiones [tonCH ₄] (21)	Total de emisiones [tonN ₂ O] (310)	Total de emisiones [tonCO ₂ eq]
Combustible						
Total alcance 1						

Fuente: (Vilches, 2012)
Modificado por: D. Padilla

Tabla 3
Alcance 2 (procesamiento)

Alcance 2	Energía	Consumo [MWh]	Factor de emisión $\left[\frac{\text{tonCO}_2}{\text{MWh}}\right]$	Total emisiones [tonCO ₂]
Total Alcance 2				

Fuente: (Vilches, 2012)

Las emisiones de CO₂eq del procesamiento se ven influenciadas por el uso de insumos que de por sí contienen una huella propia, ya sean envases de aluminio o plástico, bandas de hule o cualquier otro material que permita empaquetar el producto, en caso de tener dichos materiales se multiplicará su factor de emisión por la cantidad en masa de dicho producto.

Tabla 4
Alcance 3 (distribución)

Alcance 3	Consumo [TJ]	Factor de emisión $\left[\frac{\text{ton GEI}x}{\text{TJ}}\right]$	Total de emisiones [tonCO ₂]	Total de emisiones [tonCH ₄] (21)	Total de emisiones [tonN ₂ O] (310)	Total de emisiones [tonCO ₂ eq]
Combustible						
Total alcance 3						

Fuente: (Vilches, 2012)
Modificado por: D. Padilla

Tabla 5*Cálculo total (suma de los alcances)*

Alcance 1	Alcance 2	Alcance 3	Total emisiones [tonCO₂ eq]
------------------	------------------	------------------	---

Fuente: (Vilches, 2012)

De manera general los factores de emisión ya se encuentran estimados acorde a cada insumo y actividad desarrollada, la Tabla 6 presenta los factores empleados en el estudio.

Tabla 6*Factores de emisión*

Insumo	Factor de emisión	Fuente de consulta
Energía eléctrica	0,5062 [ton CO ₂ /MWh]	Sistema nacional interconectado del Ecuador
Diésel	74,1 [ton CO ₂ /TJ] 0,00415 [ton CH ₄ /TJ] 0,0286 [ton N ₂ O/TJ]	Directrices del IPCC
Plástico promedio	2,383[kg CO ₂ /kg plástico]	ADEME

Fuente:(ADEME, 2017; IPCC, 2006; MAE, 2013)

Elaborado por: D. Padilla

Los factores de equivalencia para el CO₂ se visualizan en la tabla 7.

Tabla 7*Valores de CO₂eq para diferentes gases de efecto invernadero*

Gas de Efecto Invernadero	Factor de equivalencia [kg CO₂eq/kg]
CO ₂	1
CH ₄	21
N ₂ O	310
HFC	740
PFC	1300
SF ₆	23900

Fuente: (IPCC, 2001)

Elaborado por: D. Padilla

El análisis de la fase de acceso implica únicamente una revisión documental relacionada con el número de usuarios que visitan las ferias agroecológicas en el lugar de estudio.

4.2.3 Método para el análisis del ciclo de vida

Se aplicó la metodología establecida por la Organización Internacional de Estandarización ISO 14040 GESTIÓN AMBIENTAL. ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA. PRINCIPIOS Y MARCO DE REFERENCIA.

4.2.3.1 Paso 1. Definición del objetivo y alcance

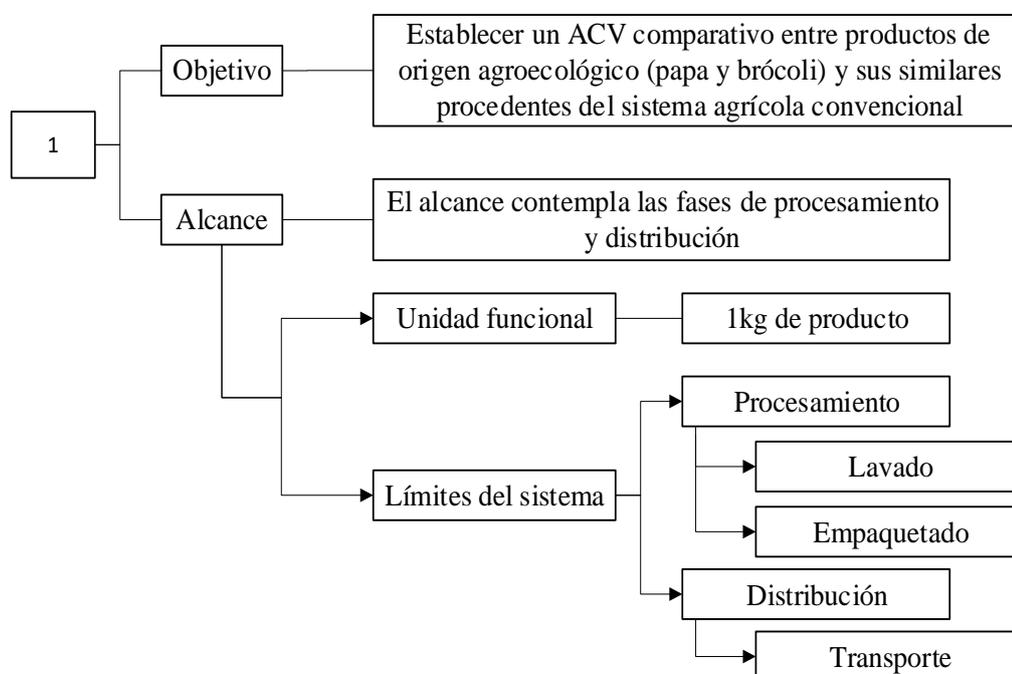


Figura 13. Descripción del Objetivo y Alcance
Elaborado por: D. Padilla

4.2.3.2 Paso 2. Análisis del inventario del ciclo de vida

Se realizaron dos flujogramas, uno para los productos procedentes del sistema agroalimentario convencional y otro para los del sistema agroecológico.

4.2.3.3 Paso 3. Evaluación de impacto de ciclo de vida

4.2.3.3.1 Selección de las categorías de impacto

Se emplearon las ecuaciones y categorías de impacto tipo A, es decir aquellas que deben ser incluidas de forma obligatoria en los análisis de ciclo de vida según la metodología CML. Las categorías seleccionadas en la investigación se observan la tabla 8.

Tabla 8
Categorías evaluadas en la investigación

Categoría de Impacto	Indicador	Unidad	Descripción
Cambio Climático	Indicador de cambio climático [CCI]	kg CO ₂ eq	Cuantificación de emisiones
Eutrofización	Indicador de eutrofización [EI]	g PO ₄ eq	Cuantificación de emisiones

Fuente: (Guineé et al., 2002)
Modificado por: D. Padilla

4.2.3.3.2 Clasificación

Consistió en la asignación de los datos obtenidos en el inventario a las categorías de impacto.

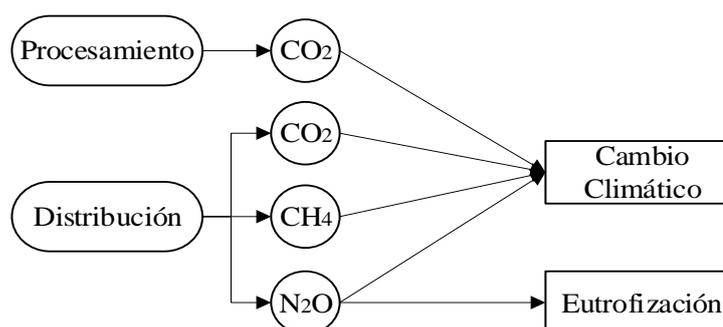


Figura 14. Clasificación EICV
Fuente: D. Padilla

4.2.3.3.3 Caracterización

En este lineamiento se calcularon los valores de las categorías de impacto.

4.2.3.3.3.1 Cambio climático

Cuantifica los gases de efecto invernadero en unidades de CO₂ equivalente. Su cálculo se ejecuta con la siguiente expresión.

$$CCI = \sum_i GWP_i * m_i \quad (3)$$

Fuente: (Guineé et al., 2002)

Donde:

GWP: potencial de calentamiento global

m_i: masa de la sustancia *i* [kg]

Los valores de GWP para determinar el CCI, pueden ser observados en la tabla 9.

Tabla 9

Factores de caracterización, GWP [kg CO₂eq/kg] acorde a periodos de integración de 20 y 100 años para gases de efecto invernadero típicos

Sustancia	GWP (20)	GWP (100)
CO ₂	1	1
CH ₄	84	28
N ₂ O	264	265
Halón 1301 (CF ₃ Br)	7800	6290
CF ₄	4880	6630

Fuente: (IPCC, 2013)
Modificado por: D. Padilla

4.2.3.3.3.2 Eutrofización

Señala la contribución de los macronutrientes fósforo y nitrógeno al ecosistema acuático, lo que a su vez significa el aumento de biomasa acuática y en consecuencia el incremento del valor de DBO (Assumpció & Vallejo, 2004). Su cuantificación se realiza en base a PO₄ equivalente.

$$EI = \sum_i EP_i * m_i \quad (5)$$

Fuente: (Guineé et al., 2002)

Donde:

EP: potencial de eutrofización

m_i: masa de la sustancia *i*

Los valores de EP para determinar el EI se visualizan en la tabla 10.

Tabla 10

Factores de equivalencia para EP [g PO₄eq/g] para compuestos eutrofizantes comunes

Sustancia	EP [g PO₄eq/g]
Óxido Nitroso (N ₂ O)	0,27
Amonio (NH ₄)	0,42
Amoniaco (NH ₃)	0,35
Fósforo (P)	3,06

Fuente: (Ecobilan, 1999)

Modificado por: El Autor

4.2.3.4 Paso 4. Interpretación del análisis de ciclo de vida.

Se detalla en el capítulo “Resultados y discusión” del proyecto.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Recolección de datos

Todos los datos evaluados fueron recolectados in situ. Las fases de procesamiento y distribución presentan la misma cantidad de producto en masa, esto debido a que son actividades intrínsecas del productor; mientras que la fase de acceso difiere de las anteriores en la cantidad de producto dado que se relaciona con los hábitos de consumo del cliente dentro del mercado. El apartado “anexos” evidencia las cantidades con las que se trabajó (ver anexo 1), así como también detalles de los cálculos elaborados (ver anexo 2).

La tabla 11 expone los datos recolectados en campo para la determinación de la huella hídrica, de carbono y análisis de ciclo de vida.

Tabla 11
Inventario para el cálculo de huellas ambientales y análisis de ciclo de vida

Sistema		Descripción	Cantidad	Unidades
Agroecológico	Lavado	Brócoli	0,197	L/kg producto
		Papa	0,328	L/kg producto
	Suministro energético	Energía eléctrica	0,0003	MWh/día
	Transporte	Diesel	15	L/transporte
Convencional	Lavado	Brócoli	0	L/kg producto
		Papa	0,724	L/kg producto
	Transporte	Diesel	36,74	L/transporte
	Empaquetado	Redes para empaque	0,8	g/kg producto
Bandejas de poliestireno expandido		36,363	g/kg producto	

Elaborado por: D. Padilla

5.2 Resultados del análisis agroecológico.

Para entender los resultados numéricos, véanse en el diagrama de flujo (figura 14) las entradas y salidas dispuestas en cada proceso.

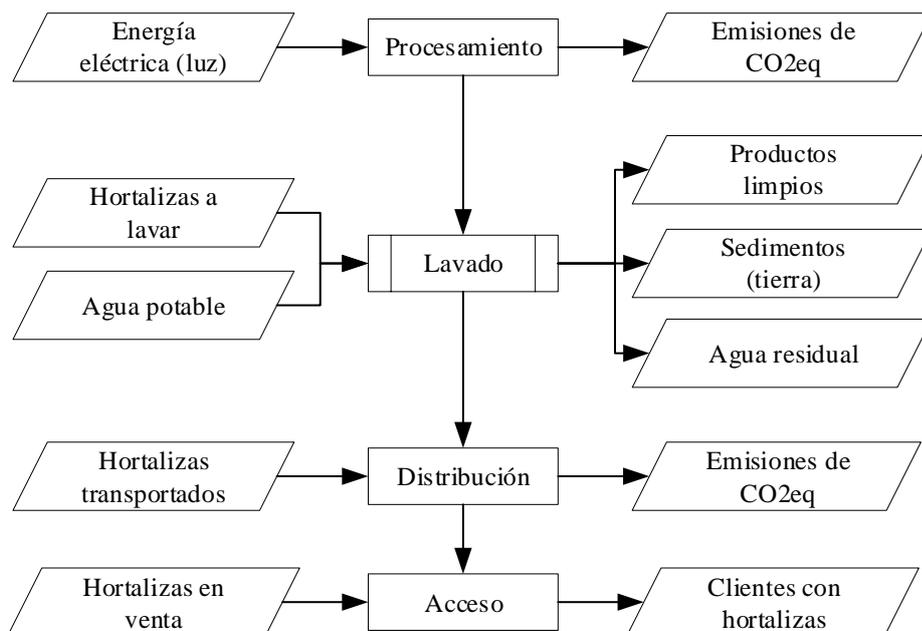


Figura 15. Flujograma en la fase de procesamiento, distribución y acceso de la papa y brócoli del sistema agroecológico
Elaborado por: D. Padilla

Las hortalizas agroecológicas no son empaquetadas, puesto que son entregados a los consumidores en canastillas que una vez descargadas retornan con el productor.

5.2.1 Huella Hídrica

Es necesario explicar que la cuantificación de la huella hídrica corresponde al procesamiento, dado que únicamente en esta se emplea agua de forma directa, es por ello no se verá reflejada en las otras fases.

Tabla 12

Huella Hídrica sistema agroecológico

Producto	Huella Hídrica del producto [L/kg producto]
Brócoli	0,20
Papa	0,33

Elaborado por: D. Padilla

5.2.2 Huella de Carbono

A continuación, se presentan los valores de la huella de carbono para la papa y el brócoli, véase la tabla 13.

Tabla 13
Huella de carbono del sistema agroecológico

Producto	H.C Procesamiento	H.C Distribución	H.C Total	Unidades
Brócoli	0,90	6,25	7,15	g CO ₂ eq/kg producto
Papa	0,90	6,00	6,90	g CO ₂ eq/kg producto

Elaborado por: D. Padilla

5.2.2.1 Discusión parcial (Huella de Carbono)

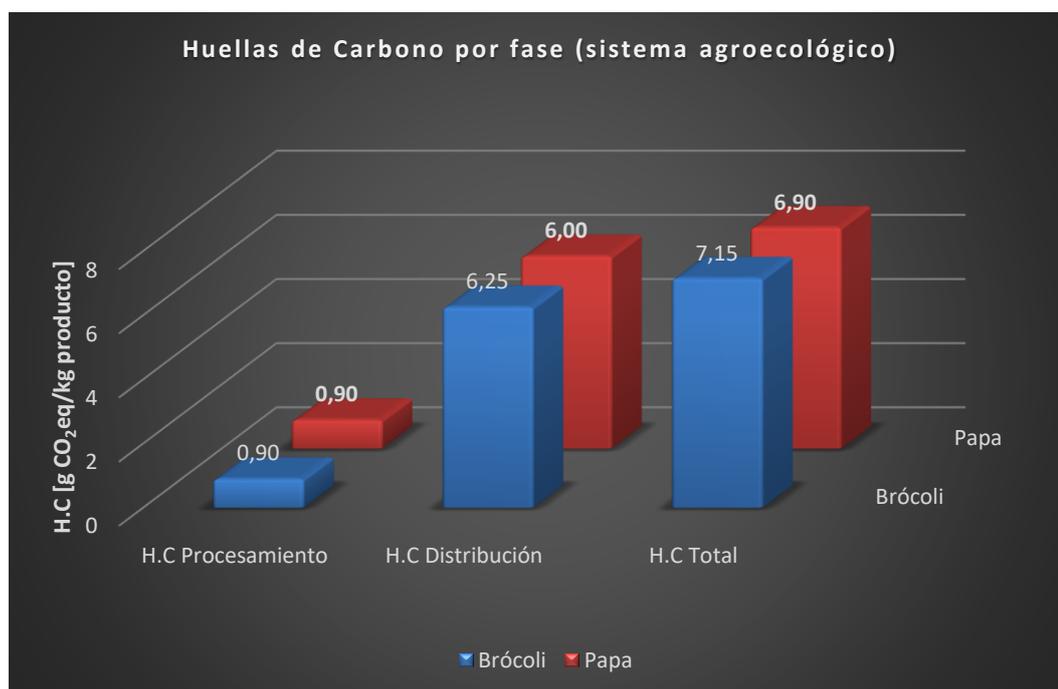


Figura 16. Huellas de Carbono por fase (Sistema agroecológico)
 Elaborado por: D. Padilla

Como se aprecia en la figura 16, el procesamiento (tanto para papa como para brócoli) es la fase que menos emisiones de CO₂eq aporta a la huella de carbono con un valor de 0,9 [g CO₂eq/kg producto], mientras que la fase de distribución arrojó una cuantificación de 6,00 y 6,25 [g CO₂eq/kg producto] para la papa y el brócoli respectivamente. El procesamiento expone valores bajo dado que se emplean principalmente medios humanos para la postcosecha en lugar de equipos automatizados que permitan la misma.

5.2.3 Análisis de Ciclo de Vida

5.2.3.1 Cambio Climático

Es el único indicador del estudio que presenta una estimación a futuro, es por ello que se lo calcula en un escenario temporal de 20 y 100 años. Se exhibe en la tabla 14 el Indicador de Cambio Climático (CCI) con un tiempo de integración de 20 años, y en la tabla 15 con un tiempo de integración de 100 años.

Tabla 14

Cálculo del CCI [g CO₂eq/kg producto] con un tiempo de integración de 20 años

Producto	CCI (20) Procesamiento	CCI (20) Distribución	CCI (20) Total
Brócoli	0,90	2182,33	2183,23
Papa	0,90	2094,64	2095,54

Elaborado por: D. Padilla

Tabla 15

Cálculo del CCI [g CO₂eq/kg producto] con un tiempo de integración de 100 años

Producto	CCI (100) Procesamiento	CCI (100) Distribución	CCI (100) Total
Brócoli	0,90	1838,41	1839,31
Papa	0,90	1764,54	1765,44

Elaborado por: D. Padilla

5.2.3.1.1 *Discusión Parcial (Cambio Climático)*

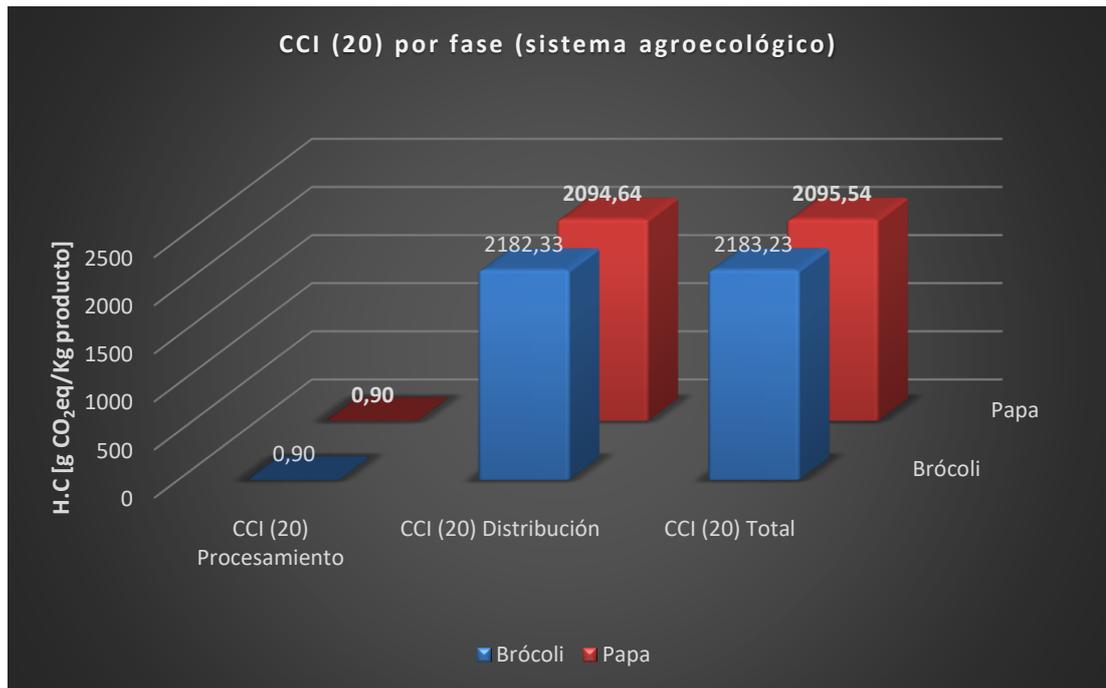


Figura 17. CCI con un tiempo de integración de 20 años (Sistema agroecológico)
Elaborado por: D. Padilla

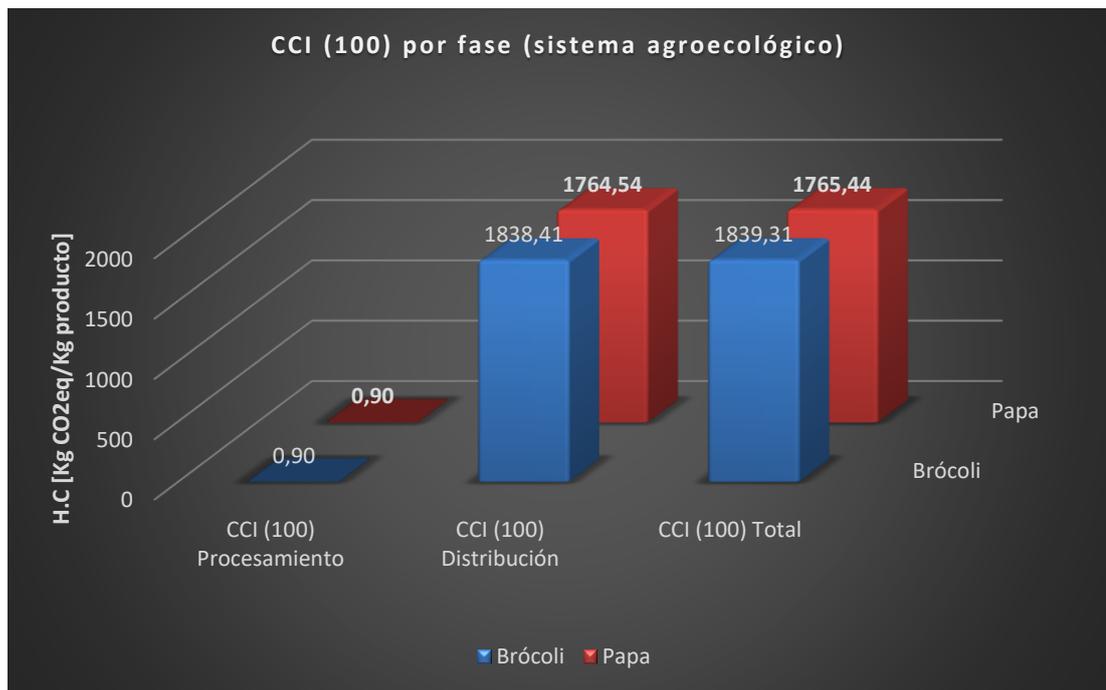


Figura 18. CCI con un tiempo de integración de 100 años (Sistema agroecológico)
Elaborado por: D. Padilla

Las figuras 17 y 18 dan a conocer la energía retenida en cada fase acorde a tiempos de integración de 20 y 100 años respectivamente. Tanto para 20 y 100 años, el procesamiento presenta los mismos valores, esto se debe a que contiene únicamente la

cuantificación de CO₂ (no integra a otros gases), razón por la que se mantiene constante con un valor de 0,9 [g CO₂eq/kg producto], hecho que compagina completamente con lo estipulado por la EPA, manifestando que el CO₂ tiene un potencial de cambio climático de 1 en cualquier tiempo de integración dada su estabilidad atmosférica (Environmental Protection Agency, n.d.).

5.2.3.2 Eutrofización

Tabla 16

Cálculo del EI [g PO₄eq/Kg producto]

Producto	EI Procesamiento	EI Distribución	EI total
Brócoli	0	0,042	0,042
Papa	0	0,040	0,040

Elaborado por: Diego Padilla

5.2.3.2.1 Discusión parcial (Eutrofización)

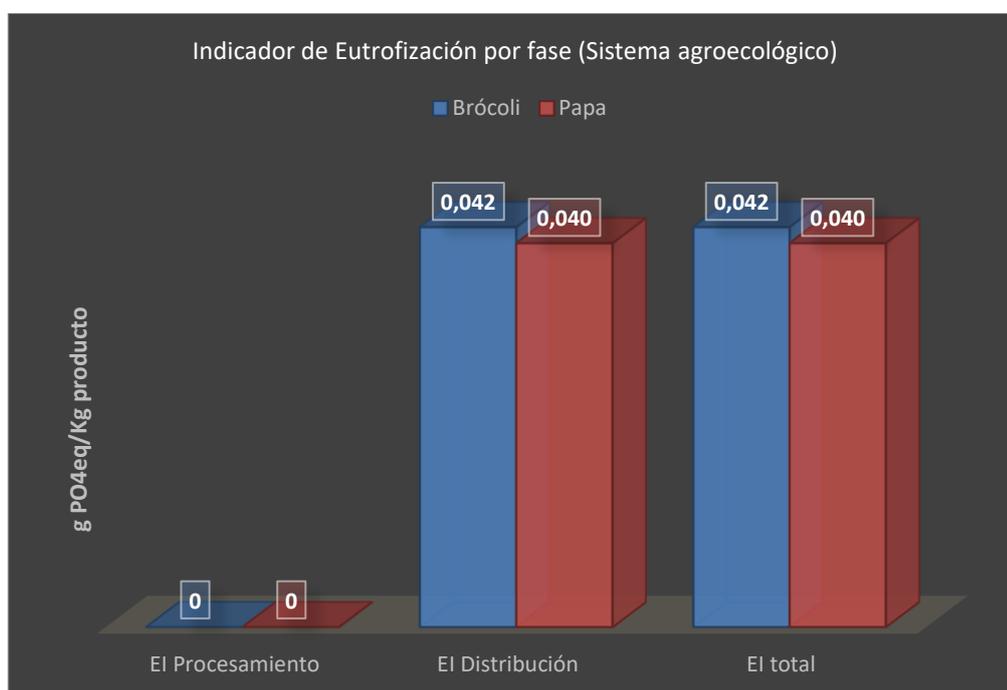


Figura 19. Eutrofización por fase (Sistema agroecológico)

Elaborado por: D. Padilla

El procesamiento en el sistema agroecológico no presenta factores que favorezcan la eutrofización (sustancias establecidas en la Tabla 11), situación por la cual en la figura 19 presenta un valor de cero, no siendo así la distribución es la que presenta un

indicador de eutrofización mayor para el brócoli y la papa, con un valor de 0,042 y 0,040 [g PO₄eq/kg producto] respectivamente.

5.2.4 Acceso sistema agroecológico

Este apartado evidencia la interacción social entre feriantes y consumidores en las ferias agroecológicas.

Tabla 17
Acceso a ferias agroecológicas

Feria	Número de Feriantes	Días de comercialización	Numero Personas que acceden
La Esperanza	45	Domingo	150
Buen Vivir	30	Viernes	80

Elaborado por: D. Padilla

5.3 Resultados del análisis agrícola convencional

A continuación, en las figuras 19 y 20 se presentan los flujogramas de los productos evaluados,

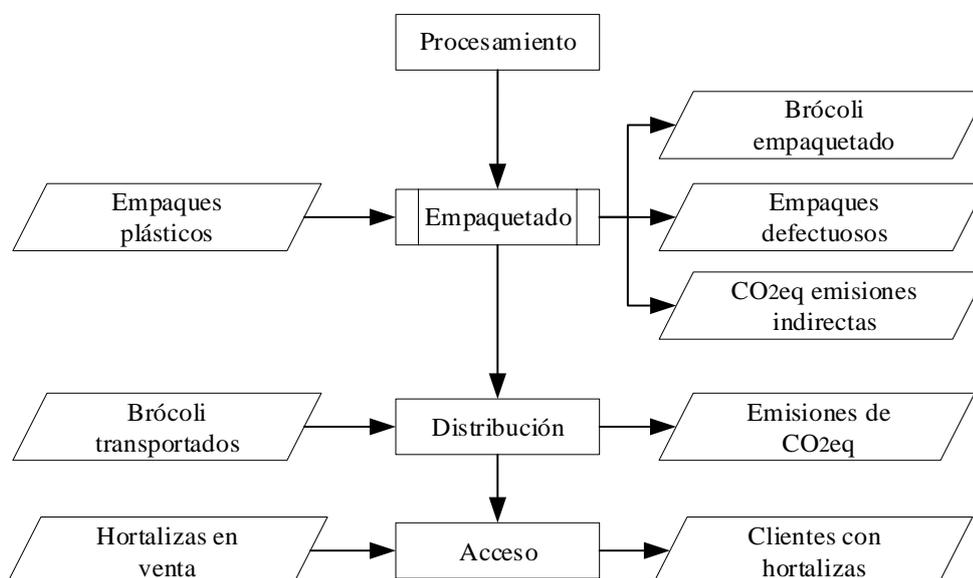


Figura 20. Flujograma en la fase de procesamiento, distribución y acceso del brócoli de origen convencional

Elaborado por: D. Padilla

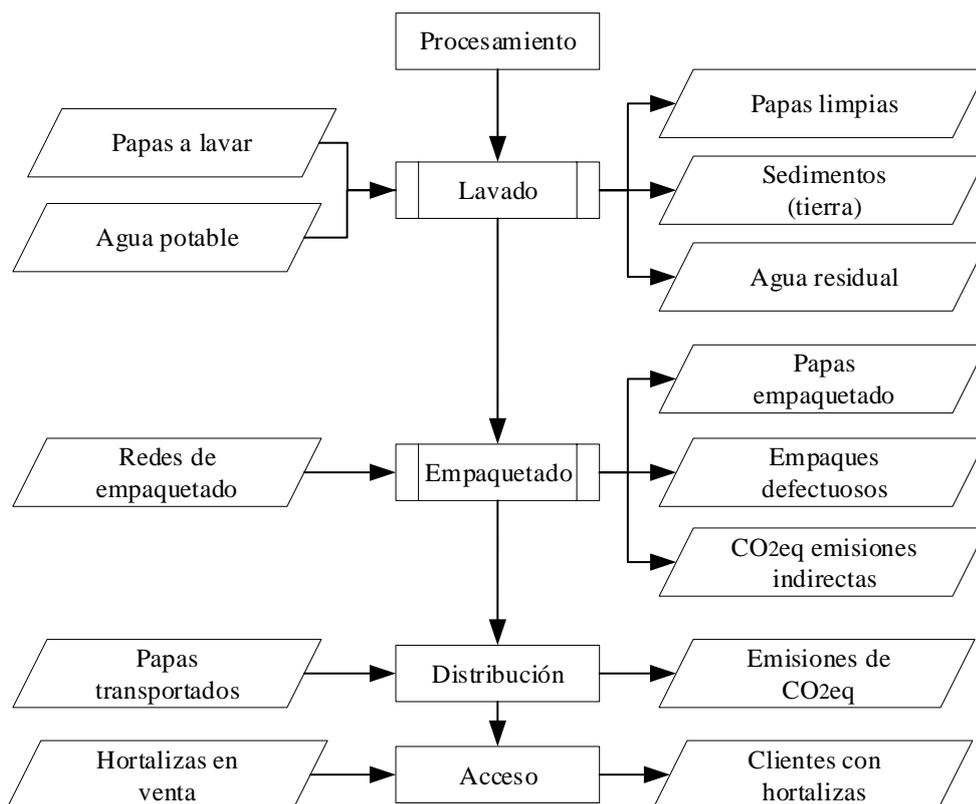


Figura 21. Flujograma en la fase de procesamiento, distribución y acceso de la papa de origen convencional

Elaborado por: D. Padilla

5.3.1 Huella Hídrica

Tabla 18

Cálculo de la Huella Hídrica del sistema agrícola convencional

Producto	Huella Hídrica del producto [L/kg producto]
Brócoli	0
Papa	0,72

Elaborado por: D. Padilla

De la Tabla 18 se puede apreciar que la huella hídrica del brócoli tiene un valor de cero, esto se debe a que recibe un proceso de limpieza manual en seco.

5.3.2 Huella de Carbono

Tabla 19

Cálculo de la Huella de Carbono del sistema agrícola convencional

Producto	H.C. Procesamiento	H.C Distribución	H.C Total	Unidades
Brócoli	86,65	8,66	95,31	g CO ₂ eq/kg producto
Papa	0,0019	9,76	11,66	g CO ₂ eq/kg producto

Elaborado por: D. Padilla

5.3.2.1 Discusión parcial (Huella de Carbono)

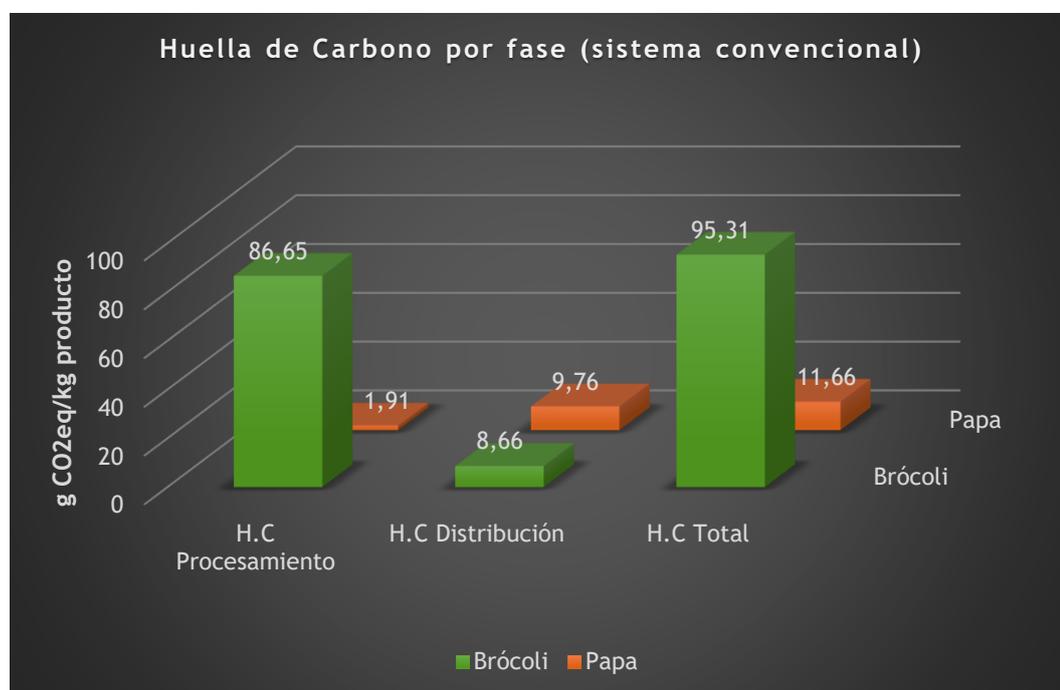


Figura 22. Huella de carbono por fase (Sistema convencional)

Elaborado por: D. Padilla

La figura 22 exhibe que el producto brócoli presenta un aporte significativo de CO₂eq proveniente de la fase de procesamiento, lo que la convierte en un caso singular puesto que las demás hortalizas analizadas presentan aportes mayoritarios en la fase de distribución.

En el caso del brócoli, el valor de 86,65 [g CO₂eq/kg brócoli] señala las emisiones netas de CO₂ derivadas de productos de embalaje, mientras que el valor de 8,66 [g

CO₂eq/kg brócoli] correspondiente a la fase de distribución señala la integración de varios gases de combustión que propiamente se cuantifican como CO₂eq, detalle necesario de manifestar para que el dinamismo del índice de cambio climático sea entendible.

5.3.3 Análisis de Ciclo de Vida

5.3.3.1 Cambio Climático

Tabla 20

Cálculo del CCI [g CO₂eq/kg producto] para un tiempo de integración de 20 años

Producto	CCI (20) Procesamiento	CCI (20) Distribución	CCI (20) Total
Brócoli	86,65	3022,78	3109,43
Papa	1,91	3404,51	3406,42

Elaborado por: D. Padilla

Tabla 21

Cálculo del CCI [g CO₂eq/kg producto] para un tiempo de integración de 100 años

Producto	CCI (100) Procesamiento	CCI (100) Distribución	CCI (100) Total
Brócoli	86,65	2546,41	2633,06
Papa	1,91	2867,98	2869,89

Elaborado por: D. Padilla

5.3.3.1.1 Discusión parcial (Cambio Climático)

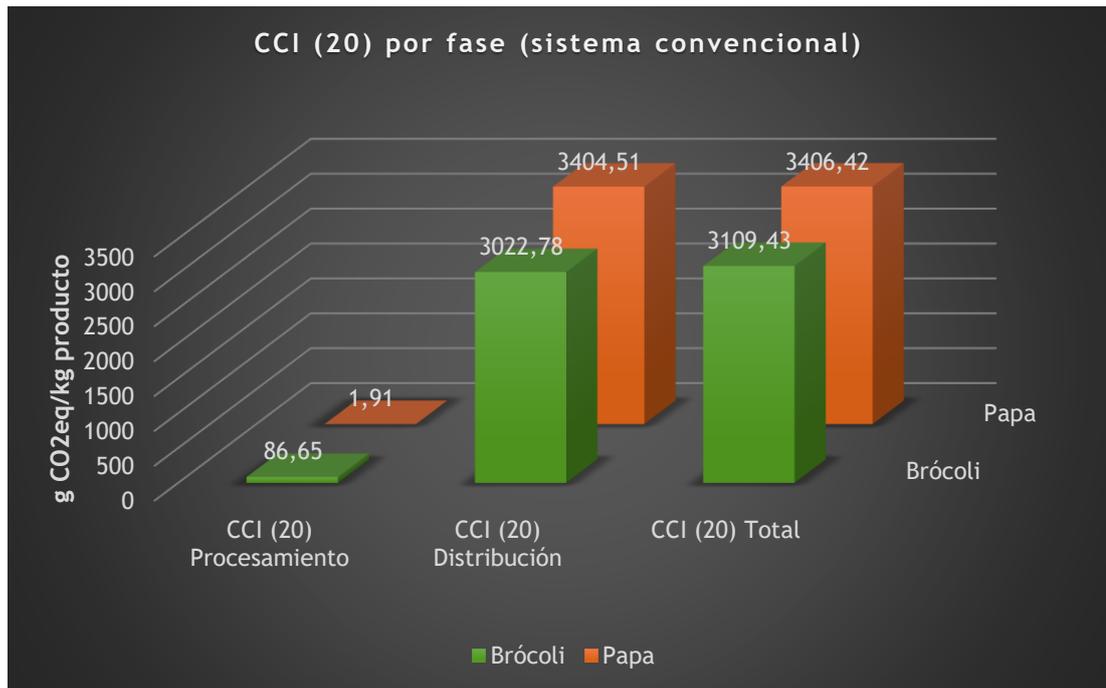


Figura 23. CCI (20) por fase (Sistema convencional)
Elaborado por: D. Padilla

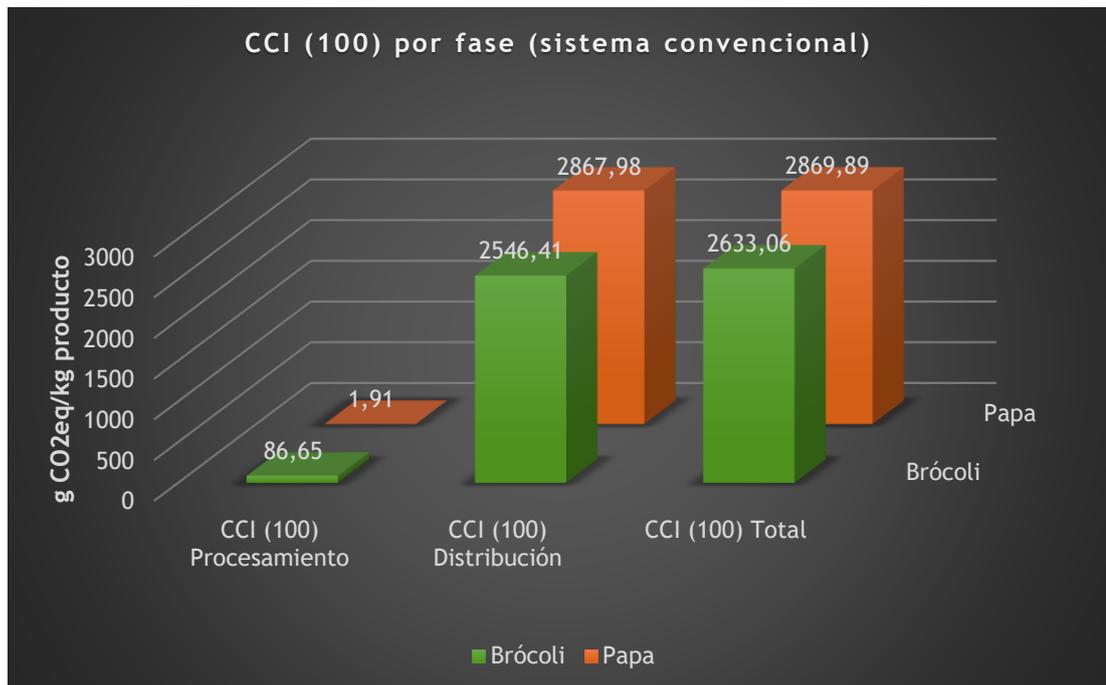


Figura 24. CCI (100) por fase (Sistema convencional)
Elaborado por: D. Padilla

En las figuras 23 y 24 se exhibe que la mayor parte del CCI tanto para brócoli como para papa corresponde a la fase de distribución.

Al igual que en el caso agroecológico, las figuras 23 y 24 manifiestan que existe una mayor retención térmica causada por las emisiones de CO₂eq en la fase de distribución. El CO₂eq emitido durante el procesamiento se mantiene constante para los tiempos de integración de 20 y 100 años, mientras que durante la distribución este pasa de 3022,78 a 2546,41 [g CO₂eq/kg producto] en el caso del brócoli, para los tiempos mencionados anteriormente; por otro lado, la papa presenta el mismo decaimiento con un valor que va de 3404,51 a 2867,98 [g CO₂eq/kg producto] para los tiempos de 20 y 100 años respectivamente.

5.3.3.2 Eutrofización

Tabla 22

Cálculo del EI [gPO₄eq/kg producto]

Producto	EI Procesamiento	EI Distribución	EI total
Brócoli	0	0,250	0,250
Papa	0	0,281	0,281

Elaborado por: D. Padilla

5.3.3.2.1 Discusión parcial (Eutrofización)

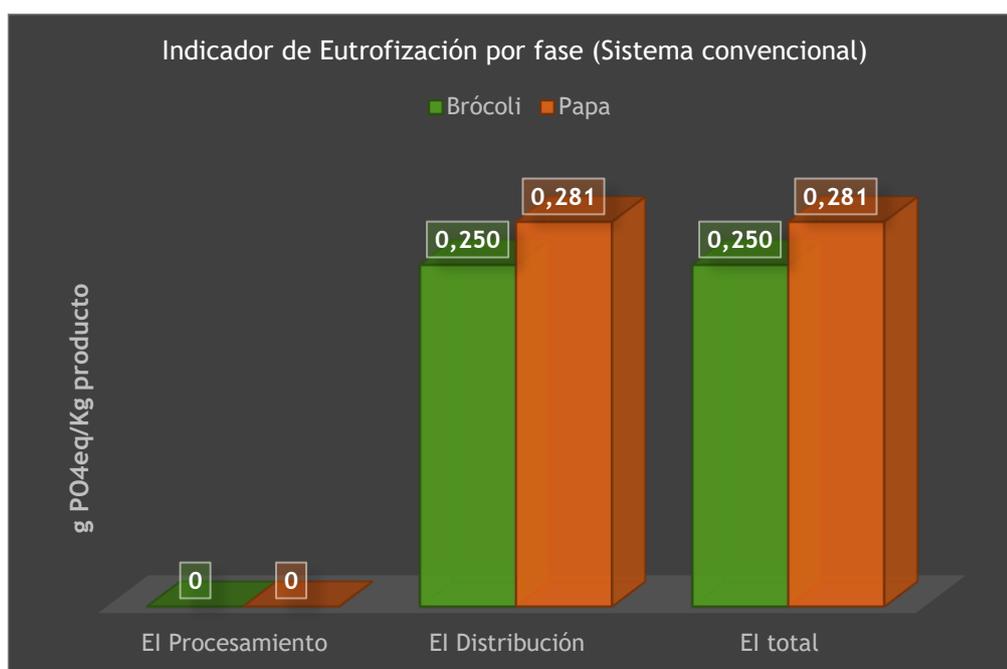


Figura 25. Índice de Eutrofización por fase (Sistema convencional)

Elaborado por: D. Padilla

Al igual que en el caso agroecológico, la única contribución para el indicador de eutrofización se encuentra en la fase de distribución, tal y como se aprecia en la figura 25.

5.3.4 Acceso sistema convencional

Acorde a las entrevistas realizadas con los dirigentes del Mercado Municipal Tabacundo, se obtuvieron los siguientes datos.

Tabla 23

Acceso al mercado convencional

Mercado	Número de Feriantes	Días de comercialización	Numero Personas que acceden
Mercado Municipal Tabacundo	130	Todos los días	300

Elaborado por: D. Padilla

5.4 Análisis Comparativo: Discusión Global

Iníciase con el estudio de la huella hídrica. La figura 26 contrasta las huellas hídricas calculadas en el proyecto.

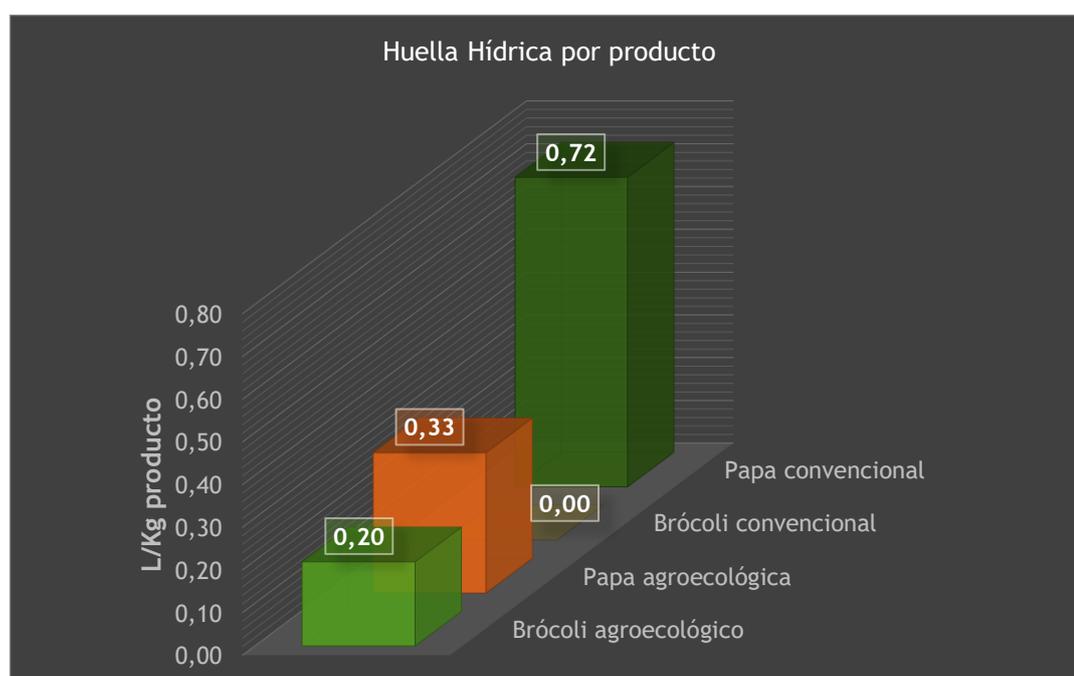


Figura 26. Contraste de Huellas Hídricas por producto

Elaborado por: D. Padilla

La figura 26 evidencia que el producto papa del sistema agroecológico presenta un ahorro de agua en postcosecha en más del 50% en relación a su similar de origen convencional; por otra parte el sistema agroecológico evidencia que la huella hídrica del brócoli excede a su par de origen convencional, ya se explicó anteriormente que el brócoli convencional presenta un proceso de limpieza en seco y es por ello que su gasto de agua se manifiesta como cero, entonces se torna importante aclarar que existen procedimientos de limpieza convencional para hortalizas que emplean grandes cantidades de agua bajo el supuesto de calidad y asepsia, lamentablemente estos se encuentran vinculados directamente con los grandes emporios de supermercados, y no permiten que agentes externos evalúen sus procesos.

A fin de aumentar la comprensión del gasto del agua dentro del sistema productivo, véase la figura 27 donde se ha colocado el valor de la huella hídrica para la fase agrícola del brócoli y papa según los resultados obtenidos por Chiluisa (2018) y Yandún (2018) respectivamente.

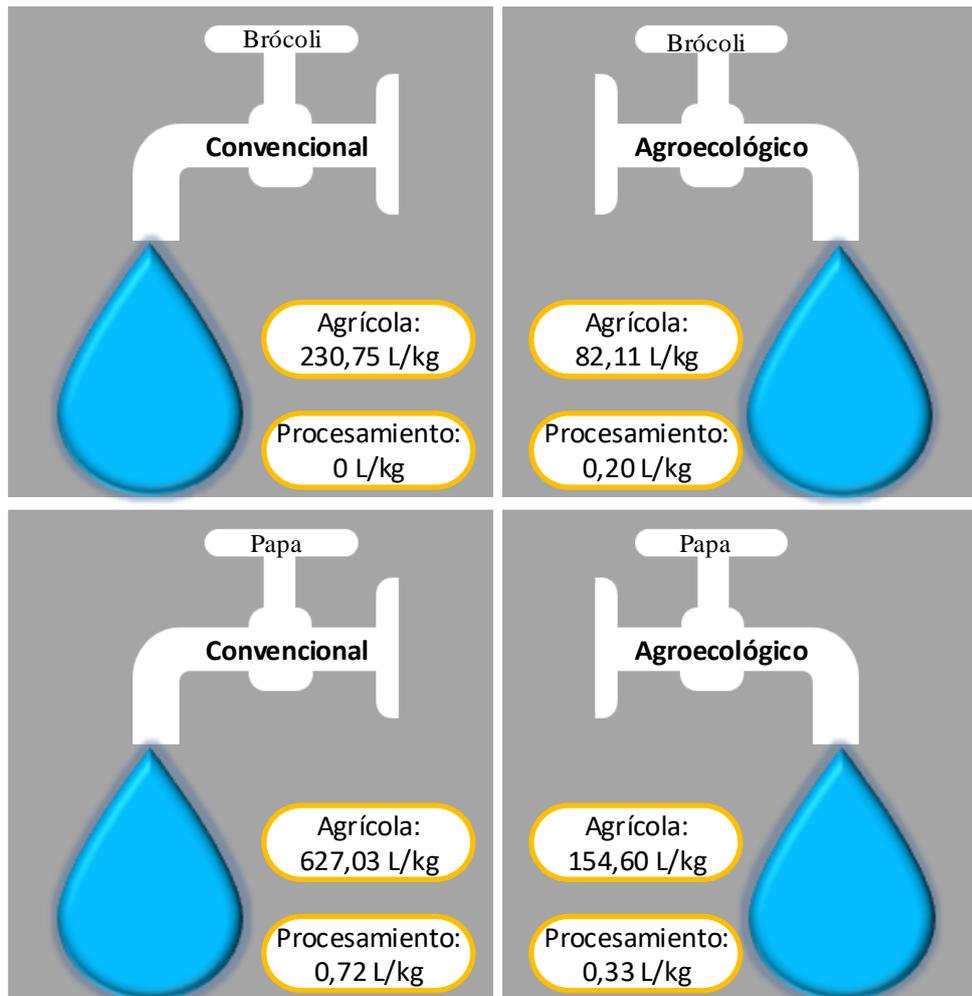


Figura 27 Huella Hídrica de la papa y brócoli en el sistema productivo
Elaborado por: D. Padilla

En la figura 27 no se observan valores para las fases de distribución y acceso, situación debida a que no presentan gastos ni empleo de agua de forma directa.

Para continuar véase el análisis comparativo de la huella de carbono, la figura 28 presenta las huellas de carbono totales.

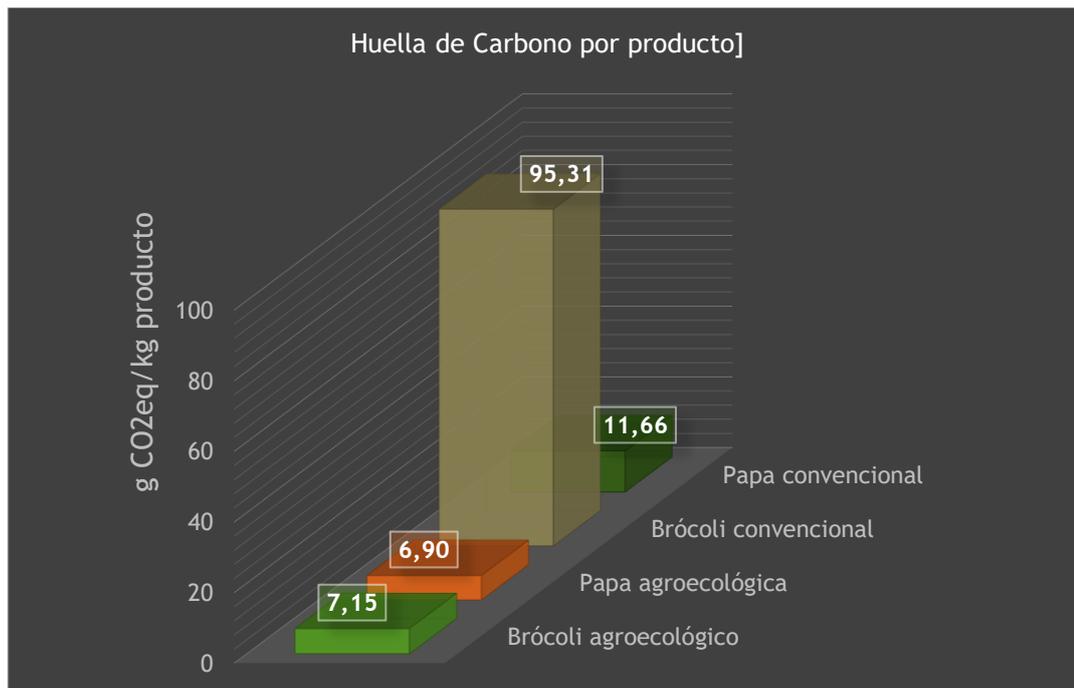


Figura 28. Comparación de Huellas de Carbono por producto
Elaborado por: D. Padilla

Dentro del estudio realizado, el brócoli de procedencia convencional se constituye como el contribuyente mayoritario de CO₂eq (95,31 g CO₂eq/kg producto), su aporte principal yace en la fase de procesamiento dado que se requiere cantidades considerables de embalajes para el empaquetamiento del producto. Las hortalizas restantes presentan su contribución principal de CO₂eq en la fase de distribución debido al combustible empleado en su transporte.

Existe un gasto energético muy amplio en el transporte de productos alimenticios, por ello se recalca que las emisiones se verán reducidas cuando el usuario consuma productos de origen local, incluyéndose en la estrategia de mercado de circuito corto.

El hecho de no consumir productos que se encuentran en los alrededores próximos implica que el usuario esté llevando a su plato hortalizas con un costo ambiental elevado, primero por la cuantía kilométrica que ha sufrido la mercancía en su proceso de transporte, segundo por los materiales de embalaje que muchas veces se constituyen como pasivos ambientales, todo ello traducido en unidades de CO₂eq, y

adicionalmente las externalidades que no se controlan dentro de las cadenas de valor típicas. Muchas veces el habitante promedio por falta de conocimiento accede a productos con las características ya mencionadas, entonces cada alimento se constituye en una cucharada de comida con un rastro de problemas socioambientales desde su origen hasta la llegada a ese plato.

A continuación, se presentan diagramas a manera de resumen de los resultados de la huella de carbono del proyecto presente, así como también de la fase agrícola tomadas de tesis anteriores desarrolladas en el mismo lugar de estudio, a fin de ampliar el rango de la discusión y brindar mayor cantidad de valores comparativos.

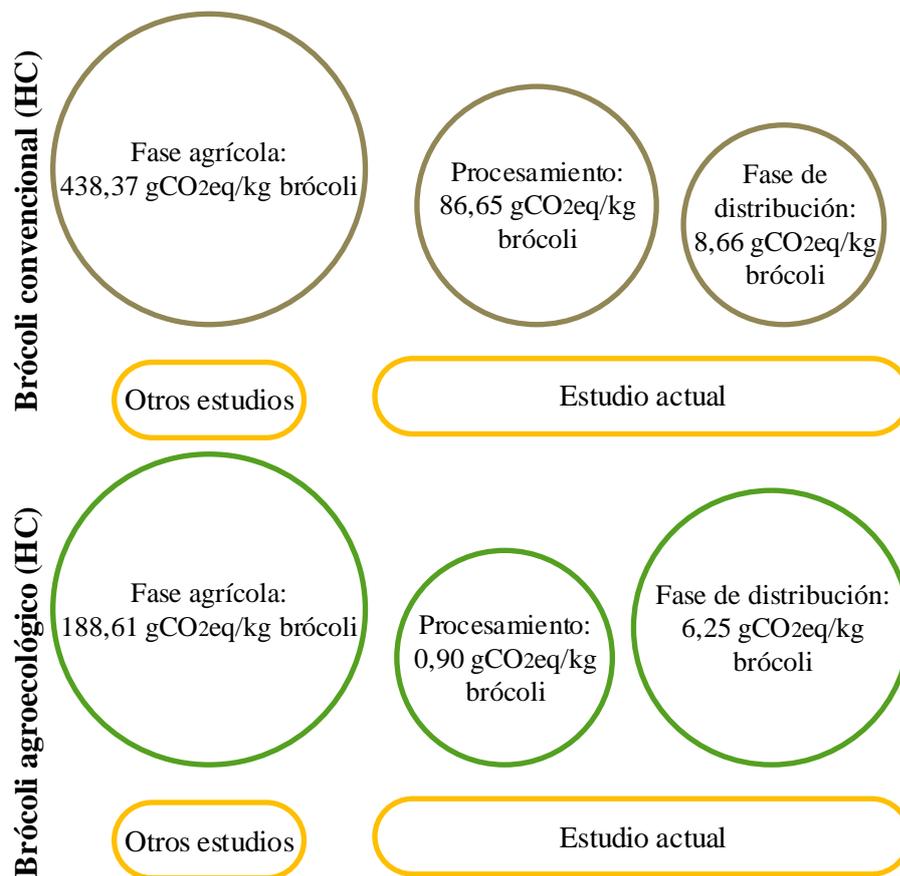


Figura 29. Comparación por fases de la huella de carbono del brócoli
Elaborado por: D. Padilla

La figura 29 da a conocer que la secuencia productiva agroecológica del brócoli en cada una de sus fases presenta una cantidad reducida de emisiones de CO₂eq. Los

aportes significativos para la huella de carbono en cuanto a brócoli agroecológico y convencional se los tiene en la fase agrícola con valores de 188,61 y 438,37 [g CO₂eq/kg brócoli] respectivamente (Chiluisa, 2018), mismas que no han sido parte directa de la investigación, pero permiten tener una visión global del sistema productivo.

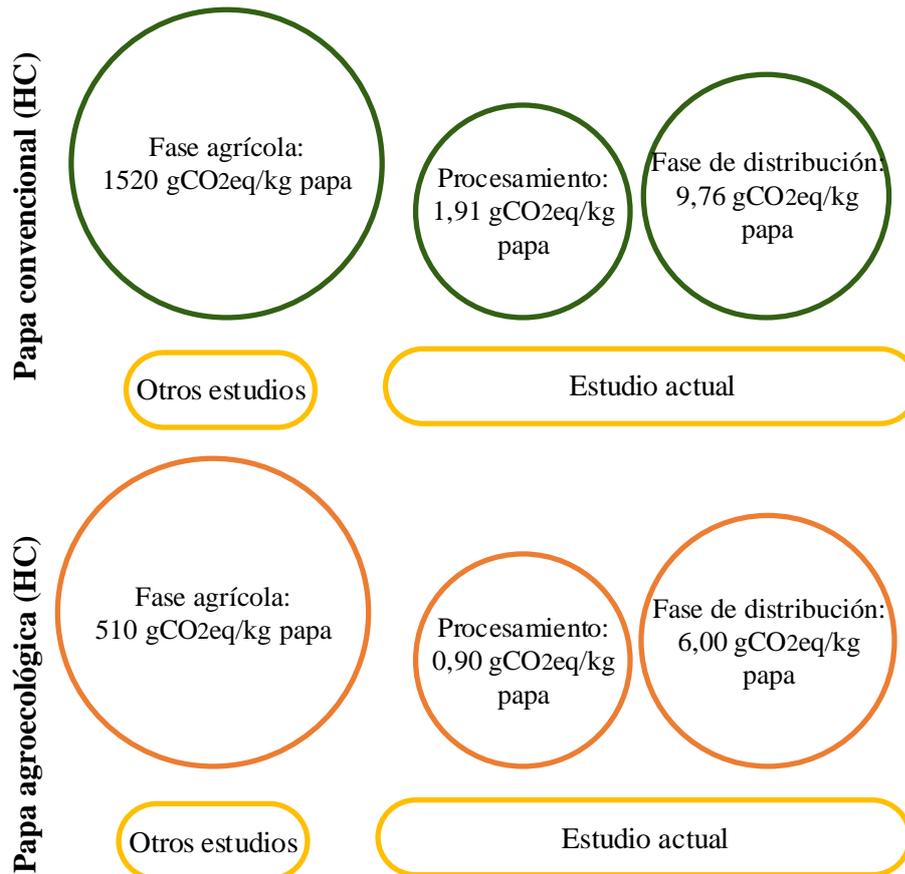


Figura 30. Comparación por fases de la huella de carbono de la papa
Elaborado por: D. Padilla

Ya se ha dicho que la papa es un producto alimenticio que se incluye de forma cotidiana en la dieta de la colectividad, por ello en ambos sistemas se reflejan huellas de carbono relativamente altas. Las emisiones son mayores en la fase agrícola del sistema convencional (1520 g CO₂eq/kg papa) que en el sistema agroecológico (510 g CO₂eq/kg papa) según Yandún (2018). El procesamiento se torna mayor en el sistema convencional dado que se emplean materiales plásticos para su empaquetado, acto que debe entenderse como la generación de pasivos ambientales debido a la estabilidad del

plástico en el ambiente; por otro lado, el procesamiento del sistema agroecológico es bajo ya que únicamente se emplea luz artificial para facilitar la manipulación de las hortalizas.

Estudios internacionales en la huella de carbono de la papa han establecido su propio sistema de cálculo, como es el caso de Suecia donde las emisiones de CO₂eq se han cuantificado desde su etapa agrícola hasta su venta al menudeo, arrojando un valor que oscila entre los 100 [g CO₂eq/kg papa] (Rööös, Sundberg, & Hansson, 2010); de modo similar se tiene el cálculo efectuado en Reino Unido donde el valor obtenido parte de la fase agrícola y termina en la venta al por mayor de papa, evidenciando una huella de carbono de 130 [g CO₂eq/kg papa] (Williams, Audsley, & Sandars, 2010); comparando el proyecto presente, el procesamiento de papa agroecológica apenas alcanza el 0,90% y 0,69% de lo que se ha calculado en Suecia y Reino Unido de forma correspondiente; por otro lado, el transporte de papa agroecológica representa el 6% de la cuantificación sueca, y el 4,61% de la estimación de Reino Unido. Se manifiestan porcentajes bajos como en el caso anterior, al hacer una comparación con el procesamiento de papa convencional, alcanzando valores de 1,91% y 1,46%, mientras que su transporte representa el 9,76% y 7,50% del total de la estimación sueca y de Reino Unido respectivamente. Como ya se ha mencionado, las emisiones de CO₂eq dependen en gran medida del uso de combustibles fósiles y sus derivados, es por ello que el sistema convencional presenta valores porcentuales más elevados respecto al sistema agroecológico, en comparación con la estimación sueca y británica.

La fase de distribución amerita un estudio diferenciado, para ello se ha elaborado el diagrama siguiente (ver figura 31).

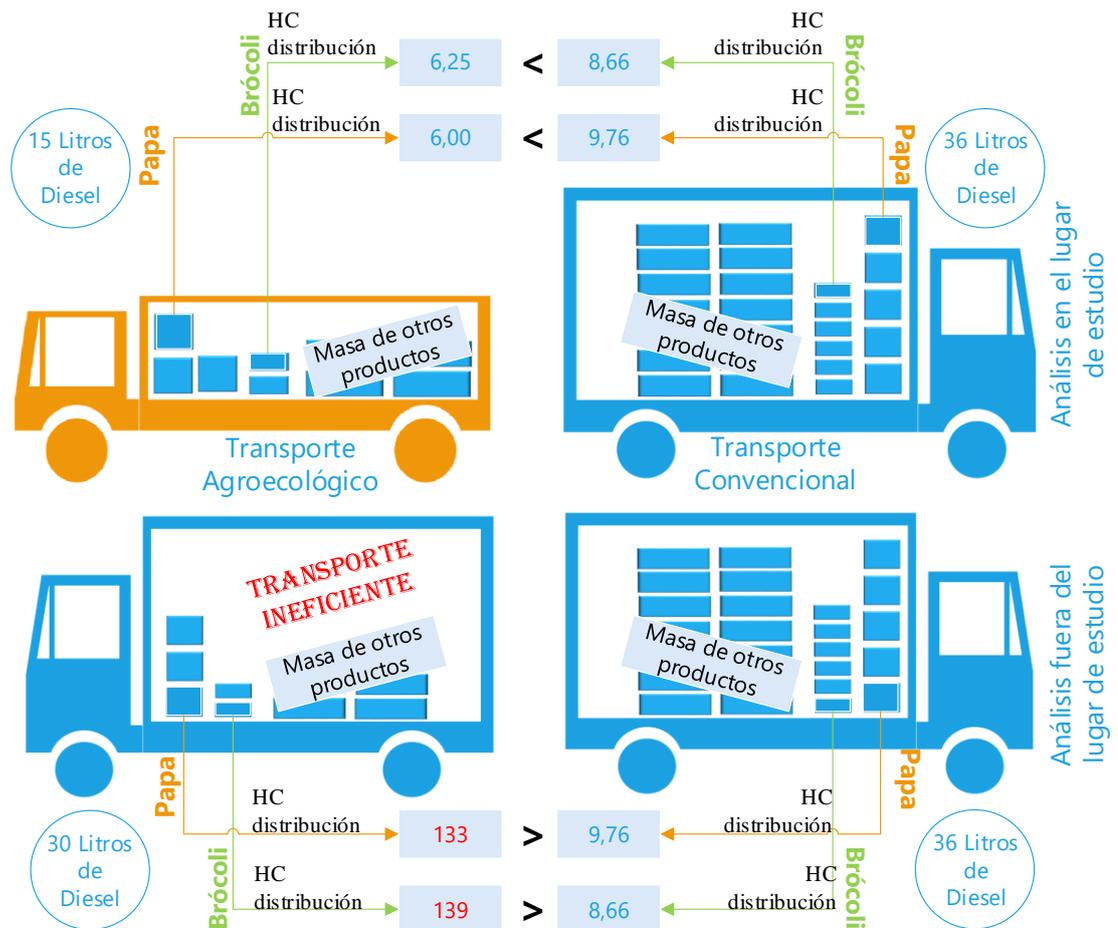


Figura 31. Análisis de la fase de distribución
Elaborado por: D. Padilla

Se analizó un sistema de distribución de hortalizas agroecológicas fuera de las poblaciones de estudio, su huella de carbono presenta valores muy altos en comparación con los valores de los medios de distribución agroecológicos y convencionales definidos en el estudio (“El Buen Vivir” y “La Esperanza”). La figura 31 ilustra el gasto energético de los sistemas analizados, véase que el transporte agroecológico que no se encuentra dentro de la población de estudio presenta valores elevados de CO₂eq, esto se debe a que el camión de carga es de alta capacidad, pero no se lo emplea de manera adecuada dado que el recurso “espacio” (volumen de carga) carece de hortalizas transportadas, en otras palabras, existe un costo energético elevado por transportar un espacio vacío, lo que a su vez se traduce en mayores emisiones de CO₂eq y gasto inadecuado en combustible para su sistema de transporte. Las

localidades en las que se desarrolló el proyecto, en la parte agroecológica emplean un sistema de transporte más pequeño, adaptado a sus necesidades de producción y distribución, lo que reduce sus costos ambientales y monetarios, puesto que su automotor al demandar menos combustible, también produce menor cantidad de emisiones de CO₂eq por kilogramo de producto transportado. Si hay algo que se puede rescatar del sistema convencional es el hecho de enfocarse en la reducción de costos, déjense a un lado las externalidades anteriormente analizadas y asúmase únicamente el valor económico del combustible empleado, algo que sería de suma utilidad para el sistema agroecológico a fin de que la sustentabilidad se torne redundante en cada fase de su sistema productivo. Por lo tanto, cada sistema debe hacer uso de medios de transporte adecuados a sus necesidades de tal forma que permitan la optimización de los recursos.

Continuando con la fase del transporte, cabe señalar que, para los territorios de Latinoamérica y el Caribe, las emisiones por causa de la distribución de hortalizas arrojan un valor de 50 [g CO₂eq/kg producto] (Woerishofer, 2011), las hortalizas que se ha analizado en el proyecto presentan valores de transporte relativamente bajos, 6,25 y 6,00 [g CO₂eq/kg producto] para el brócoli y la papa de origen agroecológico, mientras que el sistema convencional evidencia una cuantificación de 8,66 y 9,76 [g CO₂eq/kg producto] para brócoli y papa respectivamente.

La huella de carbono se relaciona de forma directa con el índice de cambio climático, por tal motivo se espera que tengan un comportamiento similar. Las figuras 33 y 34 señalan el cambio de concentración del CCI total de cada producto en una proyección de 20 y 100 años.

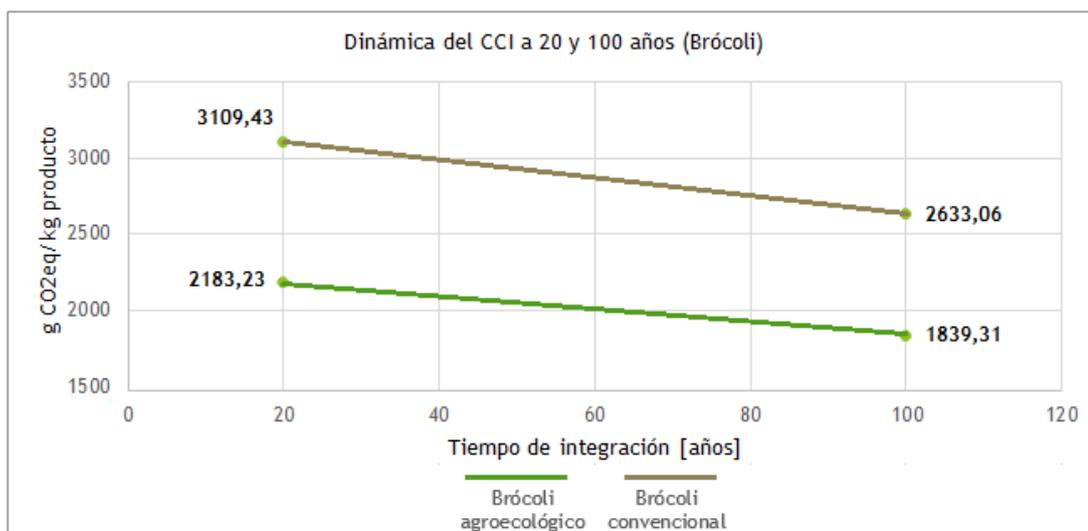


Figura 32. Dinámica del CCI a 20 y 100 años (Brócoli)
Elaborado por: D. Padilla

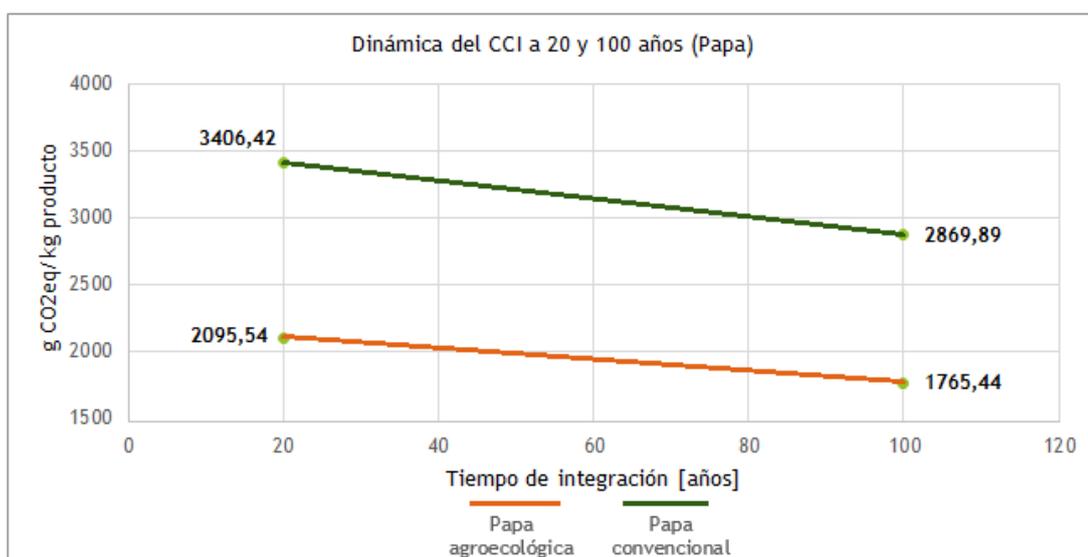


Figura 33. Dinámica del CCI a 20 y 100 años (Papa)
Elaborado por: D. Padilla

Partiendo de la huella de carbono, las proyecciones del dinamismo de emisiones del CO₂eq (ver figuras 32 y 33) dan a conocer que estas se magnifican dentro de los 20 primeros años de ejecución de las actividades en cuestión, posteriormente se ven mermadas debido a la pérdida de estabilidad de los gases de efecto invernadero y una consecuente interacción con los factores atmosféricos.

La figura 34 presenta los valores totales del Indicador de Eutrofización de cada sistema a manera de comparación.

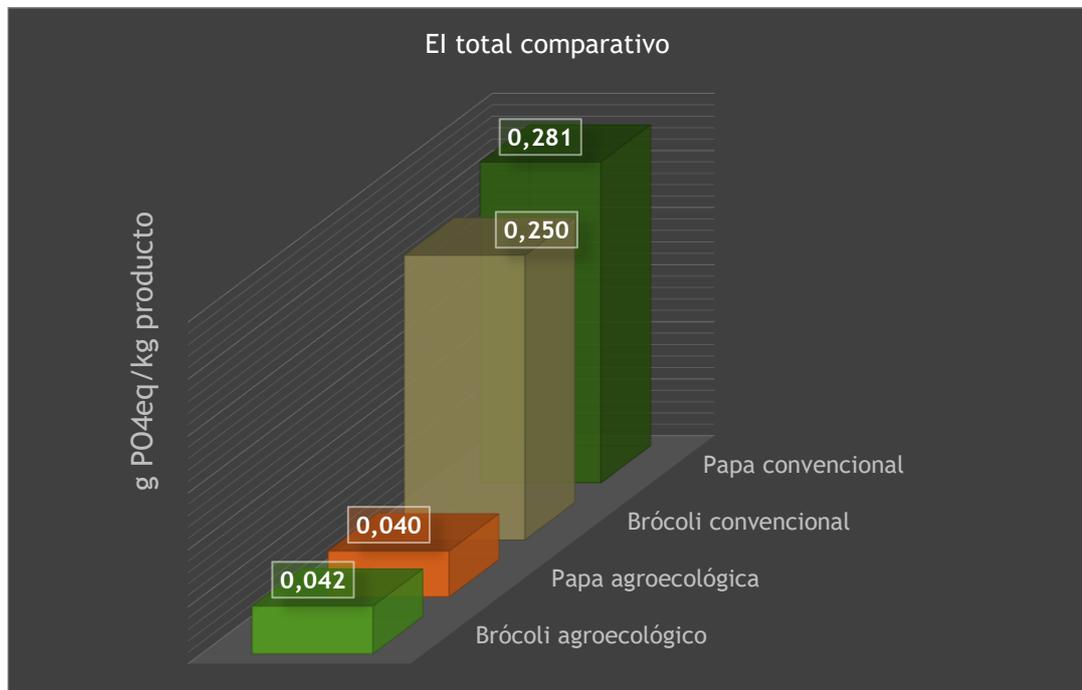


Figura 34. El total comparativo por producto
Elaborado por: D. Padilla

El aporte a la eutrofización se dio únicamente por la quema de combustibles debido a procesos relacionados con el transporte de productos. La figura 34 expone que el producto que más causa eutrofización es la papa convencional, seguida del brócoli convencional, en tercer lugar, se tiene al brócoli agroecológico y por último a la papa convencional.

El problema con los contaminantes gaseosos que causan eutrofización yace en que pueden llegar a migrar a otras localidades aumentando su rango de acción y a más de ello con consecuencias sinérgicas sobre el ambiente.

Hablando puntualmente de la contaminación de los ecosistemas acuáticos a causa de la eutrofización, es pertinente señalar que en condiciones normales se aporta alrededor de un kilogramo de fosfatos [hectárea/año] según Echarri (2010) debido a procesos de escorrentía y percolación a cuerpos de agua, en tanto que el estudio

realizado indica que solo en un día de transporte de papa y brócoli se arroja en emisiones atmosféricas aproximadamente el 0,053% de lo que los cuerpos de agua reciben de forma natural en todo un año. El transporte de productos agroecológicos entre papa y brócoli realiza un aporte del 0,0082% de fosfato equivalente en relación a lo que se entrega de forma natural en todo un año a los ecosistemas acuáticos.

Finalmente se exponen las preferencias de la población acorde a los sistemas analizados

Tabla 24

Resultados del Acceso a los productos por sistema

Producto	Personas [%]
Brócoli agroecológico	19,07
Papa agroecológica	4,43
Brócoli convencional	9,98
Papa convencional	66,52

Elaborado por: D. Padilla

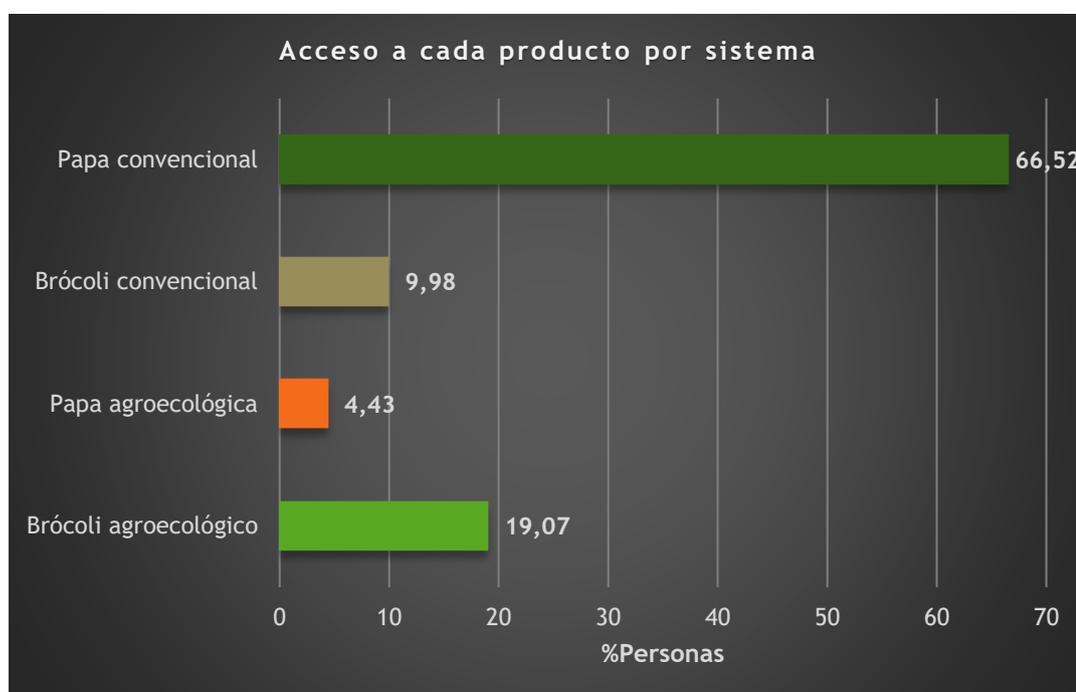


Figura 35. Acceso a cada producto por sistema

Elaborado por: D. Padilla

La figura 35, ubica en primer lugar en cuanto a acceso, a la papa de origen convencional, manifestando que el 66,52% de las personas encuestadas prefiere comprarla este producto debido a que en el mercado convencional se encuentra una gama más amplia en cuanto a calidad, precios y cantidad, lo que señala que existen ciertos productos a los que las personas prefieren acceder a granel, es decir en mayor cantidad. En segundo lugar, se encuentra el brócoli agroecológico con un porcentaje de 19,07%, lo que contrasta ampliamente con el brócoli de venta en el mercado convencional, dado que este último allí tiene una preferencia de 9,98%, posicionándose en el tercer lugar de las encuestas. El producto que se ubica al final de la lista de acceso es la papa agroecológica con un porcentaje de 4,43%, el motivo principal de este valor radica en la cantidad a la que es posible acceder en cada feria agroecológica.

En lo referente al acceso cabe señalar que las hortalizas producidas de forma agroecológica son comercializadas en las ferias de la zona (Esperanza y Buen Vivir), es decir que presentan una estrategia de comercio de ciclo corto y tendiente al kilómetro cero, en otras palabras, poseen un gasto energético menor por kilómetro recorrido y por kilogramo producido.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Se evaluaron entradas y salidas en cada fase de los sistemas estudiados a fin de obtener las huellas hídricas y de carbono de tales cultivos en tales fases, así como también los indicadores del ACV en el presente proyecto.

Se elaboró un análisis comparativo de ACV (únicamente para las fases analizadas, procesamiento y distribución) del sistema agrícola convencional versus el sistema agroecológico, en donde se evidencia que el indicador de cambio climático de la papa de origen convencional supera en un aproximado de 1,6 veces al indicador de la papa agroecológica; por otro lado, el indicador de cambio climático del brócoli procedente del sistema convencional supera en un aproximado de 1,5 veces al indicador de cambio climático del brócoli agroecológico. El análisis de la eutrofización señala que el EI de papa convencional supera 7 veces al EI de la papa agroecológica, mientras que el EI del brócoli de origen convencional supera 6 veces al EI del brócoli agroecológico.

Acorde a los resultados se concluye que los indicadores del ACV se relacionan directamente con los hábitos de consumo, razón por la que las cuantificaciones se ven magnificadas de forma significativa en la fase de distribución de los productos evaluados. Lo anteriormente dicho se torna relevante puesto que las transacciones comerciales de bienes y servicios locales disminuyen los potenciales impactos ambientales derivados de las actividades antropogénicas, en contraposición al consumo de productos que se encuentran fuera del radio de desarrollo de un habitante promedio.

El análisis realizado señala que las emisiones de CO₂eq están supeditadas al uso directo e indirecto de insumos derivados de hidrocarburos, es por ello que se evidencia

una huella de carbono mayor en la fase agrícola (no corresponde al estudio, se la ha tomado como parte del análisis documental para ampliar la visión del proyecto) de cada hortaliza evaluada, mientras que la fase de distribución se posiciona en segundo lugar, y por último se ubica la fase de procesamiento, rangos aplicables para la papa convencional y agroecológica y para el brócoli agroecológico. El brócoli de origen convencional se posiciona en segundo lugar en cuanto a emisiones de CO₂eq, ya que en la fase de procesamiento se emplean materiales plásticos para el empaquetamiento lo que repercute en la calidad ambiental en forma de pasivos.

Se determina que las emisiones de CO₂eq en los circuitos cortos se ve mermada debido a que es un proceso carente de intermediarios, es decir no existen eslabones en la secuencia productiva que promuevan emisiones atmosféricas más allá del productor y el consumidor; no siendo así las cadenas de valor típicas conllevan grandes emisiones de CO₂ puesto que existe un kilometraje más elevado por producto transportado, a más de ello, hacen uso de cadenas de valor típicas, lo que significa que en cada eslabón productivo se van magnificando las emisiones de carbono.

Acorde al estudio se concluye que la huella de carbono es un indicador en tiempo presente que evidencia las emisiones de CO₂eq de la particularidad analizada, en tanto que el indicador de cambio climático es una medida a futuro de las emisiones de CO₂eq. La huella de carbono al igual que el CCI expresan sus resultados en “masa de CO₂eq”, a pesar de ello no se las debe confundir, ya que cada una posee su propia forma de ser interpretada.

Las huellas hídricas que se han calculado dan a conocer que el impacto ambiental es mayor en el caso de la papa convencional, ya que se necesitó de 0,72 litros de agua para procesar (fase de procesamiento) un kilogramo de papa y dejarlo listo para su

comercialización; por otro lado la huella hídrica de la papa agroecológica señala que se requirió de 0,33 litros de agua para procesar un kilogramo de papa y asegurar su competitividad en el mercado en la consecuente etapa de comercialización; se evidencia entonces que el impacto ambiental de la huella hídrica está en función de la optimización del recurso agua.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda el adiestramiento de los estudiantes en el uso de programas computacionales que permitan el cálculo de huellas y demás indicadores de impacto ambiental a fin de optimizar el tiempo en sus procesos investigativos.

Las futuras investigaciones deberán enfocarse en el cálculo de factores de emisión para indicadores de impacto enmarcados dentro del contexto nacional, ya que el Ecuador no cuenta con una base de datos propia.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEME. (2017). Centre de ressources sur les bilans de gaz à effet de serre. Retrieved June 15, 2017, from <http://www.bilans-ges.ademe.fr/fr/basecarbone/donnees-consulter/choix-categorie/categorie/248>
- AgroBio. (n.d.). Una historia de logros importantes para la agricultura. Retrieved from <http://www.agrobio.org/biotecnologia-linea-del-tiempo-agrobio/>
- Artaraz, M. (2002). Teoría de las tres dimensiones de desarrollo sostenible. *Ecosistemas*, X(3), 1–6. <https://doi.org/10.7818/RE.2014.11-2.00>
- Assumpció, M., & Vallejo, A. (2004). *Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero mediterráneo*. Universitat Politècnica de Catalunya. Retrieved from <https://upcommons.upc.edu/handle/2117/94137>
- Barg, R., & Queirós, F. (n.d.). La Revolución Verde CARACTERÍSTICAS DE LA REVOLUCIÓN VERDE. CONSECUENCIAS DEL USO DEL PAQUETE TECNOLÓGICO. Retrieved from <http://agroecologiautn.blogspot.com/p/la-revolucion-verde.html>
- Benveniste, G., Gazulla, C., Fullana, P., Celades, I., Ros, T., Zaera, V., & Godes, B. (2011). Análisis de ciclo de vida y reglas de categoría de producto en la construcción. El caso de las baldosas cerámicas. *Informes de La Construcción*, 63(522), 71–81. <https://doi.org/10.3989/ic.10.034>
- BRÉCOL. (n.d.). Retrieved April 30, 2018, from

<http://verduras.consumer.es/brecol/introduccion>

CEPAL. (2013). *Metodología de calculo de la huella de carbono y sus potenciales implicaciones para america latina.*

CEPAL, FAO, & IICA. (2015). *Fomento de circuitos cortos como alternativa para la promoción de la agricultura familiar.* Retrieved from <https://www.cepal.org/publicaciones/xml/4/54164/BoletinCEPALFAOIICA.pdf>

Chase, L., & Grubinger, V. (2014). *FOOD, FARMS and community.* (University of New Hampshire, Ed.). New Hampshire: Durha.

Chasi, M. (2018). Mercado Municipal Tabacundo. Retrieved from <https://www.google.com.ec/maps/uv?hl=es&pb=!1s0x8e2a0bc6037bbc7d%3A0xe6f0f1f72e70b489!2m2!2m2!1i80!2i80!3m1!2i20!16m16!1b1!2m2!1m1!1e1!2m2!1m1!1e3!2m2!1m1!1e5!2m2!1m1!1e4!2m2!1m1!1e6!3m1!7e115!4shttps%3A%2F%2Fh5.googleusercontent.com%2Fp%2FAF1QipP82kqm8>

Chiluisa, M. (2018). *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”, C.* Universidad Politécnica Salesiana. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/15234>

DELCORP. (n.d.). Brocoli. Retrieved April 30, 2018, from <http://www.delcorp.com.ec/index.php/cultivos/sierra/brocoli>

Echarri, L. (2010). *Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente.* (Universidad de Navarra, Ed.). Navarra. Retrieved from <http://www.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/00General/Principal.html>

- Ecobilan. (1999). *TEAM. Tools for environmental*.
- El Agro. (n.d.). Brócoli: Segundo producto no tradicional más importante de la Sierra ecuatoriana. Retrieved from <http://www.revistaelagro.com/brocoli-segundo-producto-no-tradicional-mas-importante-de-la-sierra-ecuatoriana/>
- Environmental Protection Agency. (n.d.). Understanding Global Warming Potentials. Retrieved May 5, 2018, from <https://www.epa.gov/ghgemissions/understanding-global-warming-potentials>
- Facultad de Ingeniería. (2015). Analisis Del Ciclo De Vida. In *Gestión Ambiental* (pp. 1–14). Retrieved from [https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis del Ciclo de Vida.pdf](https://portal.camins.upc.edu/materials_guia/250504/2013/Analisis%20del%20Ciclo%20de%20Vida.pdf)
- FAO. (n.d.-a). MEDIO SIGLO DE AGRICULTURA Y ALIMENTACIÓN. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/x4400s/x4400s09.htm>
- FAO. (n.d.-b). Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) Centroamérica. Retrieved May 3, 2018, from Programa Especial para la Seguridad Alimentaria (PESA) Centroamérica
- FAO. (2013). FAOSTAT Exportaciones-Países por producto. Retrieved from http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity_exports
- FAO. (2014). América del Sur-Papa-Producción(Toneladas). Retrieved April 29, 2018, from <https://es.actualitix.com/pais/amsu/america-del-sur-papa-produccion.php>
- FAO. (2016a). FAOSTAT Comparación de datos. Retrieved April 16, 2018, from <http://www.fao.org/faostat/es/#compare>

- FAO. (2016b). FAOSTAT Producción-Países por producto. Retrieved April 29, 2018, from http://www.fao.org/faostat/es/#rankings/countries_by_commodity
- Guerrero, R. (2016). ADAPTACION AL CAMBIO CLIMATICO FORTALECIENDO LA AGRICULTURA FAMILIAR CAMPESINA, CADENAS DE VALOR Y SOBERANÍA ALIMENTARIA EN EL CANTÓN PEDRO MONCAYO, 1–14. Retrieved from [http://www.pedromoncayo.gob.ec/documentos/proyectos/89 Agricultura familiar.pdf](http://www.pedromoncayo.gob.ec/documentos/proyectos/89_Agricultura_familiar.pdf)
- Guineé, J. B., Gorée, M., Heijungs, R., Huppés, G., de Koning, A., Wegener Sleswijk, A., ... Huijbregts, M. A. J. (2002). *Manual sobre la evaluación del ciclo de vida*. (J. B. Guineé, Ed.) (1er ed). Dordrecht. <https://doi.org/10.1007 / 0-306-48055-7>
- Haya, E. (2016). *Análisis de Ciclo de Vida Master en Ingeniería y Gestión Medioambiental*. (Escuela de Organización Industrial, Ed.). Retrieved from https://static.eoi.es/savia/documents/teoria_acv_migma1.pdf
- Hoekstra, A. Y., Chapagain, A. K., Aldaya, M. M., & Mekonnen, M. M. (2011). *The Water Footprint Assessment Manual*. London-Washington: Earthscan. Retrieved from http://waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf
- Infoagro. (n.d.-a). EL CULTIVO DE BRÓCULI. Retrieved May 2, 2018, from <http://www.infoagro.com/hortalizas/broculi.htm>
- Infoagro. (n.d.-b). EL CULTIVO DE LA PATATA. Retrieved April 30, 2018, from <http://www.infoagro.com/hortalizas/patata.htm>

- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. (2002). *EL CULTIVO DE LA PAPA EN ECUADOR*. (M. Pumisacho & S. Sherwood, Eds.) (1er ed). Quito. Retrieved from [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/El cultivo de la papa en el Ecuador..pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/El%20cultivo%20de%20la%20papa%20en%20el%20Ecuador..pdf)
- Instituto Nacional del Emprendedor. (2014). *¿Qué es una cadena de valor?* México. Retrieved from <https://www.youtube.com/channel/UC6ncbokCR3vsR5P2PYj5PGQ>
- Intagri. (n.d.). Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa. Retrieved April 30, 2018, from <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>
- International Organization for Standardization. Ntc-Iso 14040, Icontec § (2007). Colombia. Retrieved from http://files.control-ambiental5.webnode.com.co/200000127-a0991a28c5/NTC-ISO14040-2007 Analisis_CicloVida.pdf
- IPCC. (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. (J. . Houghton, Y. Ding, D. . Griggs, M. Noguer, P. . van der Linden, X. Dai, ... C. Johnson, Eds.), *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1256/004316502320517344>
- IPCC. (2006). *Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Programme*. Tokio: IGES.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. (T. Stocker, Q. Dahe, G. Planter, M. Tignor, S. Allen, J.

Boschung, ... P. Midgley, Eds.). Cambridge, New York: CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

ISO 14064. (n.d.). Cálculo de Huella Carbono ISO 14064. Retrieved May 7, 2018, from <http://gestion-calidad.com/calculo-de-huella-carbono-iso-14064>

La distribución de productos en la empresa. (n.d.). Retrieved May 3, 2018, from https://www.emprendepyme.net/la-distribucion-de-productos-en-la-empresa.html?utm_source=emprendepyme.net&utm_medium=Network&utm_campaign=post_link

Lazo, D. (2015). *ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA Y ENERGÉTICO DE LAS CENTRALES HIDROELÉCTRICAS AGOYÁN Y PAUTE*. ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL. Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/10531/1/CD-6231.pdf>

MAE. (2013). *Factores de emisión del Sistema Nacional Interconectado del Ecuador*. Quito.

MAGAP. (2013). Brócoli. *Boletín Situacional*, 1–5. Retrieved from <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/brocoli.pdf>

Monari, C. (2013). *Life Cycle Assessment of biodiesel production from micro-algae : a case study in Denmark*. UNIVERSITA' DI BOLOGNA. Retrieved from http://amslaurea.unibo.it/6106/1/Monari_Chiera_Tesi.pdf

Monteros, A. (2016). Rendimientos de papa en el Ecuador primer ciclo 2016 (diciembre-junio). *Dirección de Análisis y Procesamiento de La Información., Coordinación General Del Sistema de Información Nacional, 2016, 10*. Retrieved from

http://sinagap.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_papa2016.pdf

Ramos, P., & Márquez, M. del C. (2002). *AVANCES EN CALIDAD AMBIENTAL*. (Universidad de Salamanca, Ed.) (1er Ed). Salamanca. Retrieved from <https://books.google.com.ec/books?id=WAgsRdxAGtQC&pg=PA149&dq=analisis+de+cic#v=onepage&q=analisis+de+cic&f=false>

Requerimientos agroecológicos de cultivos. (n.d.). Retrieved from <http://sede.queretaro.gob.mx/sites/sede.queretaro.gob.mx/files/BROCOLI.pdf>

Resumen del mercado global del brócoli y la coliflor. (2016). Retrieved April 30, 2018, from <http://www.freshplaza.es/article/106279/Resumen-del-mercado-global-de-la-coliflor-y-el-brócoli>

Roa, W. (n.d.). LÍNEA DE TIEMPO AGRICULTURA Y SEGURIDAD ALIMENTARIA. Retrieved from <https://www.timetoast.com/timelines/nada-d00c6143-95d2-43dd-be62-0392a3924611>

Román, M., & Hurtado, G. (2002). *Guía Técnica CULTIVO DE La Papa*. Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria y Forestal. Arce. Retrieved from <http://www.centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia Papa.pdf>

Romero, M. (2008). *ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA (ACV) HERRAMIENTA DE GESTIÓN AMBIENTAL*. (Escuela de Organización Industrial, Ed.). Retrieved from <https://static.eoi.es/savia/documents/componente45558.pdf>

Röös, E., Sundberg, C., & Hansson, P. . (2010). Uncertainties in the carbon footprint of food products: a case study on table potatoes. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(5). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11367-010->

0171-8

Ruiz, N. (2007). Aplicación del Análisis del Ciclo de Vida en el estudio ambiental de diferentes Procesos Avanzados de Oxidación, 1–189. Retrieved from <http://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5820/nrf1de1.pdf>

Sabaté, J. (2017). ASOCIACIÓN DE CONSUMIDORES ORGÁNICOS. Retrieved May 10, 2018, from <https://consumidoresorganicos.org/2018/03/13/cinco-razones-aumentar-nuestro-consumo-alimentos-kilometro-cero/>

Schneider, H., & Samaniego, J. (2009). *La huella del carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios. Colección Documentos de proyectos.* Santiago de Chile. Retrieved from <http://repositorio.cepal.org:80/handle/11362/3753>

Steen, B. (1999). *A systematic approach to environmental priority strategies in product development (EPS). Version 2000 – General system characteristics.* Göteborg. Retrieved from <https://www.ivl.se/download/18.7e136029152c7d48c202bba/1465979612076/C> PM report 1999_4.pdf

Suarez, W., Gortaire, R., & Intriago, R. (2011). LINEAMIENTOS PARA LA PROPUESTA DE AGROBIODIVERSIDAD, SEMILLAS Y AGROECOLOGÍA, 1–23.

Suquilanda, M. (1996). *Agricultura Orgánica.* (FUNDAGRO & Abya-Yala, Eds.) (1er Ed.). Quito: Alternativa tecnológica del futuro.

Veas, E., Cortés, H., & Jara, P. (2015). Procesamiento y manejo de postcosecha del grano de quínoa. *Tierra Adentro (INIA)*, 108, 4. Retrieved from

<http://quinua.pe/wp-content/uploads/2016/11/NR40352.pdf>

Vélez, M. (2014). *ELABORACIÓN DEL INVENTARIO PARA EL ANÁLISIS DE CICLO DE VIDA DE SUELOS ADICIONADOS CON POLÍMEROS Y SU APLICACIÓN PARA LA ESTABILIZACIÓN DE VÍAS Terciarias*.

Universidad de Medellín. Retrieved from

[http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1235/Elaboración del inventario para el análisis de ciclo de vida de suelos adicionados con polímeros y su aplicación para la estabilización de vías terciarias.pdf?sequence=1](http://repository.udem.edu.co/bitstream/handle/11407/1235/Elaboración%20del%20inventario%20para%20el%20análisis%20de%20ciclo%20de%20vida%20de%20suelos%20adicionados%20con%20polímeros%20y%20su%20aplicación%20para%20la%20estabilización%20de%20vías%20terciarias.pdf?sequence=1)

Vilches, R. (2012). *APLICACIÓN DE METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LA MINERÍA*.

Pontificia Universidad Católica de Valparaíso.

Viloria, M. (2015). *Metodología para la Evaluación de Impacto Ambiental aplicado al ciclo de vida de proyectos de infraestructura en Colombia*. Universidad

Nacional de Colombia Sede Medellín. Retrieved from

<http://www.bdigital.unal.edu.co/54620/1/1095802426.2015.pdf>

Vivas, E. (2014). Una alimentación adicta al petróleo. Retrieved April 26, 2018, from

<https://esthervivas.com/2014/05/05/una-alimentacion-adicta-al-petroleo/>

Williams, A. ., Audsley, E., & Sandars, D. . (2010). Environmental burdens of producing bread wheat, oilseed rape and potatoes in England and Wales using

simulation and system modelling. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 15(8). Retrieved from <https://doi.org/10.1007/s11367-010-0212-3>

Woerishofer, M. (2011). *Carbon footprint of local produced fruits and vegetables compared to imported goods from overseas in the Caribbean and Latin America*.

Soil & More. Retrieved from <http://dapa.ciat.cgiar.org/wp->

content/uploads/2011/07/Carbon-Footprint-in-the-Caribbean-and-Latin-
America.pdf

Yandún, N. (2018). *Universidad Politécnica Salesiana Sede Guayaquil*. Universidad
Politécnica Salesiana. Retrieved from
[https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15246/1/UPS - ST003455.pdf](https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15246/1/UPS-ST003455.pdf)

8. ANEXOS

Anexo 1. Masa del producto evaluado por sistema productivo

Fases de procesamiento y distribución

Producto	Masa evaluada [Kg]
Brócoli agroecológico	9
Papa agroecológica	15
Brócoli convencional	30
Papa convencional	460,08

Elaborado por: D. Padilla

Anexo 2 Conversión para la obtención los gramos de CO₂eq

Producto	Alcance 3	Distancia [km]	$\frac{gCO_2eq}{km * F_c(producto)}$	$\frac{gCO_2eq}{kg_{producto} * km}$	$\frac{gCO_2eq}{kg_{producto}}$
Brócoli					
Papa					

Elaborado por: D. Padilla

Donde:

$F_c(producto)$: factor de cálculo

Procesos de complejidad, requieren a más de la cuantificación del “alcance”, el planteamiento de algoritmos específicos que permitan hallar de una forma precisa los indicadores de impacto ambiental previstos.

Anexo 3. Encuesta para la recolección de datos en la fase de acceso

Preguntas de Acceso		
¿Usted compra brócoli de origen...?	Agroecológico ____	Convencional ____
¿Usted compra papa de origen...?	Agroecológico ____	Convencional ____

Elaborado por: D. Padilla

Anexo 4. Feria agroecológica “El Buen Vivir”



Elaborado por: D. Padilla



Elaborado por: D. Padilla



Elaborado por: D. Padilla

Anexo 5. Mercado Municipal Tabacundo



Fuente: (Chasi, 2018)