

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA AMBIENTAL**

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

**TEMA:
ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LOS CULTIVOS DE
QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA) DE LOS CANTONES CAYAMBE Y
RIOBAMBA UBICADOS EN LOS ANDES ECUATORIANOS**

**AUTORA:
INGRID ESTEFANÍA PINZÓN COLMENARES**

**TUTOR:
LENIN JAVIER RAMÍREZ CANDO**

Quito, marzo de 2017

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo Ingrid Estefanía Pinzón Colmenares, con documento de identificación N° 172577162-8, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autora del trabajo de titulación intitulado: “ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LOS CULTIVOS DE QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA) DE LOS CANTONES CAYAMBE Y RIOBAMBA UBICADOS EN LOS ANDES ECUATORIANOS”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Ambiental, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en mi condición de autora me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



.....
Ingrid Estefanía Pinzón Colmenares
172577162-8
Marzo de 2017

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo experimental, ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO EN LOS CULTIVOS DE QUINUA (CHENOPODIUM QUINOA) DE LOS CANTONES CAYAMBE Y RIOBAMBA UBICADOS EN LOS ANDES ECUATORIANOS realizado por Ingrid Estefanía Pinzón Colmenares, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, marzo de 2017



Lenin Javier Ramírez Cando
CI: 110425042-6

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	1
2	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo general.....	3
2.2	Objetivos específicos.	3
3	MARCO TEÓRICO.....	4
3.1	Cambio climático.....	4
3.2	Gases de Efecto Invernadero	4
3.3	GEI en el sector AFOLU.	4
3.4	Tierras de cultivo	5
3.5	Depósitos de carbono.....	5
3.6	Emisiones de no CO ₂ por la quema de biomasa	6
3.7	Combustión como fuente de emisión de CO ₂	6
3.8	El óxido Nitroso.....	7
3.9	Protocolo y Normas para la evaluación de GEI.....	8
3.10	Análisis de Ciclo de Vida.....	8
3.11	Huella de Carbono.....	9
3.12	Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>).....	10
4	MATERIALES Y MÉTODOS	14
4.1	Materiales.....	14
4.2	Método	15
4.3	Descripción de los Métodos.....	18
4.4	Fase de campo.....	18
4.5	Fase en el laboratorio.....	21
4.6	Estimación de GEI	25
4.7	Balance de energía.	33
5	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
5.1	Datos recolectados.	36
5.2	Balance de energía	44
5.3	Discusión	46
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	49
7	REFERENCIAS	51
8	ANEXOS	55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Elementos del ACV.	8
Tabla 2. Comparación de las variedades de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>).....	11
Tabla 3. Composición nutricional variedad Tukanhuan	12
Tabla 4. Materiales usados en campo.	14
Tabla 5. Materiales, equipos, reactivo usados en el laboratorio.	14
Tabla 6. Densidad del diésel y la gasolina	26
Tabla 7. Transformación de unidades	26
Tabla 8. Valores Calóricos Netos (VCN) para combustibles.	27
Tabla 9. Factores de emisión por defecto para maquinaria todo terreno	27
Tabla 10. Factores de Emisión para el transporte terrestre.	27
Tabla 11. Potencial de Calentamiento Global (GWP).	28
Tabla 12. FE para emisiones directas de N ₂ O.....	29
Tabla 13. Valores Estándar MJ _{fósil} /kg	34
Tabla 14. Datos de Entrada/Input y Salida/Output de Cayambe y Riobamba.	36
Tabla 15. Características de las parcelas de Cayambe y Riobamba.	37
Tabla 16. Área de las parcelas de estudio en Cayambe y Riobamba.	37
Tabla 17. Contenido de Carbono y Materia orgánica en las parcelas Cayambe y Riobamba.	39
Tabla 18. Contenido de N Total de los Fertilizantes y del Suelo de las parcelas.	39
Tabla 19. Contenido de Nitrógeno Total kg N/ha.....	40
Tabla 20. Emisiones por empleo de semilla quinua en la siembra en Cayambe y Riobamba.	42
Tabla 21. Huella de Carbono en Cayambe y Riobamba	43
Tabla 22. Relación de Energía Entrada-Salida por la producción quinua.	45

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Diagrama esquemático de fuentes y vías del Nitrógeno por emisiones directas e indirectas del N ₂ O para el suelo y el agua.	7
Figura 2. Pasos establecidos por PAS 2050 para determinar la HC de un producto. ..	9
Figura 3. Fases fenológicas de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) desde su emergencia hasta la madurez fisiológica y los días que se da cada etapa.	10
Figura 4. Distribución Geográfica de la producción de quinua 2015.	13
Figura 5. Rendimientos de quinua para el año 2016 en t/ha	13
Figura 6. Fases de producción de la quinua desde la preparación del suelo hasta la industrialización	13
Figura 7. Diseño en la Fase de Campo Georreferenciación, Selección de las unidades de Muestreos, Tipo de Muestreo, Inventario.	16
Figura 8. Métodos de laboratorio para determinar parámetros físicos- químicos en el suelo, raíces y fertilizantes.	16
Figura 9. Metodología aplicada para la estimación de la Huella de Carbono basada en el IPCC 2006 y en el protocolo de Gases de Efecto Invernadero.	17
Figura 10. Esquema del método del zig-zag para la determinación de los puntos de muestreo de las parcelas.	19
Figura 11. Mapa de proceso del cultivo de la Quinua.	33
Figura 12. Triangulo Textural A) Clase textural de Cayambe y B) clase Textural de Riobamba.	38
Figura 13. Emisiones por fuente de emisión por el uso de combustibles en Cayambe y Riobamba kg de CO ₂ /ha.	41
Figura 14. Emisiones Directas e Indirectas de N ₂ O por la acción biológica	41
Figura 15. Emisiones provenientes por la aplicación de fertilizantes orgánicos al inicio del Sistema.	42
Figura 16. Emisiones GEI por fuente de emisión en la producción de quinua en Cayambe y Riobamba.	44
Figura 17. Energía de Salida (Granos-Residuo de la trilla)	44
Figura 18. Contribución de Energía por insumos en Cayambe y Riobamba	45
Figura 19. Balance de Energía Entradas – Salidas.	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Mapa de Ubicación de la Parcela C1 Cayambe.....	55
Anexo 2. Mapa de Ubicación de la Parcela C2 Cayambe.	55
Anexo 3. Mapa de Ubicación de la Parcela C3 Cayambe.	56
Anexo 4. Mapa de Ubicación de la Parcela C4 Cayambe.	56
Anexo 5. Mapa de Ubicación de la parcela R1 RIOBAMBA	57
Anexo 6. Software Agisoft PhotoScan Professional Generación de Ortofotos.	57
Anexo 7. Clases texturales del suelo según USDA de acuerdo a los porcentajes de Arena-Limo-Arcilla.....	58
Anexo 8. Software ADVANTECH DuraTap para determinar la Clase Textural	58
Anexo 9 Pagina de la lista completa de los valores estándares versión 4.....	58
Anexo 10. Clase textural de las parcelas de estudio de Cayambe y Riobamba	58
Anexo 11. Resultados tabulados en Excel-uso de combustibles en Riobamba.	59
Anexo 12.Resultados tabulados en Excel por el uso de combustibles en Cayambe..	59
Anexo 13. Resultados tabulados en Excel de la estimación de emisiones de GEI por emisiones directas e indirectas de N ₂ O.	60
Anexo 14. Análisis de Materia Orgánica	61
Anexo 15 fotografías.....	61

RESUMEN

El objetivo principal que se planteó esta investigación fue estimar la Huella de Carbono en los cultivos de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) de los cantones Cayambe y Riobamba ubicados en los Andes Ecuatorianos.

El estudio realizó el Inventario de Gases de Efecto Invernadero (GEI), el cual siguió las Directrices del IPCC 2006 para el Sector AFOLU y de Energía, para el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) de la quinoa, se recopiló los inputs/entradas y outputs/salida desde la preparación del suelo hasta la gestión de residuos en la fase agrícola. Los datos fueron recolectados mediante entrevistas, observaciones en campo, análisis de muestras de suelo y fertilizantes. Se analizaron parámetros físicos-químicos que son parte de la estimación de la Huella de Carbono (HC). Para el cálculo los datos fueron tabulados en Excel, el cual contiene los datos de actividad y factores de emisión.

Como resultados se reportan que en Cayambe y Riobamba se emiten 468,56 kgCO₂eq/ha y 425,38 kgCO₂eq/ha respectivamente, esto se debe principalmente al uso de combustibles y de fertilizantes. El porcentaje de Carbono Orgánico presente en los suelos de Cayambe fluctúa entre 1,68-2,80 % y en Riobamba 1,86-2,26 %. El balance energético evidencia una eficiencia positiva en la producción de quinoa con un consumo total de 5268,03 y 5100,87 MJ/ha en Riobamba y Cayambe respectivamente.

La importancia de estimar este de indicador ambiental, radica en conocer las emisiones de CO₂ provenientes de la producción agrícola, contribuir a un desarrollo sostenible e impulsar al eco-etiquetado de productos andinos.

ABSTRACT

The main objective of this research was to estimate the Carbon Footprint in the Quinoa crops (*Chenopodium quinoa*) of the cantons Cayambe and Riobamba located in the Ecuadorian Andes.

The study carried out the Greenhouse Gas Inventory (GHG), which followed the 2006 IPCC Guidelines for the AFOLU sector and Energy, for the Life Cycle Analysis (LCA) of quinoa, the inputs and outputs were collected from soil preparation to waste management in the agricultural phase. Data were collected through interviews, field observations, analysis of soil samples and fertilizers. The physicochemical parameters that are part of the estimation of the carbon footprint (HC) were analyzed. For the calculation, the data were tabulated in Excel, which contains the activity data and emission factors.

Cayambe and Riobamba emit 468.56 kgCO₂eq/ha and 425.38 kgCO₂eq/ha respectively, this is mainly due to the use of fuels and fertilizers. The percentage of Organic Carbon present in the soils of Cayambe fluctuates between 1,68-2,80% and in Riobamba 1,86-2,26%. In the energy balance there is evidence of a positive efficiency in quinoa production with a total consumption of 5268.03 and 5100.87 MJ/ ha in Riobamba and Cayambe respectively.

The importance of estimating this indicator of the environment is to know CO₂ emissions from agricultural production contribute to sustainable development and promote the eco-labeling of Andean products.

1 INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático es un problema global que persiste y está aumentando a través del tiempo y “no sólo constituye un problema ambiental sino, también, un problema de desarrollo, con profundos impactos potenciales en la sociedad, la economía y los ecosistemas” (Valderrama, Espíndola, & Quezada, 2011, p. 4). La principal consecuencia del cambio climático es la alteración en la temperatura del planeta, según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC), esto se debe a “la variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera” (IPCC, 2007a, p. 5). Considerando que los GEI identificados por el Protocolo de Kioto son: el “Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y los Hexafluoruro de Azufre (SF₆)” (Naciones Unidas, 1998).

En Ecuador, un sector que genera considerables cantidades de emisiones de GEI, es el sector agrícola; para el año 2010 se reportó 14 515,94 Gg CO₂-eq, donde el 46,81 % de las emisiones corresponden a suelos agrícolas. (MAE, 2016). Esto se debe, a que las prácticas agrícolas van mejorando mediante el uso de tecnificación, productos químicos, fertilizantes inorgánicos; ocasionando deterioro al recurso suelo y aumentando la producción de GEI a nivel mundial.

Actualmente, Ecuador está incentivando la producción sostenible de quinua (*Chenopodium quinoa*), un pseudocereal andino con alto nivel nutritivo y mínimo contenido de gluten, el cual es causante de alergias e intolerancia, por tanto, es un alimento apto para celíacos o alérgicos al gluten (PROINPA, 2011). Además, la quinua contiene buen nivel proteico entre 10,4% a 17% de proteína, ácidos grasos poliinsaturados esenciales como linoleico (ω 6) y linolénico (ω 3), vitaminas y

minerales (FAO, 2013b). En cuanto a la producción de quinua se da principalmente en tres países productores tradicionales: Bolivia, Perú y Ecuador, se estima que el 80 % de la producción a nivel mundial está centrado en estos países (FAO & ALADI, 2014). En Ecuador, la quinua se distribuye en las provincias de Pichincha, Imbabura, Carchi, Cañar, Cotopaxi, Chimborazo, Azuay y Tungurahua, donde el mayor rendimiento para el año 2016 se dio en Pichincha con 1,79 t/ha y la zona de menor productividad fue Tungurahua con 1,19 t/ha (Monteros, 2016).

Por las consideraciones anteriores, este trabajo pretende responder a lo siguiente: ¿Cómo la producción de quinua contribuye a las emisiones Gases de Efecto Invernadero durante la fase agrícola? Para responder a esta interrogante, la investigación estima la Huella de Carbono (HC) que se genera por la producción de quinua en los cantones de Cayambe y Riobamba, y la cual se expresa en kg de dióxido de carbono equivalentes por hectárea (kg CO₂-eq/ha).

Para la estimación de la HC se tabularon los datos en Excel, el cual contiene los datos de actividad recolectados en campo desde la preparación del suelo hasta la gestión de residuos agrícolas, datos en el laboratorio y factores de emisión siguiendo las directrices dadas por el IPCC 2006.

La estimación de la HC permitirá analizar impactos ambientales potenciales generados por el uso de suelos para tierra de cultivos especialmente para la quinua, a su vez ayudará a las certificaciones con ecoetiquetas de los productos agrícolas adicional al etiquetado como producto orgánico, las cuales certifican que la producción agrícola se realizó con prácticas agrícolas ecológicas (PRO ECUADOR, 2013); con esto mejorar el comercio de la quinua a nivel nacional. Además, el país no cuenta con información de estimación de HC procedente del cultivo de la quinua.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general.

Estimar la Huella de Carbono en los cultivos de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) de los cantones Cayambe y Riobamba ubicados en los Andes Ecuatorianos.

2.2 Objetivos específicos.

- Realizar un inventario de datos inputs/entradas y outputs/salidas durante el ciclo de vida de la producción agrícola de la quinoa (*Chenopodium quinoa*).
- Determinar en el laboratorio parámetros físicos y químicos a partir de muestras de suelo y fertilizantes.
- Calcular la Huella de Carbono que se genera por la producción de quinoa (*Chenopodium quinoa*) en la fase de campo mediante datos de actividad y los factores de emisión.

3 MARCO TEÓRICO

3.1 Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define al cambio climático a “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”(Naciones Unidas, 1992, p. 3).

3.2 Gases de Efecto Invernadero

El cambio climático está atribuido a la variación de las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero denominados (GEI), los cuales “se refiere a cualquier constituyente gaseoso de la atmósfera que tiene la capacidad de absorber y re-emitir radiación infrarroja. Esos gases pueden clasificarse en aquellos generados de manera natural o aquellos emitidos como resultado de las actividades socio-económicas del hombre” (INEGEI, 2006, p. 10).

3.3 GEI en el sector AFOLU.

Los GEI con mayor preocupación para el sector Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra denominado sector AFOLU (Agriculture, Forestry and Other Land Use) son: CO₂, N₂O y CH₄ (IPCC, 2006a). Los cuales se miden en CO₂ equivalentes (CO₂ eq), esta unidad compara: el “efecto en el cambio climático o el forzamiento radiactivo de un GEI en relación con el del CO₂. Para la conversión de gases de efecto invernadero distintos del CO₂ en CO₂ eq se utilizan sus correspondientes potenciales de calentamiento atmosférico” (Centro de Comercio Internacional [ITC], 2012, p. 46).

3.4 Tierras de cultivo

El IPCC (2006e) describe dos subcategorías para tierras de cultivo, las que permanecen como tales (CC) (más de 20 Años como Tierra de Cultivo) y tierras convertidas en Tierras de Cultivo (LC) (menor a 20 años). Asimismo, categoriza a los cultivos en anuales y perennes (mayor a 1 año).

3.5 Depósitos de carbono

Los diferentes depósitos de carbono para el sector AFOLU son la biomasa, materia orgánica muerta y el suelo (IPCC, 2006a). La existencia de carbono en estos depósitos solo se estima para cultivos leñosos perennes y no para los cultivos anuales a excepción del suelo (IPCC, 2006f).

3.5.1 Suelo.

En cuanto el carbono que está presente en el suelo se lo puede encontrar de forma orgánica e inorgánica. “La forma orgánica equivale a la mayor reserva en interacción con la atmósfera. El carbono orgánico presente en el suelo representa un balance dinámico entre la absorción de material vegetal muerto y la pérdida por descomposición (mineralización)” (Rügnitz, Chacón, & Porro, 2008, p. 44).

3.5.2 Secuestro de Carbono

Se define al secuestro de carbono “como el proceso por el cual el CO₂ de la atmósfera se convierte en formas de C almacenadas fundamentalmente en el suelo y la biomasa, quedando así inmovilizado respecto a la circulación biogeoquímica durante largos periodos de tiempo”(Almendros, 2004, p. 230).

Los suelos con clases texturales arcillosas, retienen más Carbón Orgánico que los suelos con textura arenosa, debido a que los suelos arcillosos retienen al Carbón Orgánico más rápido y lo acumulan por más tiempo (Loayza, 2012).

3.6 Emisiones de no CO₂ por la quema de biomasa

El IPCC (2006f) menciona que la combustión que se da por la quema de la biomasa o de residuos agrícolas emite la mayor cantidad de carbono y se le atribuye a la emisión de CO₂, pero a su vez, se libera también como “monóxido de carbono (CO), metano (CH₄) o compuestos orgánicos volátiles diferentes del metano (COVDM)” (IPCC, 2006b, p. 1.6). Y se estiman como no CO₂.

3.7 Combustión como fuente de emisión de CO₂.

La combustión proveniente por los combustibles fósiles es considerado de gran impacto, ya que es una de las principales fuentes de emisión de CO₂, para el sector energético existen dos clasificaciones dadas para la combustión, la combustión estacionaria y móvil; la combustión estacionaria contribuye con un 70% de las emisiones de GEI y la combustión móvil aporta con un tercio de las emisiones (IPCC, 2006b).

3.7.1 Combustión móvil.

Las fuentes móviles aportan con emisiones de GEI directos como el CO₂, CH₄, y el N₂O, estos se emiten por la quema de los diversos tipos de combustibles, la estimación de los GEI se realiza “más fácilmente por la actividad principal de transporte, es decir, terrestre, todo terreno, aéreo, ferrocarril y navegación marítima y fluvial” (IPCC, 2006d, p. 3.8).

3.8 El óxido Nitroso

Un gas que se genera de manera natural por dos procesos la nitrificación y la desnitrificación es el óxido Nitroso (N_2O). “La nitrificación es la oxidación microbiana aeróbica del amonio en nitrato y la desnitrificación es la reducción microbiana anaeróbica del nitrato en gas de nitrógeno (N_2)” (IPCC, 2006c, p. 11.5).

La emisión de este tipo de gas se produce de manera directa o indirecta como se describe en el diagrama esquemático de fuentes y vías de N (Figura 1).

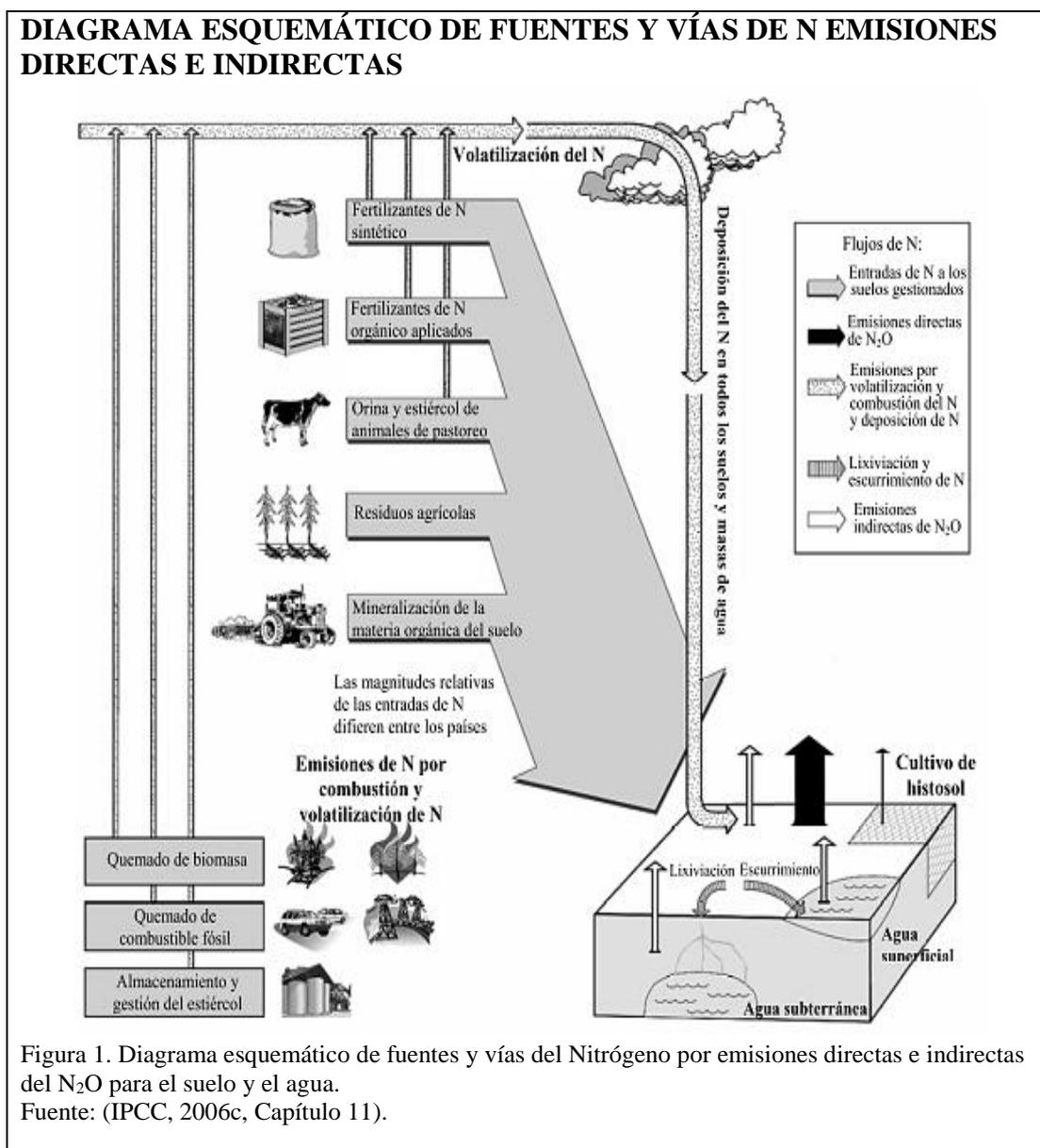


Figura 1. Diagrama esquemático de fuentes y vías del Nitrógeno por emisiones directas e indirectas del N_2O para el suelo y el agua.

Fuente: (IPCC, 2006c, Capítulo 11).

3.9 Protocolo y Normas para la evaluación de GEI

3.9.1 PAS 2050.

La Norma Publicly Available Specification 2050:2011 fue desarrollada por British Standard Institute (BSI), la cual establece las especificaciones para la evaluación de los GEI durante el Ciclo de Vida de Bienes y Servicios (BSI, 2011). Esta norma está basada en los requisitos y directrices de las normas ISO 14040 e ISO 14044 de análisis de ciclo de vida.

3.9.2 GHG Protocol Product Accounting and Reporting Standard.

El Protocolo de Ciclo de Vida del Producto Contabilidad y Norma de Informes es desarrollado por World Resources Institute (WRI) & World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) “proporciona requisitos y directrices para las empresas y otras Organizaciones para cuantificar y publicar el inventario de Gases de Efecto Invernadero y la absorción asociada con un producto específico” (WRI & WBCSD, 2011, p. 5).

3.10 Análisis de Ciclo de Vida

Se define al Análisis de Ciclo de Vida (ACV) como “ una herramienta metodológica que sirve para medir el impacto ambiental de un producto, proceso o sistema a lo largo de todo su ciclo de vida” (Ihobe S.A., 2009, p. 3). Los elementos del ACV se muestran en la tabla 1.

Tabla 1.
Elementos del ACV.

Inventario de ACV.	Entradas/Inputs.	Outputs/Salidas.
Recopilación y de cuantificación de entradas/inputs y salidas/outputs	Se refiere a los diferentes insumos (recursos, materias primas, productos, transporte, electricidad, energía... etc., que se tienen en cuenta en cada fase del sistema	Emisiones resultantes de cada fase del sistema como aire, agua y al suelo, también hace referencia a los residuos y los subproductos

Fuente: (Ihobe S.A., 2009).

3.11 Huella de Carbono

Se define a la Huella de Carbono (HC):

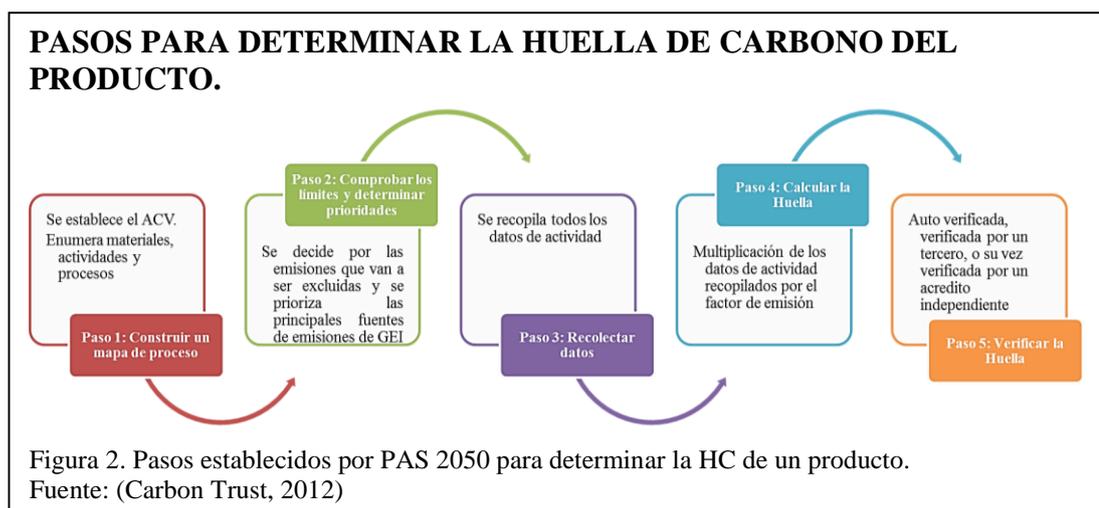
A la cantidad total de GEIs causados directa o indirectamente por una organización, un producto o un servicio. Es por tanto un inventario de GEIs, que se mide en toneladas de CO₂ equivalente y que tiene en cuenta los seis tipos de gases considerados en el Protocolo de Kioto (CO₂, CH₄, N₂O, PFCs, HFCs y SF₆).

(Ihobe S.A., 2012, p. 11)

Según menciona Espíndola y Valderrama (2012) para estimar la HC se debe realizar el ACV sea este de un producto o servicio, con el fin de conocer todos los efectos o impactos potenciales asociados que se dejan tras realizar una actividad.

3.11.1 Evaluación de la Huella del Producto.

Según PAS 2050 (como se cita en Carbon Trust, 2012) establece cinco pasos para determinar la Huella un producto los cuales se encuentran en la figura 2.

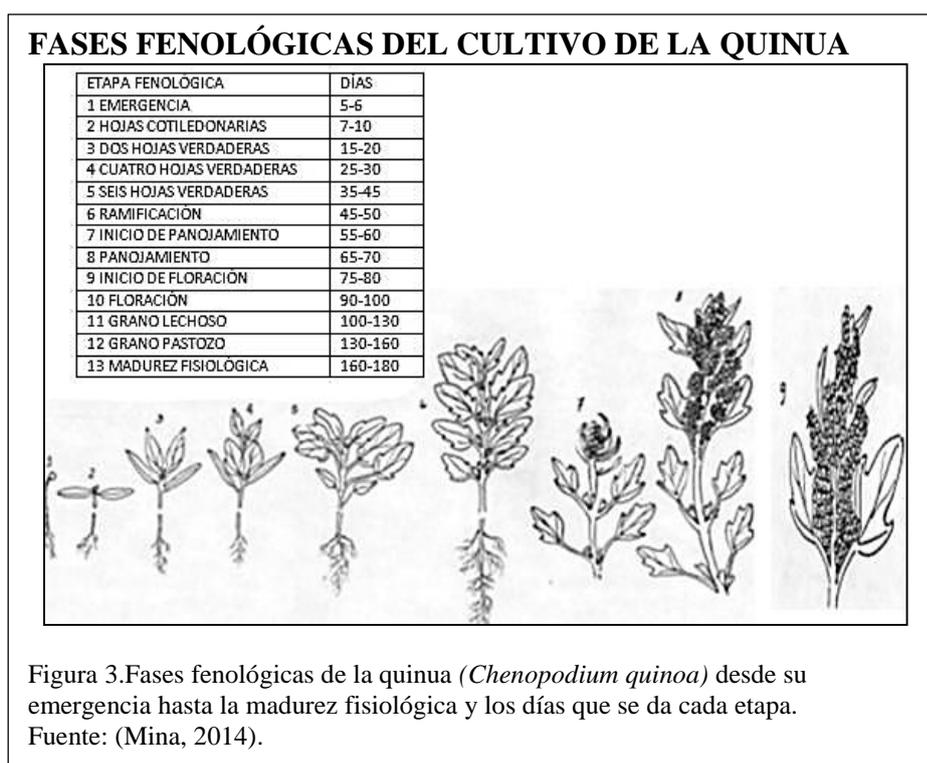


3.12 Quinoa (*Chenopodium quinoa*).

Originalmente la quinoa se da en América en las zonas andinas, esta planta crece a una altitud hasta los 4000 m.s.n.m, con precipitaciones que fluctúan entre los 400 a 500 mm, a una temperatura de 15 a 25 °C, el pH del suelo se encuentra en un rango de 4 a 9 y se desarrolla en suelos de diferentes texturas (Gómez et al., 2016).

3.12.1 Descripción botánica.

“La quinoa es una planta herbácea anual, dicotiledónea de amplia dispersión geográfica, con características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se cultiva” (FAO & Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), 2013). Esta planta alcanza alturas entre 0,2 a 3,0 m (PROINPA, 2011). Las raíces es del tipo pivotante y alcanza profundidades entre 0,8 a 0,5 metros, el tallo es cilíndrico en etapa de madurez se torna con un color crema, la inflorescencia es una panoja (racimo) de 15 a 70 cm. (Gómez et al., 2016) Las fases fenológicas se muestran en la Figura 3.



3.12.2 Variedades de la quinua.

Las variedades de la quinua que generalmente se producen en Ecuador son la Tunkahuan y Pata de Venado (Peralta, 2009). Las diferencias entre las dos variedades se pueden evidenciar en la tabla 2.

Tabla 2.

Comparación de las variedades de quinua (Chenopodium quinoa)

QUINUA ECUADOR							
VARIEDAD	ALTURA PLANTA	DÍAS FLORAC.	DÍAS COSECHA	COLOR GRANO	CONTENIDO DE SAPONINA	RENDIMIENTO kg/ha (promedio)	ALTITUD ÓPTIMA m
INIAP TUNKAHUAN	150	109	180	Blanco	Bajo (0,06 %)	2000	2600-3200
INIAP PATA DE VENADO	75	73	150	Blanco crema	Bajo (0,05 %)	1400	3000-3600

Nota: Fuente: (Peralta, 2009).

3.12.3 Propiedades de la quinua.

Varios autores consideran a la quinua como el único alimento del reino vegetal que contiene todos los aminoácidos esenciales (PRO ECUADOR, 2015; PROINPA, 2011; Quiroga et al., 2014), Además de oligoelementos, vitaminas, no contiene gluten y es una gran fuente de calcio, hierro y vitamina B (PRO ECUADOR, 2015, p. 3). Debido a estas propiedades, a la quinua se le considera estratégica para la soberanía alimentaria (Zurita et al., 2014). La composición nutricional de la variedad de quinua Tunkahuan se muestra en la tabla 3.

En el 2013, la Asamblea de las Naciones Unidas y con apoyo de la FAO declaró el año Internacional de la Quinua (AIQ), la cual tomó “las excepcionales cualidades nutricionales de la quinua, su adaptabilidad a diferentes pisos agroecológicos y su contribución potencial en la lucha contra el hambre y la desnutrición” (FAO, 2013a).

Tabla 3.
Composición nutricional variedad Tukanhuan

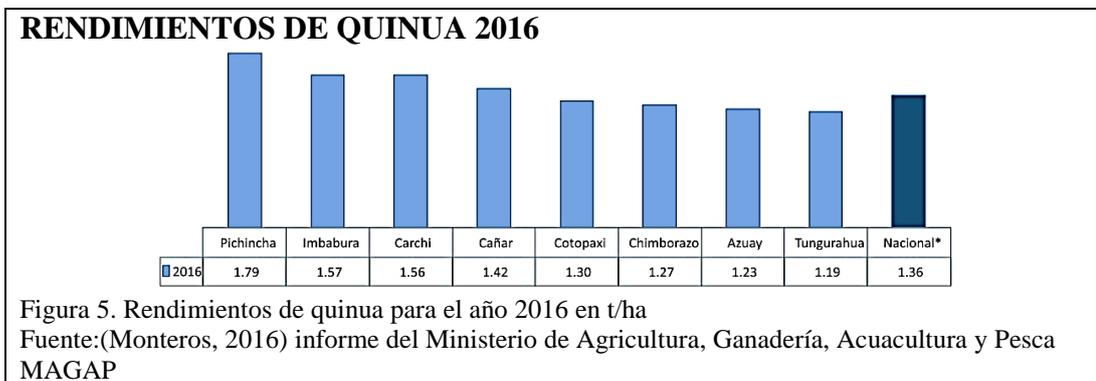
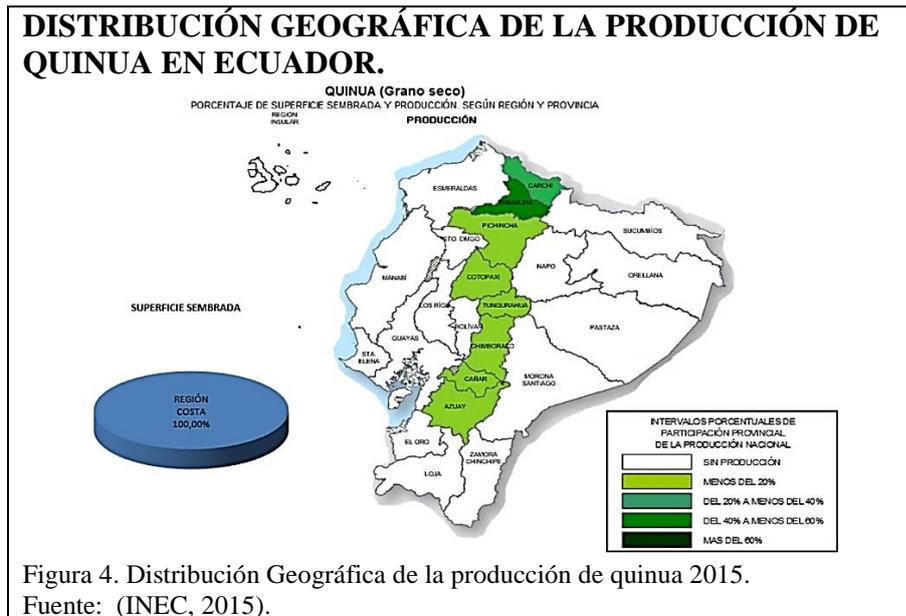
Composición nutricional		Contenido de aminoácidos mg/g muestra		Contenido de ácidos grasos %	
Energía (Kcal/100g)	453,08	Ácido aspártico	11,8	Cáprico C10:0	--
Humedad (%)	13,7	Serina	5,8	Láurico C12:0	--
Proteína (%)	13,9	Ácido glutámico	21,4	Mirístico C14:0	Trazas
Grasa (%)	4,95	Prolina	4,6	Palmitico C16:0	11,49
Carbohidratos (%)	66,73	Treonina	5,1	Esteárico C18:0	Trazas
Cenizas (%)	3,7	Glicina	18,2	Oleico C18:0	27,01
Fibra (%)	8,61	Alanina	6,5	Linoleico C18:2	56,8
Calcio (%)	0,18	Valina	6,4	Linolénico C18:3	4,7
Fósforo (%)	0,59	Metionina	1,5		
Magnesio (%)	0,16	Isoleucina	5,2	Vitaminas	
Potasio (%)	0,95	Leucina	8,6	Vitamina E (mg/100g)	1,43
Sodio (%)	0,02	Fenilalanina	5,7	Vitamina B12 (µm/100g)	0,48
Cobre (ppm)	10,0	Lisina	7,4	Ácido fólico (mg/100g)	1,69
		Arginina	8,0	Vitamina B1(mg/100g)	0,46
		Tirosina	4,4	Vitamina B2 (mg/100g)	3,56
		Histidina	3,9	Vitamina B3 (mg/100g)	29,98
		Cisteína	1,5	Vitamina B6 (mg/100g)	28,05

Fuente: (Peralta, 2009).

3.12.4 Distribución Geográfica de la quinua

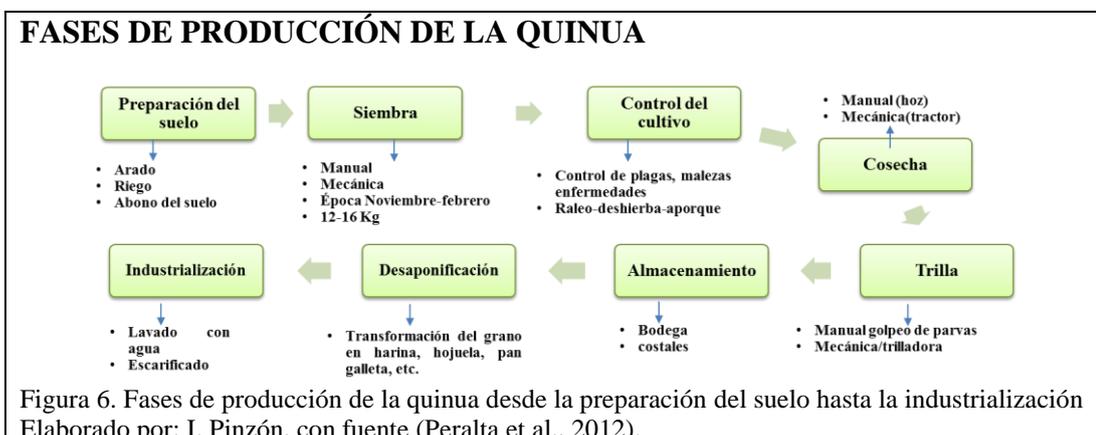
Según el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) (2015) las zonas con mayor producción de quinua para el año 2015 se dieron en las provincias de Imbabura y Carchi, como se muestra en la Figura 4.

En cuanto, al periodo de producción de quinua de octubre 2015 - agosto 2016, la provincia con rendimiento superior a la media nacional fue “Pichincha con 1.79 t/ha; mientras que la zona de menor productividad fue Tungurahua con 1.19 toneladas por hectárea”(Monteros, 2016). Como se muestra en la figura 5.



3.12.5 Fases de producción de la quinua

Las distintas etapas de producción de quinua van desde la preparación del suelo hasta la industrialización del producto, la Figura 6 resume las fases de producción de la quinua.



4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materiales

Para el proyecto se utilizaron diferentes materiales y equipos los cuales se detallan para la fase de campo (Tabla 4) y laboratorio (Tabla5).

4.1.1 Fase de campo:

Tabla 4.
Materiales utilizados en campo.

Materiales para la georreferenciación	Materiales toma de muestra	
GPS Garmyn	Pala	Romanilla
Dron Phantom 3 professional	Machete	Hielera
	Balde	Material para etiquetar las muestras
	Fundas Ziploc	Libreta de campo
		Cámara fotográfica

Nota: Elaborado por: I. Pinzón.

4.1.2 Fase de laboratorio:

Tabla 5.
Materiales, equipos, reactivo usados en el laboratorio.

MATERIALES	EQUIPOS	REACTIVOS
PREPARACIÓN DE LA MUESTRA		
Mortero		
Tamiz		
DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO		
Vasos de precipitación	Cámara de gases	Ácido Sulfúrico concentrado H_2SO_4
Buretas-Soporte universal	Mufla	Dicromato de potasio (K_2CrO_7)
Balones aforados	Balanza	Sulfato Ferroso de Amonio $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$
Matraz Erlenmeyer		Indicador de Ferroina
Probeta		Agua destilada
Vidrios reloj- Espátula		
Pipetas		

DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO		
Tubos digestores	Digestor DK Destilador Semi- Automatic UDK 139	Ácido sulfúrico Pastilla de Kjeldah Peróxido de Hidrogeno (H ₂ O ₂) H ₂ BO ₃ con indicador (verde de bromocresol y rojo de etilo disuelto en alcohol etílico) NaOH (10 N) HCl
GRANULOMETRÍA		
Tamiz del 10-400	Balanza Tamizadora ADVANTECH DuraTap.	

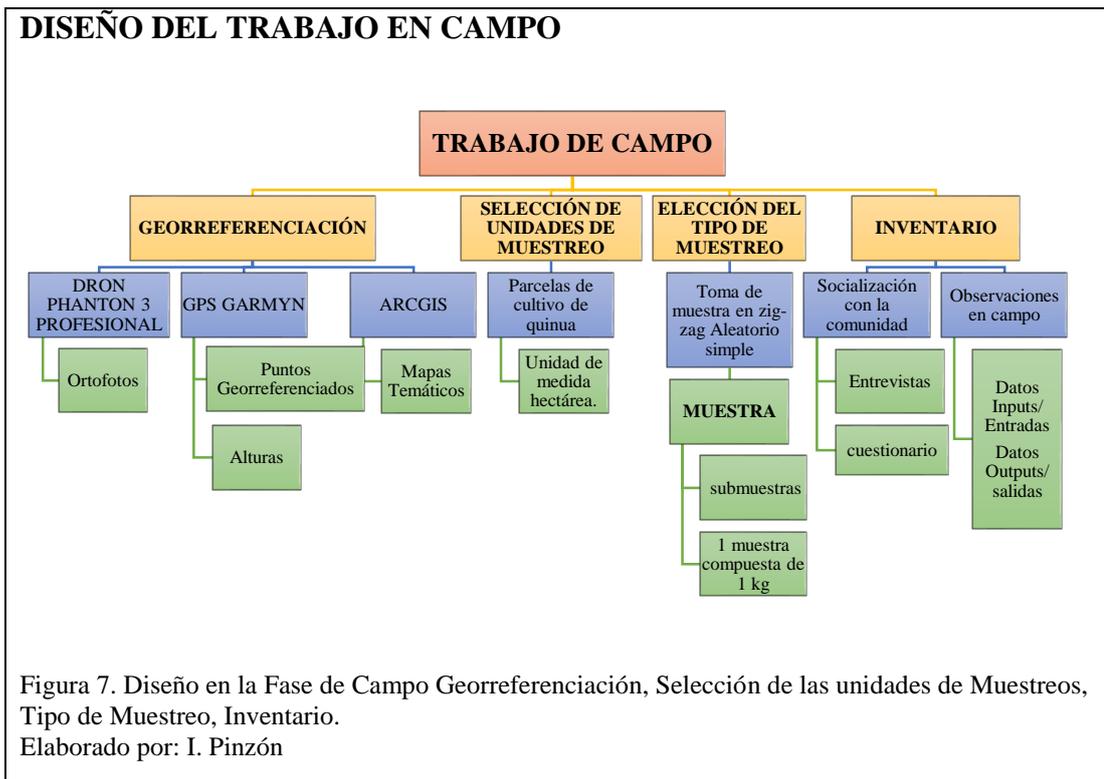
Nota: Materiales, equipos y reactivos utilizados en el laboratorio para determinar parámetros Físicos/químicos del suelo y fertilizantes necesarios para el estudio.
Elaborado por: I. Pinzón.

4.2 Método

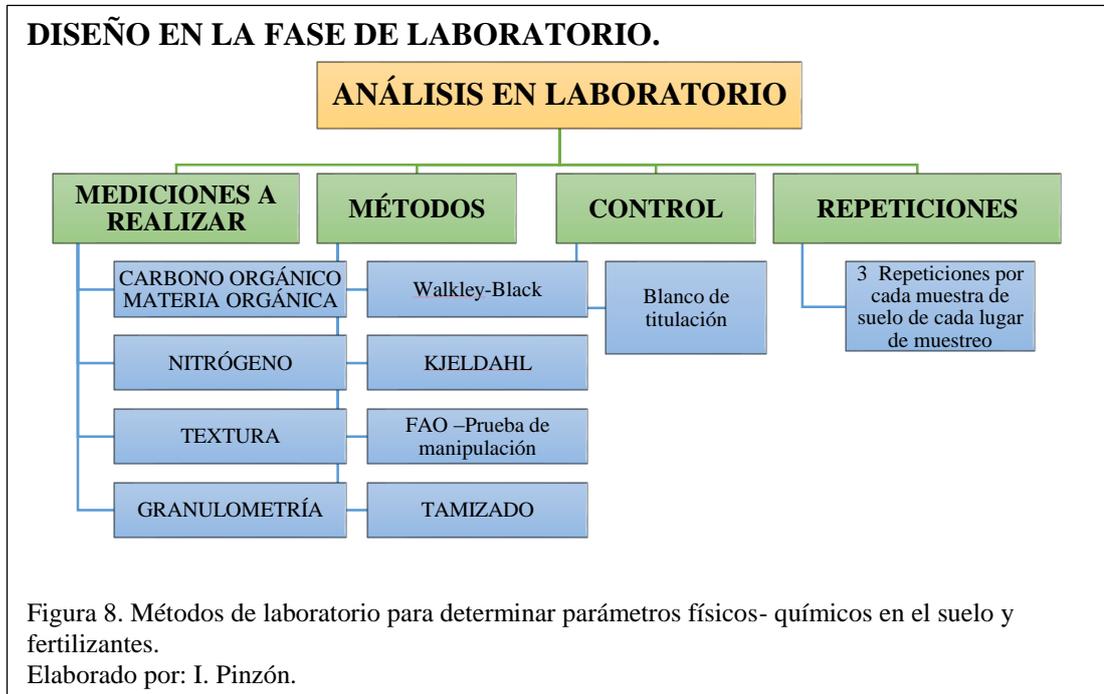
4.2.1 Método descriptivo

Para el estudio se utilizó el método descriptivo, el cual permite describir el fenómeno como se manifiesta en campo (Sampieri, Collado, & Lucio, 2006, p. 102). Se recopiló, identificó y se seleccionó datos mediante la observación, entrevistas con los productores, toma de muestras de suelo y fertilizantes. Para el estudio no se utilizó un diseño experimental ya que no hay manipulación de variables que puedan adquirir diversos valores, ni tratamientos, pero si se describen los diseños y métodos de investigación para la fase de campo (Figura 7), laboratorio (Figura 8) y la fase de estimación (Figura 9).

4.2.1.1 Diseño en la Fase de Campo



4.2.1.2 Diseño en la fase de laboratorio.



4.2.1.3 Diseño en la Fase de Estimación de Huella de Carbono.

METODOLOGÍA APLICADA PARA LA ESTIMACIÓN DE LA HUELLA DE CARBONO.

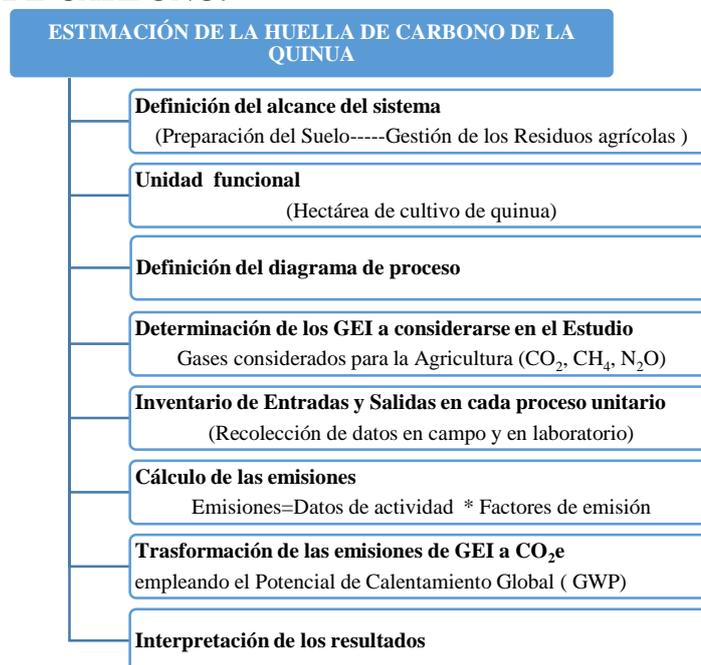


Figura 9. Metodología aplicada para la estimación de la Huella de Carbono basada en el IPCC 2006 y en el protocolo de Gases de Efecto Invernadero.
Elaborado por: I. Pinzón.

4.2.2 Población y muestra.

4.2.2.1 Población.

La población que se identificó para la estimación de la HC, son los cultivos de quinua (*Chenopodium quinoa*) específicamente de la variedad Tunkahuan ubicados en Cayambe y Riobamba.

4.2.2.2 Muestra.

En campo: De las parcelas de quinua se tomó 1 kg de muestra compuesta de suelo y 1 kg de muestra de Fertilizante.

En el laboratorio.

Dependiendo el tipo de análisis realizado, sea físico o químico, la muestra va aproximadamente de 0,1 g a 1 g.

4.3 Descripción de los Métodos.

4.3.1 Metodología para estimación de GEI.

Para la estimación de los GEI, se siguió las directrices dadas por el IPCC 2006 para el sector AFOLU volumen 4 y las directrices para Energía Volumen 2; específicamente se tomó las ecuaciones y los parámetros por defecto para el Nivel 1. A su vez se basó en los aspectos del protocolo de GEI desarrollado por WBCSD y WRI. Finalmente, se aplicó la metodología dada por PAS 2050:2011 para el ACV.

4.3.2 Metodología para el muestreo.

Se siguió la metodología dada por el Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y la guía dada por (FAO, 2008).

4.4 Fase de campo.

4.4.1 Georreferenciación de las parcelas.

En primera instancia se realizó la ubicación geográfica de las parcelas que intervendrán en el estudio, para lo cual se utilizó un Dron Phantom 3 professional. Mediante el programa Arc-Gis ® se realizaron los mapas georreferenciados utilizando las ortofotos (Anexo 1-5) que se generaron por el programa Agisoft PhotoScan (Anexos 6). Los puntos de muestreo del suelo fueron tomados con el GPS Garmyn.

4.4.2 Unidad de Muestreo.

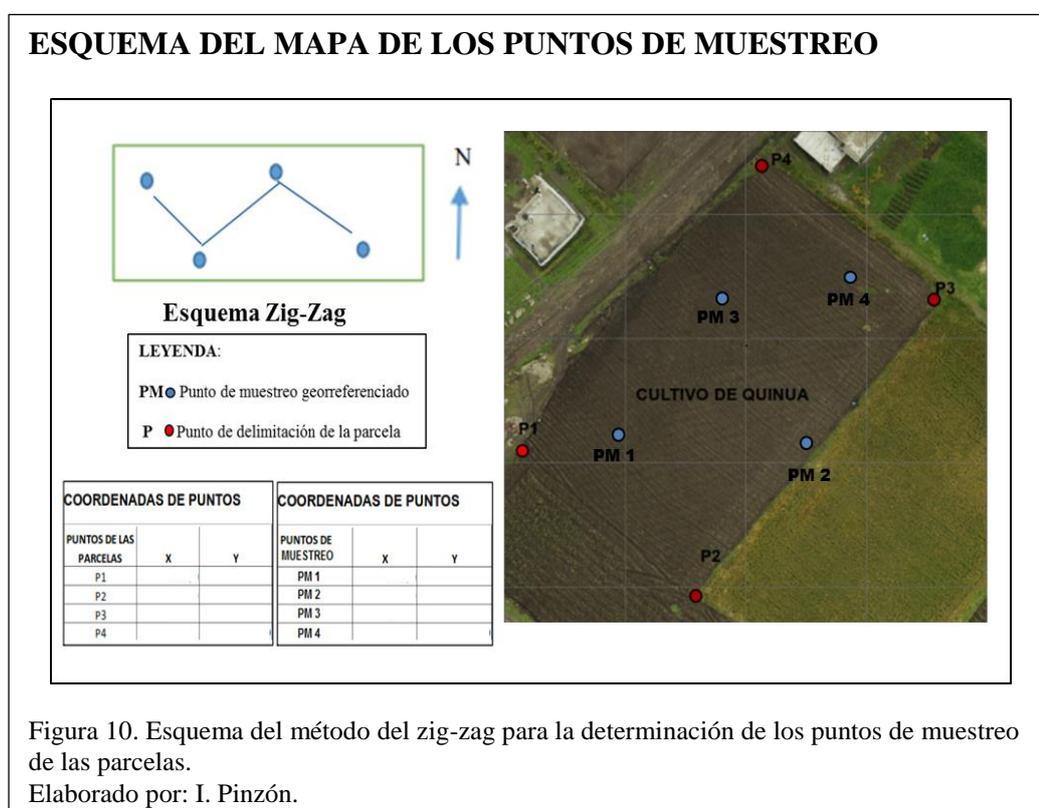
Se seleccionó la unidad de muestreo mediante una inspección visual del campo y se observó las diferentes características del suelo como: pendiente, el color, textura y la gestión que se les da a las parcelas por parte de los productores.

4.4.3 Método de muestreo.

Se utilizó el método de muestreo aleatorio simple, en donde la unidad muestral tiene la misma probabilidad a ser seleccionada y es tomada al azar.

4.4.3.1 Muestra de suelo.

Se realizaron croquis de las parcelas y se fijaron los puntos de muestreo mediante el método zig-zag (Figura 10).



Toma de la muestra.

- Se limpió la superficie del lugar a muestrear removiendo la cobertura vegetal. (Anexo 15-fotografía 1). Con la ayuda de una pala se cavó un hoyo en corte en V y con el machete se eliminó los extremos laterales dejando la muestra en forma rectangular.
- Se colocaron todas las sub-muestras en un balde limpio, se homogenizaron las sub-muestras y se realizó el cuarteo, el cual consistió en dividir en cuatro

partes y rechazar las partes opuestas, se mezcló nuevamente y se obtuvo la muestra compuesta de aproximadamente 1kg.

- Las muestras se colocaron en fundas Ziploc esterilizadas y se procedió al etiquetado con la siguiente información: nombre de la parcela, fecha, hora, tipo de muestra, localidad, altitud (Anexo 15-fotografía 2).

4.4.3.2 Almacenamiento.

Para el almacenamiento se preservaron las muestras a 4 °C para proceder con el correcto análisis de las muestras en el laboratorio.

4.4.4 Muestra de abono.

Para la muestra de abono se tomó una muestra representativa del compost que los productores elaboran a base de residuos agrícolas y estiércol.

4.4.5 Clase Textural

4.4.5.1 En campo:

Para tener una primera apreciación de la textura del suelo se hizo una prueba de manipulación en campo para determinar la textura del suelo dado por (FAO, 2011).

4.4.5.2 Procedimiento en campo

- 1) Se mojó un poco la muestra en la mano, se amasó hasta obtener una bola de aproximadamente de 3 cm y se dejó caer al suelo, al observar cohesión se realizó un cilindro de aproximadamente 15 cm de longitud, se dobló en forma de semicírculo hasta formar un círculo cerrado. (Anexo 15-fotografía 3).

4.4.5.3 *Análisis:*

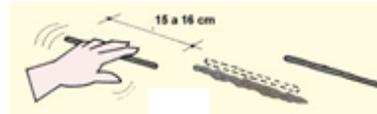
Si al amasar y al obtener la bola no muestra cohesión es un suelo arenoso



Si el cilindro no alcanza los 6 a 7 cm es arenoso franco.



Si al doblar el cilindro en forma de semicírculo no se puede, es franco y si no llega formarse el círculo cerrado es franco pesado.



Si al formarse el círculo y en este se forma ligeras grietas, es una arcilla ligera, pero si no es una arcilla.



Fuente: (FAO, 2011).

4.5 Fase en el laboratorio.

4.5.1 Textura y Granulometría

Para conocer la clase textural se lo realizó con los porcentajes de arcilla, limo, arena de acuerdo al tamaño de las partículas para cual se utilizó tamices ASTM y la clasificación USDA para el tamaño de las partículas.

Procedimiento:

- 1) Se pesó los tamices previamente lavados y secados, luego fueron colocados en orden ascendente de mayor a menor poro 10-400 ASTM en la tamizadora ADVANTECH DuraTap
- 2) Se pesó 200g de muestra de suelo previamente secada al aire, disgregada y cuarteada.
- 3) Luego se tamizó por un intervalo de 10 minutos.
- 4) Finalmente se pesaron cada uno de los tamices más el contenido de muestra.

Ecuación:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso retenido}}{\text{Muestra total}} * 100$$

Para la determinar la textura del suelo se utilizó el triángulo textural basado en el sistema USDA porcentaje de arena-limo-arcilla (Anexo 7) utilizando el programa Texture-AutoLookup-TAL (Anexo 8).

Las imágenes del proceso de tamizado se encuentran en el Anexo 15-fotografía 4

4.5.2 Determinación de Carbón Orgánico y Materia Orgánica.

Para determinar carbón orgánico y materia orgánica se realizó mediante la técnica volumétrica de Walkley-Black también denominado método de oxidación húmeda, el cual el “Carbón Orgánico es determinado por medio de la titulación inversa de dicromato de potasio. Un exceso conocido de $K_2Cr_2O_7$ es añadido a la muestra junto con H_2SO_4 y el C Orgánico es oxidado a CO_2 ”(Radojevic & Bashkin, 2006, p. 313).

Procedimiento:

- 1) Se pesó 0,2 g de muestra de suelo previamente secada al aire, homogenizada y pasada por un tamiz de 2 mm. Y de raíz de quinua se pesó 0,03 a 0,06 g.
- 2) Se llevó el experimento a la cámara de gases para evitar accidentes.
- 3) Se colocó en un Erlenmeyer de 250 ml, 10 ml de solución estándar de K_2CrO_7 0,083 M y 15 ml de H_2SO_4 concentrado, se agitó vigorosamente durante un minuto.
- 4) Se dejó reposar durante 30 min, una vez frío, se diluyó con agua destilada hasta completar un volumen de 100 ml y se adicionó 5 gotas de indicador de ferroina.

- 5) Se valoró el exceso de dicromato con una solución de sulfato ferroso de amonio 0,2 M el viraje se dio paso de un color púrpura oscuro a un verde brillante y finalmente a rojo ladrillo.
- 6) Se llevó un blanco con cada uno de los reactivos utilizados. Se registró la cantidad de titulante consumido en la reacción.

Cálculos:

$$\text{Carbón Orgánico} \left(\frac{mg}{g} \right) = \frac{18 * C * V \frac{V_1}{V_2}}{M} \qquad \text{Carbon Organico}(\%) = \frac{CO \left(\frac{mg}{g} \right)}{10}$$

Donde C es la concentración (mol/L) de la solución de K₂CrO₇ 0,166 M, V son los 10 ml de K₂CrO₇, V₁(muestra de suelo) y V₂(blanco) Volumen de titulante consumido en ml y M es peso de suelo usado en la reacción.

Fuente:(Radojevic & Bashkin, 2006)

4.5.3 Materia orgánica.

$$\text{Materia orgánica} (\%) = 1,3 * \text{Carbono orgánico} (\%)$$

Fuente: (Radojevic & Bashkin, 2006).

Las ilustraciones para la determinación del carbón orgánico y materia orgánica se encuentran en el Anexo 15-fotografía 5

4.5.4 Nitrógeno en el suelo.

El Nitrógeno total para el Suelo se determinó mediante el método KJELDAHL el cual se desarrolló en tres fases: digestión, destilación y la valorización.

Procedimiento

4.5.4.1 Preparación del indicador.

Se disolvió en 750 ml de agua destilada 20 g de ácido bórico (H_3BO_3), en una plancha se calentó el contenido para completar la disolución del ácido, se dejó enfriar y se agregó 20 ml de indicadores.

Indicadores

Se mezcló 0.099 g de verde de bromocresol y 0.066 g de rojo de metilo y fueron disueltos en 100 ml de alcohol etílico al 96%. Se aforó a un volumen de 1 L con agua destilada.

Recomendaciones.

El pH de la mezcla debe de ser de 5.0, si es más ácido se agrega gotas de solución de hidróxido de sodio 0.1 N, hasta que la solución adquiriera una coloración púrpura o alcance el pH indicado (Fernández et al., 2006).

4.5.4.2 Digestión de la muestra

- 1) Se pesó 0,25 g de muestra de suelo seca y tamizada.
- 2) Se colocó la muestra de suelo en un matraz Kjeldahl seco.
- 3) Se adicionó 1/4 de tableta Kjeldahl
- 4) Se agregó 7 ml de ácido sulfúrico concentrado y 5 ml de H_2O_2
- 5) Se calentó el contenido en el Digestor DK a una temperatura de 420 °C por 1 hora, una vez terminada la digestión se taparon los matraces para dejarlos enfriar.

4.5.4.3 Destilación.

- 1) Se Añadió en los matraces Kjeldahl 25 ml de agua destilada y se mezcló vigorosamente hasta obtener una disolución completa.

- 2) Luego se transfirió el contenido a un matraz Erlenmeyer de 500 ml con el matraz inclinado se añadió 15 ml de la solución de NaOH 10 N.
- 3) A la salida del destilador se colocó un vaso de precipitación de 50 ml el cual contenía 10 ml de la solución de ácido bórico con el indicador.
- 4) Se conectó el flujo de agua y se inició la destilación.
- 5) Se destiló hasta que el volumen alcanzo los 20 ml en el vaso de 50 ml se retiró el matraz.
- 6) Se realizó un blanco siguiendo los pasos antes mencionados.

4.5.4.4 Titulación.

- 1) Se tituló el nitrógeno amoniacal con una la solución de ácido sulfúrico 0.01 N hasta que se produjo un viraje de verde a rosado fuerte.

Calculo

$$\text{Nitrógeno (\%)} = \frac{(T - B) * N * 1,4}{S}$$

T = ml de ácido sulfúrico valorado gastados en la muestra

B = ml de ácido sulfúrico valorado gastados en el blanco

N = Normalidad exacta del ácido sulfúrico

S = Peso de la muestra de suelo

Fuente: (Fernández et al., 2006)

Las fotografías del análisis de Nitrógeno se encuentran en el Anexo 15- fotografía

6

4.6 Estimación de GEI

Para la estimación de GEI se utilizó la ecuación para calcular CO₂eq basada en datos de actividad, factores de emisión y el Potencial de Calentamiento Global (GWP)

$$kgCO_2eq = \text{Datos de Actividad} * \text{Factor de Emisión} * GWP$$

Fuente: (WRI & WBCSD, 2011)

4.6.1 Estimación de GEI por la combustión.

Para el estudio se tomó en cuenta la categoría uso de combustible en aplicaciones móviles por el uso de transporte pesado y terrestre. Las emisiones de CO₂ en kg se obtiene de la multiplicación la cantidad de combustible vendido (TJ)(Combustible_α) por el factor de emisión $EF_{\alpha} \left(\frac{\text{kg}}{\text{TJ}} \right)$, α es el tipo de combustible (IPCC, 2006d). Para el estudio se estimó las emisiones provenientes del diésel y la gasolina. la ecuación de emisión de CO₂ proveniente

$$Emisión = \sum_{\alpha} \{Combustible_{\alpha} * EF_{\alpha}\}$$

Fuente: (IPCC, 2006d)

de la combustión móvil es la siguiente:

Datos para la estimación de emisiones por el tipo de combustible (tabla 6).

Tabla 6.
Densidad del diésel y la gasolina

DIÉSEL			GASOLINA		
Densidad	832	kg/m ³	Densidad	745	kg/m ³

Nota: Fuente: (BioGrace, 2011).

Estimación de CO₂-eq.

- 1) Se transformaron las unidades utilizando los valores de la tabla 7

Tabla 7.

Transformación de unidades

CANTIDAD	CONVERSIÓN
1 Galón	0,00378541 m ³
1 Gg	10 ⁶ kg

- 2) Conversión de unidad de volumen a unidad de masa.

$$\partial = \frac{m}{V} \qquad m = \partial * V$$

∂ = densidad del combustible (kg/m³)

m = masa del combustible (kg)

V = Volumen del combustible (m³)

- 3) Multiplicamos la masa del combustible por el Valor Calórico Neto (VCN)

(tabla 8) de cada combustible para obtener la cantidad de combustible en TJ.

Ecuación:

$$TJ \text{ de combustible} = VCN \text{ del combustible} * \text{masa del combustible}$$

Tabla 8.

Valores Calóricos Netos (VCN) para combustibles.

VALORES CALÓRICOS NETOS (VCN)			
TIPO DE COMBUSTIBLE	VCN TJ/Gg	Inferior	Superior
Gasolina para motores	42,3	40,1	44,8
Diésel oíl	43	41,4	43,3

Nota: Fuente: (IPCC, 2006b)

- 4) Se multiplicó los TJ de combustible por el factor de emisión (EF) por defecto para la maquinaria todo terreno (Tablas 9) y transporte terrestre (Tabla 10) de cada gas (CO₂, NO₂, CH₄) para obtener los kilogramos de emisiones.

Ecuación:

$$kg \text{ del Gas} = VCN \text{ TJ} * EF \text{ de cada gas}$$

Tabla 9.

Factores de emisión por defecto para maquinaria todo terreno

	Factores de Emisión		
	CO₂	CH₄	N₂O
Fuente todo terreno	(kg/TJ)	(kg/TJ)	(kg/TJ)
Agricultura	74 100	4,15	28,6

Nota: Fuente: (IPCC, 2006d)

Tabla 10.

Factores de Emisión para el transporte terrestre.

	Factores de Emisión		
	CO₂	NO₂	CH₄
Transporte Terrestre	(kg/TJ)	(kg/TJ)	(kg/TJ)
Motor a Gasolina	69300	8	25
Motor a Diésel	74100	3,9	3,9

Nota: Fuente: (IPCC, 2006d)

- 5) Seguido de esto se multiplica los kg del Gas por el Potencial de Calentamiento GWP (Tabla 11) para obtener los kg de CO₂ eq.

$$kg \text{ de CO}_2 \text{ eq del gas} = kg \text{ del Gas} * GWP$$

Tabla 11.
Potencial de Calentamiento Global (GWP).

Designación industrial o denominación común	Fórmula química	GWP para un horizonte temporal de 100 años
Dióxido de carbono	CO ₂	1
Metano	CH ₄	25
Óxido Nitroso	N ₂ O	298

Nota: Potencial de Calentamiento Global (GWP en gCO_{2eq}/g) para el cálculo de los diferentes Gases de Efecto Invernadero CO₂, CH₄, N₂O
Fuente: (IPCC, 2007b;BSI, 2011)

4.6.2 Estimación de GEI por emisiones directas de N₂O.

Las estimaciones directas anuales de N₂O-N (kg N₂O-N año⁻¹) generadas por los suelos gestionados se basó en la ecuación dada por el IPCC 2006 CAP. 11, las mismas que son iguales a los aportes de N a suelos gestionados (N₂O-N_{Naportes}) en kg N₂O-N año⁻¹.

Ecuación:

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

Fuente: (IPCC, 2006c)

Para determinar las emisiones directas anuales de N₂O–N producidas por aportes de N a suelos gestionados se basó en la siguiente ecuación del (IPCC, 2006c)

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

En donde F_{SN} son los kg N año⁻¹ de fertilizante sintético, F_{ON} kg N año⁻¹ proveniente de estiércol animal, compost, lodos cloacales y otros aportes de N aplicada a los suelos, F_{CR} cantidad anual de N en los residuos agrícolas en kg N año⁻¹ y se incluyen a los cultivos fijadores de N, renovación de forraje-pastura que retornan a los suelos, F_{SOM} kg N año⁻¹ de suelos mineralizados por la pérdida de carbón por el cambio de uso del suelo y EF_1 es el factor de emisión en kg N₂O–N (kg aporte de N)⁻¹ (Tabla12). (IPCC, 2006c)

Tabla 12.
FE para emisiones directas de N₂O.

Factor de emisión	Valor por defecto	Rango de incertidumbre
EF ₁ para aportes de N de fertilizantes minerales, abonos orgánicos y residuos agrícolas, y N mineralizado de suelos minerales a causa de pérdida de carbono del suelo [kg N ₂ O–N (kg N) ⁻¹]	0,01	0,003-0,03

Nota: Factores de emisión EF₁.

Fuente: Directrices del (IPCC, 2006c) Cap. 11

De acuerdo el inventario en la zona de estudio los productores no utilizan fertilizantes sintéticos por lo que la cantidad de F_{SN} sería igual a cero, asimismo el valor de F_{CR} es nulo ya que el N en los residuos agrícolas se contabiliza en el componente F_{ON} por el compost; para no realizar un cómputo doble. Al igual el valor de F_{SOM} no se toma en cuenta ya que no hay cambio de uso de la tierra por lo que para este estudio esta ecuación se resume en:

$$N_2O - N_{N \text{ aportes}} = F_{ON} * EF_1$$

La ecuación para determinar Nitrógeno orgánico aplicado como fertilizante F_{ON} es la siguiente:

$$F_{ON} = F_{AM} + F_{SEW} + F_{COMP} + F_{OOA}$$

Fuente: (IPCC, 2006c)

F_{AM} , F_{SEW} , F_{OOA} no se consideran en el estudio ya que F_{AM} es la cantidad de estiércol aplicado y ya se consideró este en el compost, F_{SEW} es el N total de barros cloacales y estos no se producen en la zona de estudio y F_{OOA} son los abonos orgánicos a base de desechos, guano etc. los mismo que no se generan en las zonas de estudio, el F_{COMP} se refiere a la cantidad de compost aplicado a los suelos (IPCC, 2006c).

En la zona de estudio solo se aplica compost a base de residuos vegetales y estiércol por lo que el F_{ON} es igual a:

$$F_{ON} = F_{COMP} * EF_1$$

Finalmente se aplicó la conversión de emisiones de N_2O-N a emisiones de N_2O mediante la siguiente ecuación.

$$kg\ N_2O = N_2O - N_{directas} * \frac{44}{28}$$

Fuente: (IPCC, 2006c)

4.6.3 Emisiones indirectas de N_2O .

El N_2O producido por la deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados ($N_2O_{(ATD)-N}$) se calculó mediante la ecuación 11.9 dada por e IPCC 2006 para el estudio esa ecuación se resume en:

$$N_2O_{(ATD)} - N = (F_{ON} * Frac_{GASM}) * EF_4$$

$Frac_{GASM}$ es la “Fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (F_{ON}) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (FPRP) que se volatiliza como NH_3 y NO . kg N volatilizado (kg de N aplicado o depositado)” (IPCC, 2006c). EF_4 es el factor de emisión el cual equivale a 0,01 [kg N- N_2O (kg NH_3-N + NO_x-N volatilizado) (IPCC, 2006c).

Conversión

$$kg\ de\ N_2O = N_2O_{(ATD)} - N_{directas} * \frac{44}{28}$$

fuentes: (IPCC, 2006c)

4.6.3.1 Transformación de kg de N_2O a kg de CO_2eq

Se transformaron el total de los kg de N_2O directas e indirectas a kg de CO_2eq multiplicando por el potencial de calentamiento global GWP del nitrógeno

$$kg\ de\ CO_2eq = kg\ de\ N_2O * 298$$

4.6.4 Emisiones indirectas por de N₂O por lixiviación y escurrimiento de N de suelos gestionados.

Para el estudio no se tomó en cuenta las emisiones indirectas N₂O provenientes por la lixiviación escurrimiento debido a que las precipitaciones (P) en la zona de estudio son menores que la evapotranspiración (EV) durante la mayor parte del año y el valor de la Frac LIXIVIACIÓN sería igual a cero caso contrario la Frac LIXIVIACIÓN sería igual 0,30 (IPCC, 2006c).

$$P < EV = \text{Frac LIXIVIACIÓN } 0$$

$$\text{Si } P > EV = \text{Frac LIXIVIACIÓN } 0,30$$

Riobamba:

$$P = 72,9 \text{ mm}$$

$$EV = 135,3 \text{ mm}$$

$$\text{Entonces: } 72,9 < 135,3 = \text{Frac LIXIVIACIÓN } 0$$

Cayambe:

$$P = 66,7 \text{ mm}$$

$$EV = 98,1 \text{ mm}$$

$$\text{Entonces: } 66,7 < 98,1 = \text{Frac LIXIVIACIÓN } 0$$

Datos proporcionados por el Instituto Nacional de Meteorología E Hidrología de las INHAMI del año 2015 de las estaciones Riobamba Politécnica y Tamalón-Tabacundo.

4.6.5 Conversión de la unidad funcional

La conversión consistió en expresar las emisiones por unidad de producto en kg de rendimiento por hectárea. Ecuación.

$$\text{Emisiones de GEI} \left(\frac{\text{kg } CO_2eq}{\text{kg de producto}} \right) = \text{emisiones de GEI} \frac{\left(\frac{\text{kg } CO_2eq}{\text{ha} * \text{año}} \right)}{\left(\frac{\text{kg de producto}}{\text{ha} * \text{año}} \right)}$$

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

4.6.6 Emisiones por la producción de Fertilizantes

De acuerdo a la cantidad total de fertilizante que ingresa al sistema de producción se estiman las emisiones de GEI de acuerdo a:

$$(\text{kg } CO_2eq/\text{ha}) = DA * FE$$

Los factores de emisión son obtenidos del listado dado por el BioGrace página que contiene las herramientas de cálculos armonizados de emisiones de gases de efecto invernadero de los biocombustibles en Europa. (Anexo 9)

DA (kg/ha)	FE (gCO ₂ eq/kg)
N _{fertilizante}	5,88
P ₂ O ₅	1,01
K ₂ O	0,57

Fuente: (BioGrace, 2011)

4.6.7 Emisiones por Agro-Input por la semilla.

$$(kgCO_2eq/ha) = DA * FE$$

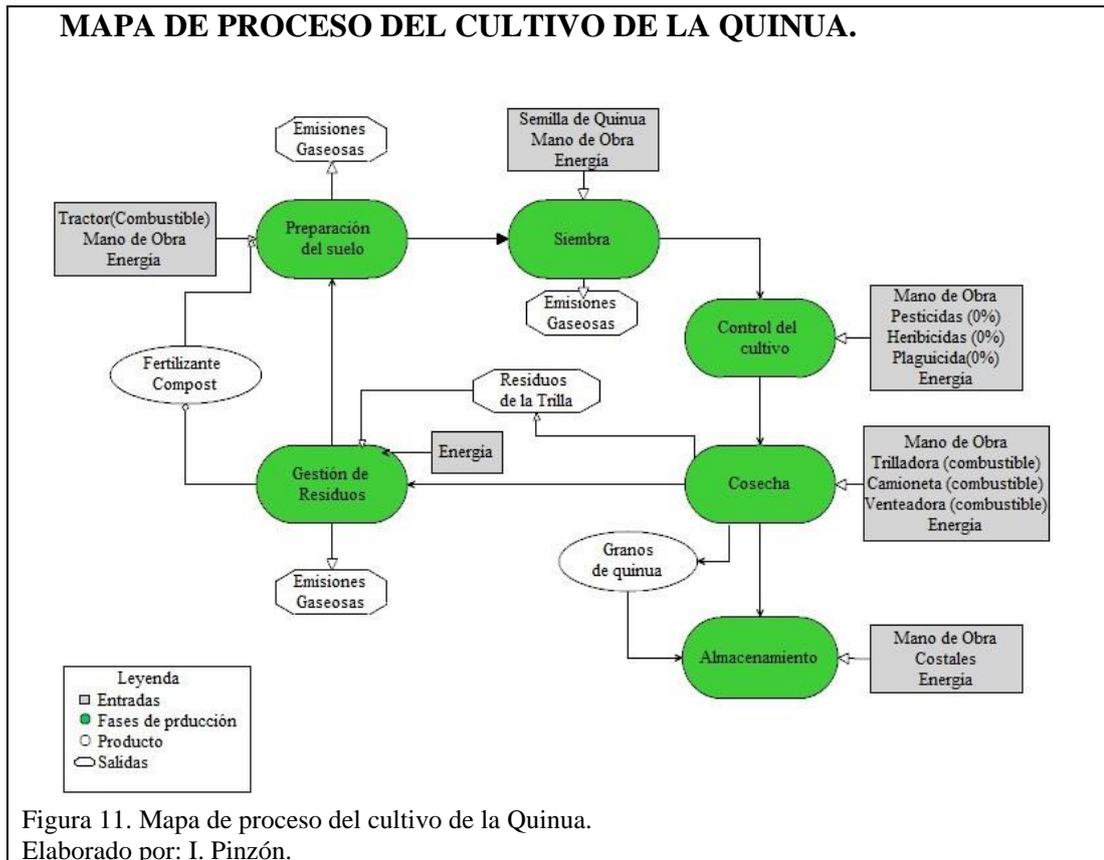
DA (kg/ha)	FE (kgCO ₂ eq/kg)
Semilla de quinua	0,28

Fuente: (BioGrace, 2011)

Nota: Se tomó el factor de emisión de la semilla del trigo, no se encontró el dato específico para la quinua ya que el cálculo de emisiones GEI provenientes de la producción de quinua no se encuentran estimadas, se tomó a la semilla de trigo ya que es un cultivo anual y el manejo agronómico es similar al de la quinua ejemplo de ello, es que estos cereales necesitan ser trillados para obtener las semillas para el consumo.

4.6.8 Diagrama de proceso

En el mapa de proceso del cultivo de la quinua Figura 11, se identificó las entradas/inputs y salidas/outputs del sistema de acuerdo al levantamiento de datos, en las dos zonas se identifica el mismo proceso, solo para la zona de Riobamba en la fase de cosecha no se utiliza venteadora ya que lo realizan de manera manual. Principalmente las entradas son de combustibles, compost, semillas, mano de obra, energía y como salidas granos de quinua cultivados, residuos de trilla, y emisiones gaseosas.



4.7 Balance de energía.

El balance de energía se realizó siguiendo la Guía de los estudios de Evaluación de Energía por los GEI por productos agrícolas de Bojacá & Schrevens, 2010 y Asgharipour, Mousavinik, & Enayat, 2016.

Los valores estándar o equivalentes energéticos de los insumos en el sistema de producción de quinua se obtuvieron de varias fuentes como se muestra en la tabla 13.

Tabla 13.
Valores Estándar $MJ_{fósil}/kg$

Inputs	Valor estándar ($MJ_{fósil}/kg$)	Valor estándar ($MJ_{fósil}/MJ$)	PCI (MJ/kg)	Fuente
Trabajo (mano de obra)	1,96 MJ/h	-	-	(Bojacá & Schrevens, 2010)
Fertilizante	48,99			
Fósforo	15,23			
Potasio	9,68			(BioGrace, 2011)
Pesticidas	268,40			
Diésel	50	1,16	43,1	
Gasolina	51,41	1,18	43,2	(CIEMAT, 2014)
Semilla	2,61			(BioGrace, 2011)
Outputs	PCI (MJ/kg)			Fuente
Granos de Quinua	18,96			(Romo, Rosero, Clara, & Ceron, 2006)
Residuos de quinua (Trilla)	18,44			(Salgado, 2016)

Nota: Para el Valor de $MJ_{fósil}/kg$ para el diésel y la gasolina se obtiene al multiplicar el valor de $PCI * Valor estándar (MJ_{fósil}/MJ)$. El valor estándar $MJ_{fósil}/kg$ de la semilla se tomó el del trigo ya que no se cuenta con el dato para la Quinua.

Elaborado por: I. Pinzón

Energía de Entrada

la energía de entrada se cuantificó multiplicando el valor estándar de energía fósil por la cantidad que ingresa.

Ecuación:

$$EE = \sum E_f * m_i$$

EE =Energía de Entrada (MJ/ha)

E_f =Energía fósil (valor estándar) $MJ_{fósil}/kg$

m_i = masa de los insumos (kg/ha)

Energía de salida.

Para el cálculo de energía salida se obtuvo mediante la sumatoria del Poder Calorífico Inferior (PCI) por la cantidad de producto que sale (granos de quinua, residuo) del sistema.

$$ES = PCI_S * m_s + PCI_r * m_r$$

Dónde:

ES	= Energía de Salida	(MJ/ha)
m_s	= Cantidad de Granos de quinua producidos	(kg/ha)
m_r	= Cantidad de residuo después de la trilla.	(kg/ha)
PCI_s	= Poder Calorífico Inferior de la semilla	(MJ/kg)
PCI_r	= Poder Calorífico Inferior del residuo	(MJ/kg)

Balance de energía.

$$BE = ES - EE$$

Dónde:

BE	= Balance de energía	(MJ/ha)
ES	= Energía de Salida	(MJ/ha)
EE	= Energía de entrada	(MJ/ha)

- Uso eficiente de energía Ef_e

$$Ef_e = \frac{ES (MJ ha^{-1})}{EE (MJ ha^{-1})}$$

- Productividad energética

$$PE1 = \frac{PO_{grano}}{EE} \quad PE2 = \frac{PO_{residuo}}{EE}$$

Dónde:

PE	=Productividad Energética	(kg/MJ)
PO	=Producto obtenido granos de quinua	(kg/ha)
PO_{grano}	= Producto obtenido residuo	(kg/ha)
EE	=Energía de Entrada	(MJ/ha)

Balance de Energía Neto

$$BEN = \frac{BE}{EE}$$

Costo energético

$$CE = \frac{EE}{ES}$$

Donde

BEN	= Balance de Energía Neto	(MJ/ha)	CE	= Coste de energético	
BE	= Balance de Energía	(MJ/ha)	EE	= Energía de Entrada	(MJ/ha)
EE	= Energía de Entrada	(MJ/ha)	ES	= Energía de Salida	(MJ/ha)

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Datos recolectados.

En la tabla 14 se muestran los datos del inventario de entradas/inputs y salidas/outputs obtenidos en la fase de campo y de laboratorio. Cayambe tiene mayor productividad con 2,03 t/ha, que el rendimiento en Riobamba con 1,66 t/ha, esto se debe a la aportación de insumos al sistema, en Cayambe se aplica 10 t/ha de compost al suelo a diferencia de Riobamba que aplica 6,6 t/ha. El uso de combustibles en Riobamba se atribuye principalmente al diésel en un 78,27 % y en Cayambe 57%. De acuerdo al inventario ninguna de las zonas de estudio se aplica fitosanitarios para el control de enfermedades o plagas. Debido a la alta producción de Cayambe se genera 2,8 t/ha de residuo después de la trilla y en Riobamba se produce 2,5 t/ha.

Tabla 14.

Datos de Entrada/Input y Salida/Output de Cayambe y Riobamba.

DESCRIPCIÓN		CANTIDAD		UNIDAD
		RIOBAMBA	CAYAMBE	
Inputs				
Trabajo (Mano de Obra)	Personas	528,00	493,00	Personas*Horas/ha
Fertilizantes	compost	6,6	10	t/ha
Orgánicos (compost)	Nitrógeno	9,90	15,00	kg/ha
	Fosforo	3,30	4,50	kg/ha
	Potasio	2,97	5,00	kg/ha
Combustible	Diésel	68,62	48,59	kg/ha
	Gasolina	19,05	36,47	kg/ha
Semillas	-	15,00	15,5	kg/ha
Fitosanitarios	Pesticidas	0	0	kg/ha
Outputs				
Granos de quinua		1660,61	2033,90	kg/ha
Residuos de trilla		2542,40	2800	kg/ha

Nota: Elaborado por: I. Pinzón.

5.1.1 Selección de las parcelas.

De acuerdo a la prueba de manipulación en campo para determinar la textura, los suelos presentan una clase textural arcillosa en primera instancia. En la tabla 15 se describen las características en cuanto el color del suelo, el manejo agronómico orgánico semi-mecanizado, en las dos zonas de estudio utilizan la variedad de semilla Tunkahuan, lo que permite seleccionar las parcelas para el estudio

Tabla 15.

Características de las parcelas de Cayambe y Riobamba.

	Cayambe	Riobamba
Color del suelo	Negro	Negro
Pendiente	Ligera 2-5%	1-2 %
Textura del suelo en campo	Arcilla	Arcilla
Manejo Agronómico	Orgánico Semi-mecanizado	Orgánico Semi-mecanizado
Variedad de la Semilla	Tunkahuan	Tunkahuan

Nota: Descripción de las características de las parcelas de estudio color del suelo, pendiente, textura del suelo, tipo de manejo y variedad de la Semilla.

Elaborado por: I. Pinzón

5.1.2 Unidad funcional.

En Cayambe se trabajó con 4 parcelas con un total 0,59 ha. Las cuales se les identificó como como C1, C2, C3, C4 y en Riobamba con 2 parcelas con un área de 0.26 ha denominadas R1 y R2 como se muestran en la tabla 16.

Tabla 16.

Área de las parcelas de estudio en Cayambe y Riobamba.

	CAYAMBE					RIOBAMBA		
ÁREA (ha)	C1	C2	C3	C4	TOTAL (ha)	R1	R2	TOTAL (ha)
	0,25	0,23	0,07	0,04	0,59	0,19	0,07	0,26

Nota: Elaborado por: I. Pinzón.

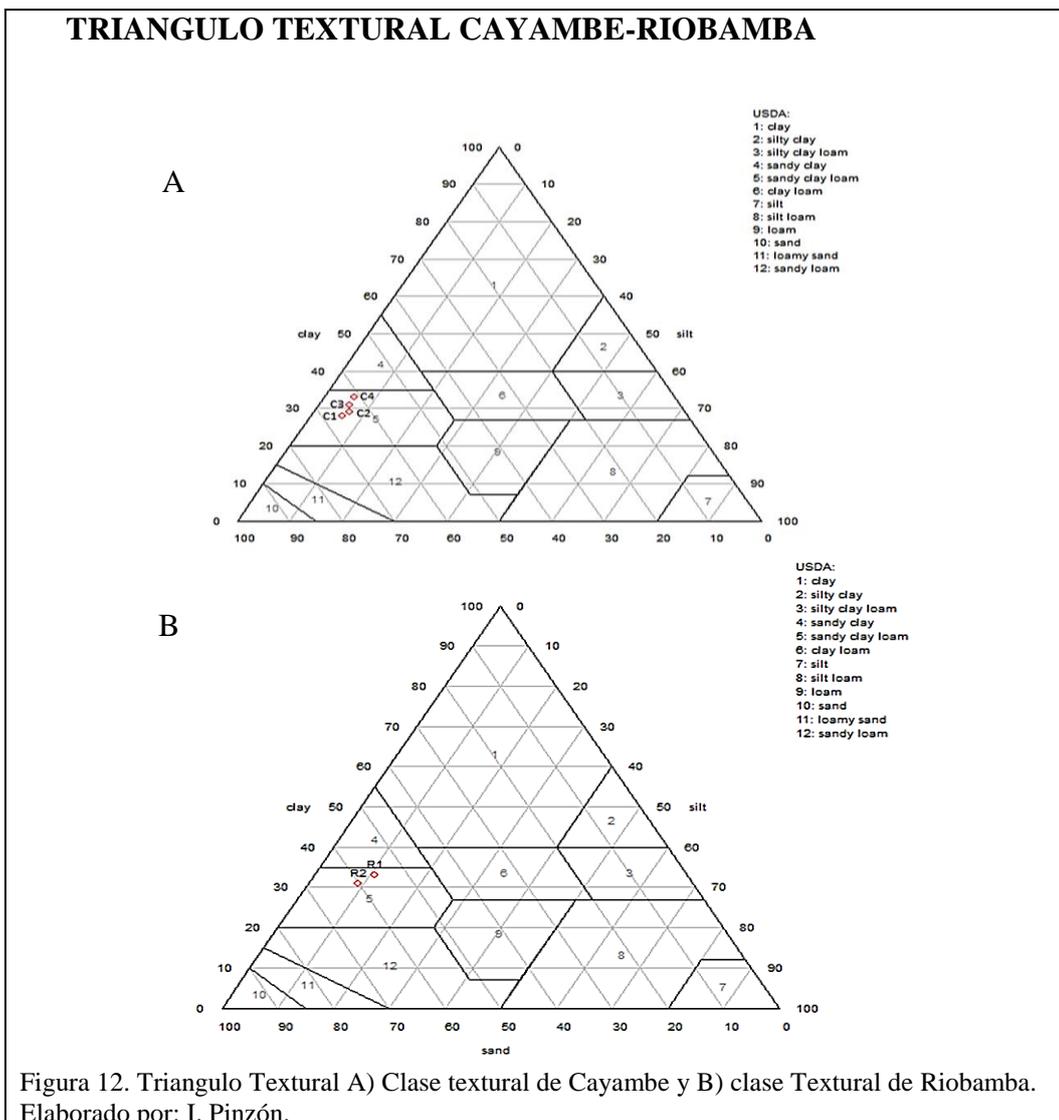
Todos los datos se extrapolaron a 1 ha a excepción de los datos que proporcionaron los productores para 1ha.

5.1.3 Resultados de parámetros Físico-Químicos.

Los parámetros Físico-químicos que se analizaron en el laboratorio son la textura, Carbón orgánico del suelo (COS), Materia Orgánica (MO), Nitrógeno total (N_{total}) cuyos resultados se presentan a continuación.

5.1.3.1 Clase textural

De acuerdo a los porcentajes de arena, arcilla y limo de los suelos muestreados (Anexo 10), presentan una clase textural franco arcilloso arenoso, considerándolos suelos francos con textura moderadamente fina según la clasificación USDA obtenida por el triángulo textural como se muestra en la figura 12.



5.1.3.2 Carbón Orgánico y Materia Orgánica.

En la tabla 17 se muestra los porcentajes de Carbón Orgánico y Materia Orgánica encontrada en los suelos de Cayambe en un rango de 1,68 -2,80 % de Carbón Orgánico y 2,19 a 3,64 % de MO y en Riobamba con 1,86-2,26 % de Carbón Orgánico y 2,42 a 2,94 % de MO. De acuerdo a las observaciones en campo, en la fase de la cosecha no se extrae desde la raíz la quinua ya que se corta a unos 20 cm aproximadamente, por lo que se determina el contenido de Carbón Orgánico en las raíces encontrando para Cayambe y Riobamba 11,32 de MO y 17,77 de MO respectivamente.

Tabla 17.

Contenido de Carbono y Materia orgánica en las parcelas Cayambe y Riobamba.

	Carbón Orgánico (mg/g)	% Carbón Orgánico COS	% Materia orgánica MO
C1	28,00	2,80	3,64
C2	22,74	2,27	2,96
C3	16,85	1,68	2,19
C4	25,64	2,56	3,33
C-RAÍZ	87,10	8,71	11,32
R1	18,59	1,86	2,42
R2	22,59	1,76	2,94
R-RAÍZ	136,65	14,49	17,77

Nota: Elaborado por: I. Pinzón.

5.1.3.3 Nitrógeno total.

El Nitrógeno Total fue determinado para los suelos y los fertilizantes donde las dos zonas de estudio contienen 15 kg N/ha, solo la parcela C2 reporto un contenido de 14,10 kg N/ha en el suelo como se encuentra en la tabla 18.

Tabla 18.

Contenido de N Total de los Fertilizantes y del Suelo de las parcelas.

TIPO DE MUESTRA	CAYAMBE N_{Total}		RIOBAMBA N_{Total}		
Suelo	C1	1500	R1	1285,2	
	C2	1410			
	C3	1500	mg/kg	R2	1438,5
	C4	1500			mg/kg

Nota: Elaborado por: I. Pinzón.

Nitrógeno Total/ha

En la tabla 19 se muestra el contenido de Nitrógeno total por hectárea que se incorpora a los suelos de Cayambe y Riobamba.

Tabla 19.

Contenido de Nitrógeno Total kg N/ha

TIPO DE MUESTRA	CAYAMBE		RIOBAMBA	
Fertilizante (Compost)	10	t/ha	6,6	t/ha
N TOTAL	1500	mg/kg	1500	mg/kg
	15	kg N / ha	9,9	kg N / ha

Nota: Elaborado por: I. Pinzón

5.1.4 Resultado de las estimaciones de GEI.

5.1.4.1 Uso de combustibles

En la figura 13 se detalla las emisiones de GEI por el uso de combustible en la maquinaria, transporte terrestre y todo terreno. Se reporta que el tractor que se utiliza para la fase de preparación del suelo en el arado, contribuye con 172,86 kgCO₂eq/ha en Cayambe y 216,073 kgCO₂eq/ha en Riobamba, seguido por el uso de la camioneta que transporta la trilladora y las panojas hasta la zona de trillado emitiendo 87,42 kgCO₂eq/ha en Cayambe y 58,28 kgCO₂eq/ha en Riobamba. Las emisiones por parte de la trilladora y la venteadora los valores que se reportan son bajos relacionados con las otras fuentes de combustibles. En Riobamba no se reporta emisiones por parte de la venteadora debido al que el venteo para eliminar las impurezas lo realizan de manera manual y no cuentan con una venteadora. Reportándose finalmente que en Cayambe y Riobamba se emiten 284,40 kg de CO₂eq/ha y 302,364 kg de CO₂eq/ha respectivamente por el uso de combustibles. Resultados ver Anexo 12.

EMISIONES POR FUENTES POR EL USO DE COMBUSTIBLES EN CAYAMBE Y RIOBAMBA

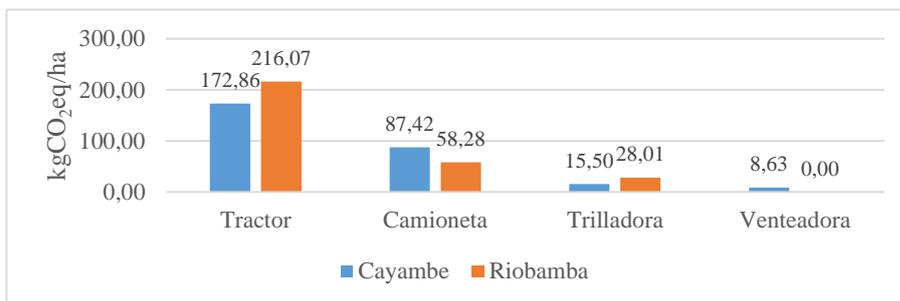


Figura 13. Emisiones por fuente de emisión por el uso de combustibles en Cayambe y Riobamba kg de CO₂/ha.
Elaborado por: I. Pinzón

5.1.4.2 Emisiones directas e indirectas de N₂O.

En la figura 14 se indican las emisiones directas e indirectas de N₂O, las emisiones directas provenientes de un suelo gestionado por la aplicación de N en forma de fertilizante orgánico en Cayambe son de 70,24 kgCO₂eq/ha, para Riobamba las emisiones son más bajas con 46,36 kgCO₂eq/ha, esto se debe a la cantidad de compost que se emplea a los suelos. Ver cálculo en el anexo 13.

Las emisiones indirectas de N₂O por la deposición atmosférica de N volatilizado de los suelos gestionados en Cayambe y Riobamba son 14,05 y 9,27 kgCO₂eq/ha respectivamente. Ver cálculo en el anexo 13

EMISIONES DIRECTAS E INDIRECTAS DE N₂O

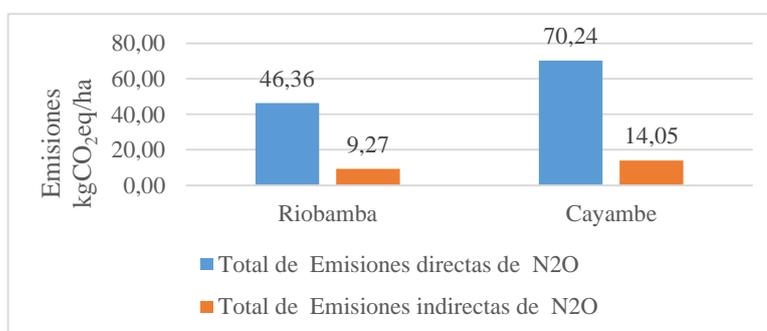
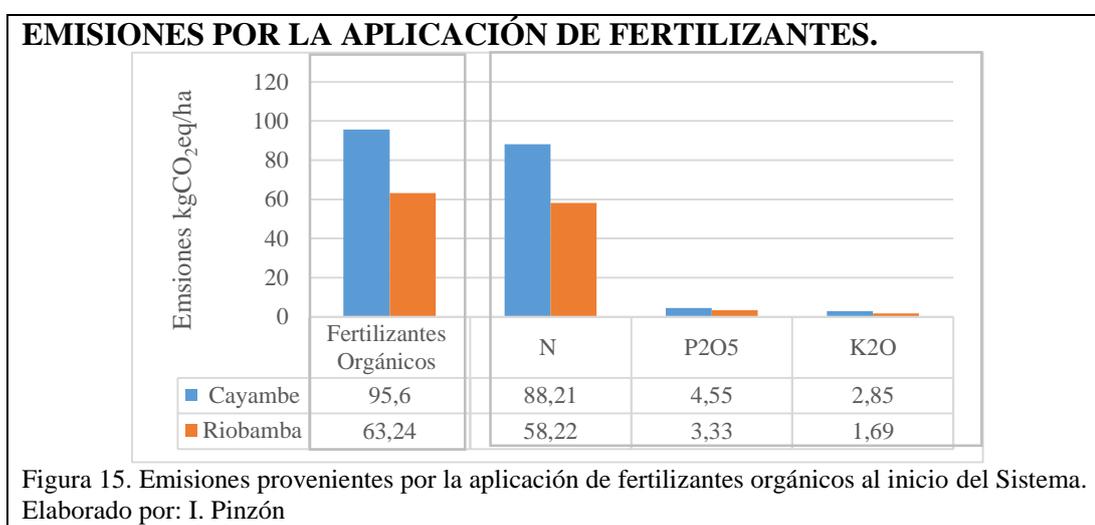


Figura 14. Emisiones Directas e Indirectas de N₂O por la acción biológica
Elaborado por: I. Pinzón

5.1.4.3 Emisiones por la producción de Fertilizantes

En la figura 15, se evidencia las emisiones por la aplicación de fertilizantes al suelo emitiéndose 95,60 kgCO₂eq/ha en Cayambe y 63,24 kgCO₂eq/ha en Riobamba, atribuido principalmente al contenido de Nitrógeno con un 91% y 92 % en Cayambe y Riobamba respectivamente. Los valores de N, P₂O₅ y K₂O son las proporciones que se encuentran en el fertilizante orgánico.



5.1.4.4 Emisiones por el uso de la semilla de quinua.

Se estimó en Cayambe y Riobamba las emisiones de GEI por parte de la semilla que ingresa al sistema emitiéndose 4,20 y 4,31 kgCO₂eq/ha respectivamente como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20.

Emisiones por empleo de semilla quinua en la siembra en Cayambe y Riobamba.

Agro-ENTRADAS- INPUTS		(kgCO ₂ eq/ha)
CAYAMBE	SEMILLA	4,20
RIOBAMBA	SEMILLA	4,31

Elaborado por: I. Pinzón

5.1.5 Estimación de la Huella de Carbono por la producción de quinua.

La Huella de Carbono en Cayambe y Riobamba estimadas fueron 468,54 kgCO₂eq/ha y 425,38 kgCO₂eq/ha respectivamente (tabla 21). Los combustibles contribuyen con 71% de las emisiones de GEI en Riobamba y el 60 % en Cayambe principalmente por el diésel. Seguido del uso y producción de Fertilizantes Orgánicos aplicados al suelo con un 28% en Riobamba y 38 % en Cayambe (Figura 16).

Tabla 21.
Huella de Carbono en Cayambe y Riobamba

Entradas INPUT	RIOBAMBA			CAYAMBE		
	kgCO ₂ eq/ha	APORTACIONES DE GEI	Emisiones (g CO ₂ eq/kg de producto)	kgCO ₂ eq/ha	APORTACIONES DE GEI	Emisiones (g CO ₂ eq/kg de producto)
Combustibles	302,36	71,08%	182,08	284,40	60,70%	139,83
Semillas de quinua	4,14	0,97%	2,49	4,24	0,91%	2,09
GEI fertilizantes (producción)	63,24	14,87%	38,08	95,60	20,40%	47,01
GEI fertilizantes (uso)	55,63	13,08%	33,50	84,29	17,99%	41,44
TOTAL, DE EMISIONES DE GEI	425,38	100,00%	256,16	468,56	100,00%	230,38

Elaborado por: I. Pinzón

EMISIONES DE GEI POR LA PRODUCCIÓN DE QUINUA POR FUENTE DE EMISIÓN.

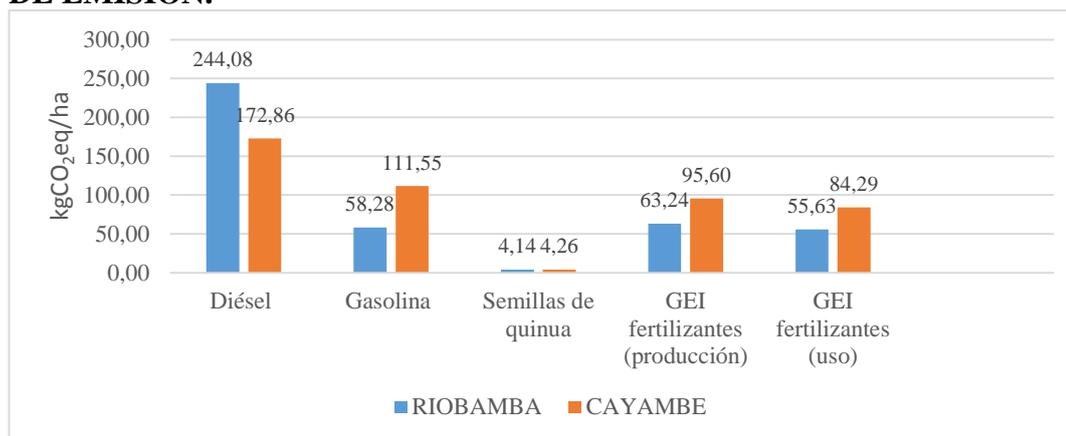


Figura 16. Emisiones GEI por fuente de emisión en la producción de quinua en Cayambe y Riobamba.

Elaborado por: I. Pinzón

5.2 Balance de energía

En la figura 17 se muestran las contribuciones de los diferentes insumos energéticos al sistema productivo de la quinua. Los combustibles son los que contribuyen principalmente con 65,12% y 47,63 por el uso de diésel en Riobamba y Cayambe respectivamente, seguido de la gasolina con 18,59 % y 30,89 %. En la figura 18 se muestra la energía de salida atribuida a los granos de quinua producidos y al rastrojo de quinua en la cual se reporta para Riobamba 31479,99 MJ/ha y 38556,34 MJ/ha en Cayambe.

ENERGÍA DE SALIDA.

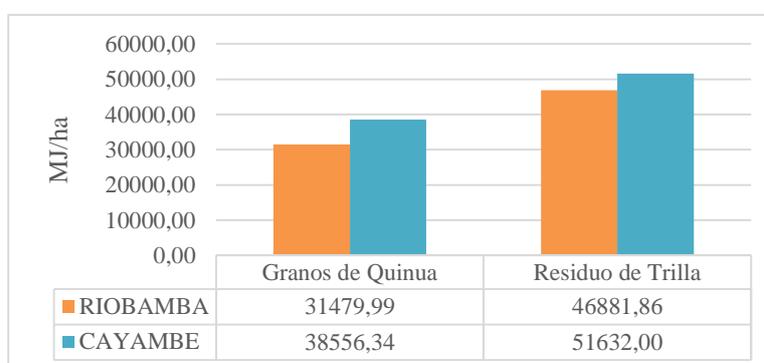


Figura 17. Energía de Salida (Granos-Residuo de la trilla)

Elaborado por: I. Pinzón

APORTES DE LA ENERGÍA DE ENTRADA.

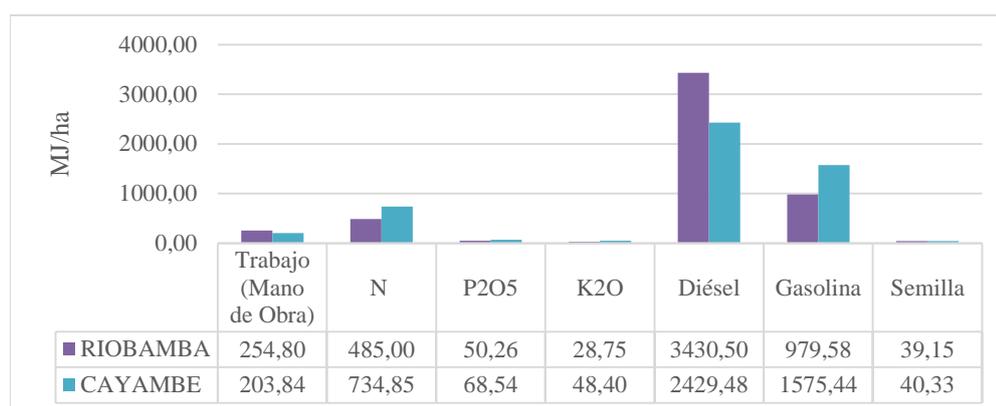


Figura 18. Contribución de Energía por insumos en Cayambe y Riobamba
Elaborado por: I. Pinzón

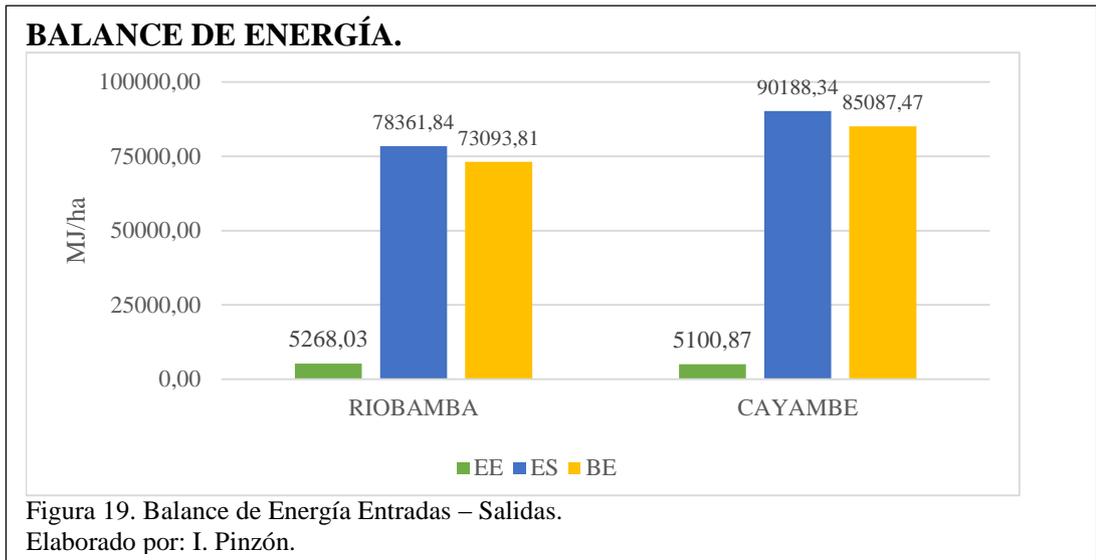
En la tabla 22 se muestran los resultados del uso eficiente de energía, productividad energética, balance de energía neto de la producción de quinua en Cayambe y Riobamba. En la figura 19 se muestra que el balance de energía por la producción de quinua es positivo es decir la producción energética del sistema es mayor que el aporte energético siendo un sistema eficiente de energía.

Tabla 22.

Relación de Energía Entrada-Salida por la producción quinua.

ITEMS	RIOBAMBA	CAYAMBE	UNIDAD
	CANTIDAD		
Uso eficiente de energía	14,87	17,68	-
E_f			
Productividad energética (granos)	5,98	7,56	kg/MJ
Productividad energética (residuo)	8,90	10,12	kg/MJ
Balance de energía Neto	13,87	16,68	MJ/ha
Costo energético	0,07	0,06	-

Nota: Elaborado por: I. Pinzón



5.3 Discusión

Los factores edáficos como textura y materia orgánica determinaron que los suelos de Cayambe y Riobamba, representan un depósito de Carbono que contribuyen a la absorción de CO₂ de la atmosfera; propiedad que se encontró en el contenido de MO. En Cayambe los suelos contiene entre 2,19 a 3,64 % de MO, y en Riobamba entre 2,42 a 2,94 % de MO, según el análisis de suelos dado por Rioja 2002 (Anexo 14), estos rangos corresponden a un nivel normal a muy alto contenido de MO; determinando un secuestro de carbono efectivo, según el estudio Mogollon, Rivas, Martinez, Campos, & Marquez (2015), el suelo es considerado un reservorio importante del carbono a escala global. La investigación de Carvajal (2010), determinó que los suelos tienen la capacidad de almacenar Carbón por el material vegetal acumulado en descomposición y que existe pérdida de carbono cuando se retira del cultivo o se quema, en el caso de la quinua esto concuerda, ya que el manejo agronómico que le dan a los suelos, es la incorporación de la biomasa y no se quema el material vegetal.

La Huella de Carbono que se estimó en Cayambe fue de 458,56 kgCO₂eq/ha y en Riobamba se estima una HC de 425,38 kgCO₂eq/ha, de acuerdo al estudio realizado

por Altuna et al., (2012), donde se estiman la HC en cereales como el trigo , la cebada y el maíz, reportan 380,87, 297,75 y 514,76 gCO₂eq/kg de producto respectivamente, comparando con la HC de la quinua, se evidencia valores más bajos de emisiones entre 44 % a 50 % que los otros cereales, con una HC de 230,38 g CO₂eq por cada kg de quinua producido en Cayambe y 256,16 g CO₂eq/kg de quinua en Riobamba, es importante destacar que las emisiones en Cayambe por producto, son menores que las que se emiten por hectárea, esto se debe al rendimiento en el 2016 con 2,03 t/ha de quinua a diferencia de Riobamba con 1,66 t/ha.

En el caso de estudio de Altuna et al. Las fuentes que contribuyen principalmente a las emisiones de GEI, son los Óxidos Nitrosos emitidos a la atmosfera por el uso de fertilizantes inorgánicos en un 80 % seguido por el uso de combustibles, a diferencia del caso de producción de quinua, donde la mayor contribución se debe al uso de combustibles, aportando entre 61-71% de las emisiones, seguido de las aportaciones por la fertilización orgánica que representan el 28-40%. Otros de los insumos que aporta a las emisiones en el caso de estudio de los cereales del trigo, cebada y el maíz, es el suministro de fitosanitarios, aportando entre 1 a 2,03 gCO₂eq/kg, caso contrario para la quinua no existe aportaciones de emisiones por fitosanitarios.

El consumo total de energía fósil por la producción de quinua en Riobamba fue de 5268,03 MJ/ha y 5100,87 MJ/ha en Cayambe. El mayor consumo de energía fósil está relacionado con el uso de combustibles y fertilizantes, el diésel contribuye principalmente con 65,12% y 47,63 % en Riobamba y Cayambe respectivamente y 18,6 y 30,89 % por la gasolina, la parte más baja del consumo de energía pertenece a la mano de obra y a la semilla. Asimismo, un estudio realizado por Moghimi, Pooya, & Mohammadi (2014), reporta que el consumo total de energía por la producción de

trigo fue de 42.998,44 MJ/ha donde el mayor consumo de energía está asociado con la electricidad y fertilizantes químicos. La parte más baja del consumo de energía pertenecía al trabajo humano y al biocida aplicado, comparado con la producción de quinua reporta menor consumo energético y no existe aporte de energía por parte de la aplicación de fitosanitarios.

El balance energético de la producción de quinua, mostró una eficiencia positiva atribuido a la energía de salida con 78361,84 y 90188,34 MJ/ha en Cayambe y Riobamba respectivamente; energía proveniente de los granos de quinua y rastrojo.

La productividad energética de la quinua fue de 5,98 kg/MJ en Riobamba y 7,56 kg/MJ en Cayambe, comparada con la productividad energética del trigo con 0,17 kg/MJ, la quinua tiene buena productividad energética. La eficiencia energética y la energía neta en el caso de estudio de la producción de trigo fueron 2,27, y 54937,19 MJ/ha, respectivamente, en el caso de la quinua se reporta en Riobamba 14,87 de eficiencia energética y en Cayambe 17,68 de eficiencia, la energía neta en Riobamba es de 73093,81 MJ/ha y 85087 MJ/ha en Cayambe; mostrándose un mejor balance energético obtenido en la producción de quinua.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base al inventario de entradas y salidas se estimó la Huella de Carbono en los cultivos de Quinoa de los cantones de Cayambe y Riobamba y se reporta que las emisiones significativas se presentan en las fases de preparación del suelo y la cosecha, atribuido al uso combustible por parte de la maquinaria, transporte todo terreno y terrestre. Otra de las fuentes que emite considerables cantidades de emisiones de GEI son los fertilizantes orgánicos con emisiones directas e indirectas de N₂O encontrándose así una Huella de Carbono de 458,56 kgCO₂eq/ha. en Cayambe y de 425,38 kgCO₂eq/ha en Riobamba estimación que se obtuvo por los datos de actividad y factores de emisión correspondiente.

Es importante considerar que los agricultores imparten un manejo agronómico orgánico, por lo que, los suelos no presentan erosión y contienen un alto contenido de materia orgánica, considerándolo un depósito de carbono efectivo para la absorción de CO₂ de la atmosfera y con esto estarían neutralizando la Huella estimada.

La Huella de Carbono como indicador de impacto ambiental no solo ayuda a la estimación de GEI sino a crear medidas de reducción de GEI ya que la HC identifica las principales fuentes que contribuyen con las emisiones GEI, en nuestro estudio entre el 60,70 y el 71,08 % de las emisiones son provenientes por el uso de combustibles como el diésel y gasolina, por lo que este estudio recomienda la utilización de biocombustibles a base de biomasa los cuales son considerados como una fuente de energía renovable, en la fase de la trilla se genera aproximadamente 3 t/ha de residuo agrícola, el mismo que contiene un poder calorífico inferior 18,44 (MJ/kg), la quinoa tiene 66,33 % de carbohidratos y puede ser utilizado como insumo para la producción de biocombustible o a su vez cambiar el uso de

combustibles fósiles por los biocombustibles que se producen en el país como gasolina ecopaís, por otro lado, Chimborazo es una de las provincias con mayor producción de Biodiesel el cual puede usarse en las maquinarias como trilladora, venteadora e inclusive en el tractor utilizado por el arado en la preparación del suelo y con esto reducir la Huella de Carbono generada por la producción de quinua en la fase agrícola.

Este tipo de investigación servirá como base para futuras investigaciones de estimación de GEI provenientes de la producción de quinua que no se consideraron en el alcance de este estudio, como las fases de industrialización y comercio, por lo que se podría presentar la huella por unidad de producto y así ayudar a optimizar las cadenas de valor en el sector agroalimentario con sentido productivo y sostenible. Utilizando las herramientas de ACV y Huella de Carbono se podría lograr las certificaciones con ecoetiquetas ligada a la certificación orgánica que actualmente ya contiene los productos a base quinua, Ecuador exporta quinua en un 55 % a Estados Unidos y 30% a Alemania el 5% Reino Unido y Francia, países donde existen políticas Ambientales que exigen eco-etiquetas de los productos, con esto se ayudaría a aumentar el comercio de la quinua en Ecuador.

7 REFERENCIAS

- Almendros, C. (2004). Investigaciones básicas sobre el origen y la estructura molecular de las formas estables de materia orgánica relacionadas con el proceso de secuestro de carbono en los suelos. *Edafologia*, 11(2), 229-248.
- Altuna, A., Intia, L., Hierro, O., Unamunzaga, O., Neiker, B., & Ucan, F. D. (2012). Huella de carbono de los cereales análisis de la emisión de gases de efecto invernadero en el sector agroalimentario (pp. 31-38). Navarra Agraria.
- Asgharipour, M. R., Mousavinik, S. M., & Enayat, F. F. (2016). Evaluation of energy input and greenhouse gases emissions from alfalfa production in the Sistan region, Iran. *Energy Reports*, 2, 135-140. <http://doi.org/10.1016/j.egy.2016.05.007>
- BioGrace. (2011). BioGrace complete list of standard values version Public. Recuperado a partir de <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>
- Bojacá, C. R., & Schrevens, E. (2010). Energy assessment of peri-urban horticulture and its uncertainty: Case study for Bogota, Colombia. *Energy*, 35(5), 2109-2118. <http://doi.org/10.1016/j.energy.2010.01.029>
- BSI. (2011). *Publicly Available Specification PAS 2050: 2011 Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. System*. <http://doi.org/978 0 580 71382 8>
- Carbon Trust. (2012). *Carbon footprinting The next step to reducing your emissions. Concrete (London)* (Vol. 44). Reino Unido. <http://doi.org/10.1007/s11367-009-0064-x>
- Carvajal, M. (2010). Absorción de CO₂ por los cultivos más representativos. *Consejo superior de Investigaciones Científicas*, 1, 43.
- Centro de Comercio Internacional [ITC]. (2012). *NORMAS DE LA HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS*. Ginebra.
- CIEMAT. (2014). Manual de usuario de la herramienta de cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero de biocarburantes CALCUGEI, 1-60.
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2012). Huella del carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *Informacion Tecnologica*, 23(1), 163-176. <http://doi.org/10.4067/S0718-07642012000100017>
- FAO. (2008). *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis*. Roma.
- FAO. (2011). Textura Del Suelo. Recuperado a partir de ftp://ftp.fao.org/fi/cdrom/fao_training/fao_training/general/x6706s/x6706s06.htm
- FAO. (2013a). AÑO INTERNACIONAL DE LA QUINUA 2013. Recuperado a partir de <http://www.fao.org/quinoa-2013/iyq/es/>
- FAO. (2013b). VALOR NUTRICIONAL- Año Internacional de la Quinua 2013 un futuro sembrado hace miles de años. Recuperado a partir de

<http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/nutritional-value/es/>

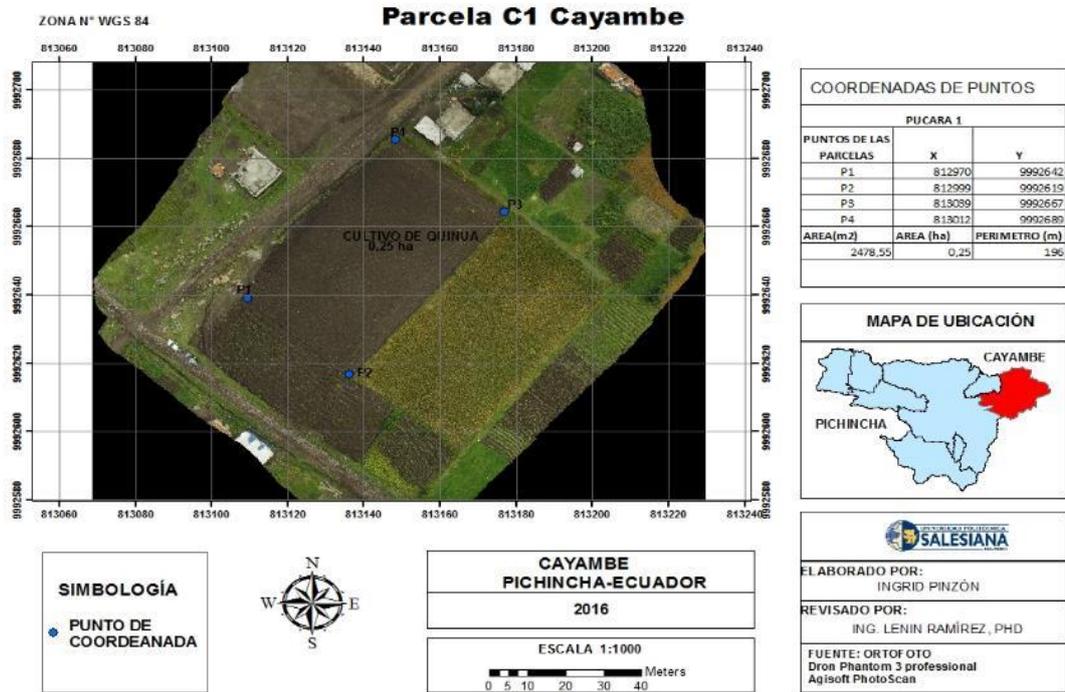
- FAO, & ALADI. (2014). *Tendencias y perspectivas del comercio internacional de quinua*. Santiago. a Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura en colaboración con la Asociación Latinoamericana de Integración Las. [http://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58001-1](http://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58001-1)
- FAO, & Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Perú.
- Fernández, L., Rojas, N., Roldán, T., Ramírez, M., Zegarra, H., Uribe Hernández, R., ... Arce Ortega, J. M. (2006). *Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados*. Instituto Mexicano del Petróleo Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Instituto Nacional de Ecología. México. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Gómez, L., Enrique, P., Castellanos, A., Pando, L. G., Aguilar, E., Edición, C., & De, C. (2016). *Guía de cultivo de la quinua*. Lima, Perú: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Ihobe S.A. (2009). *Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono. Dos maneras de medir el Impacto Ambiental de un producto*. (IHOBE S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental., Ed.), *Ihobe*. Vasco.
- Ihobe S.A. (2012). *GUÍA METODOLÓGICA para la aplicación de la norma UNE-ISO 14064-1:2006 para el desarrollo de inventarios de Gases de Efecto Invernadero en organizaciones*. (Ihobe Sociedad Pública de Gestión Ambiental, Ed.). Vasco.
- INEGI. (2006). *Inventario Nacional de gases de Efecto Invernadero 1990-2002*. Ine (Vol. 2002).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2015). *Indice de publicacion ESPAC 2015*. Quito, Ecuador: INEC.
- IPCC. (2006a). Capítulo 1: Introducción. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe (Eds.), *Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra*. (pp. 1-25). Japón: IGES.
- IPCC. (2006b). Capítulo 1: Introducción. En *Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 2. Energía* (pp. 1-30). Japón: IGES.
- IPCC. (2006c). Capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe (Eds.), *Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra*. (pp. 1-56). Japón: IGES.
- IPCC. (2006d). Capítulo 3: Combustión Móvil. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe (Eds.), *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 2. Energía* (pp. 1-78). Japón: IGES.

- IPCC. (2006e). Capítulo 3. Representación coherente de las tierras. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe (Eds.), *Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra*. (pp. 1-46). Japón: IGES.
- IPCC. (2006f). Capítulo 5: Tierras de Cultivo. En S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, & K. Tanabe (Eds.), *Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra*. (pp. 1-74). Japón: IGES.
- IPCC. (2007a). *Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Nature (Vol. 446). Ginebra, Suiza. <http://doi.org/10.1038/446727a>
- IPCC. (2007b). Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis- 2.10.2 Direct Global Warming Potentials - AR4 WGI Chapter 2: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. Recuperado 13 de diciembre de 2016, a partir de https://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/ch2s2-10-2.html
- Loayza, V. (2012). *Fraccionamiento Químico del Carbono Orgánico en Suelos no Carbonatados de la Alpujarra Granadina*. Universitas Granatensis.
- MAE. (2016). *Primer Informe Bienal de Actualización del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Quito, Ecuador.
- Mina, D. (2014). *EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE LÍNEAS F 5 DE QUINUA (Chenopodium quinoa Willd.), EN DOS LOCALIDADES DE LA SERRANÍA*. UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS.
- Moghimi, M., Pooya, M., & Mohammadi, A. (2014). Study on energy balance , energy forms and greenhouse gas emission for wheat production in Gorge city , Kordestan province of Iran Pelagia Research Library Pelagia Research Library, 4(3), 234-239.
- Mogollon, J., Rivas, W., Martinez, A., Campos, Y., & Marquez, E. (2015). Carbono orgánico del suelo en un gradiente altitudinal en la Península de Paraguaná, Venezuela, 15.
- Monteros, A. (2016). *Rendimientos de Quinua en el Ecuador 2016 (octubre 2015 - agosto 2016)*. Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información Coordinación General del Sistema de Información Nacional Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Quito, Ecuador.
- Naciones Unidas. (1992). *Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el ...* (Vol. 62301).
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. *Protocolo de Kyoto*, 61702, 20.
- Peralta, E. (2009). La Quinua en Ecuador «Estado del Arte», (1965), 1-23.
- Peralta, E., Mazón, N., Murillo, Á., Rivera, M., Rodríguez, D., Lomas, L., & Monar,

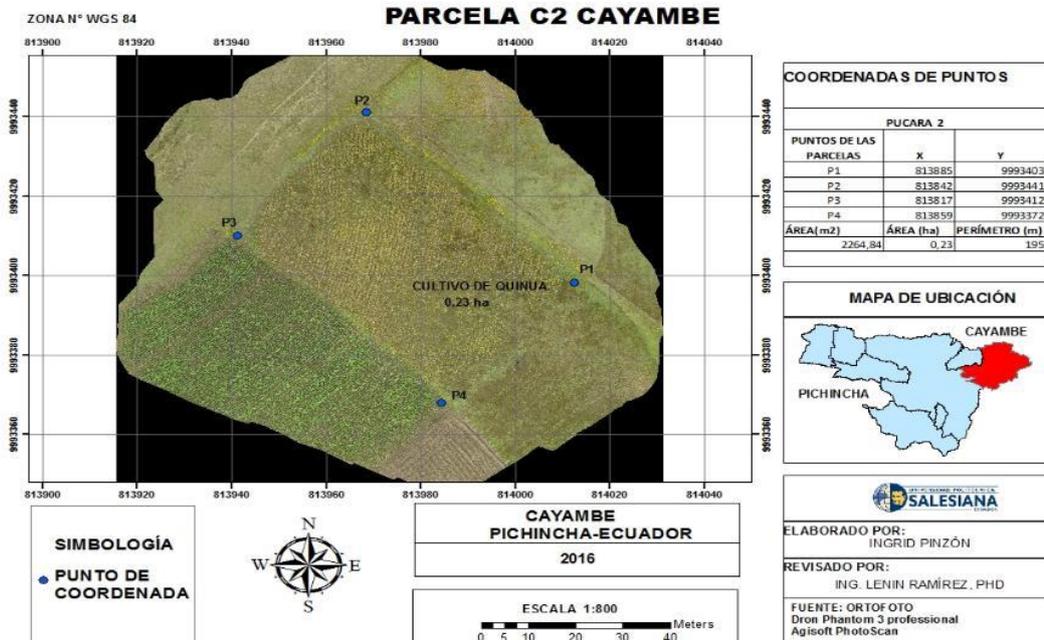
- C. (2012). Manual Agrícola de Granos Andinos: Chocho, Quinoa, Amaranto y Ataco. Cultivos, variedades y costos de producción. *Miscelánea*, 69(69), 68p.
- PRO ECUADOR. (2013). Guía de Certificaciones Internacionales.
- PRO ECUADOR. (2015). *Análisis Sectorial Quinoa 2015*. Quito, Ecuador.
- PROINPA. (2011). *La quinoa: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial*. FAO. Bolivia.
- Quiroga, C., Escalera, R., Aroni, G., Bonifacio, A., Gonzáles, J. A., Villca, M., ... Ruiz, A. (2014). Cap 3.1. Procesos Tradicionales e Innovaciones Tecnológicas en la Cosecha, Beneficiado e Industrialización de la Quinoa. En *Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013* (pp. 258-296). FAO(Santiago de Chile) y CIRAD(Montpellier).
- Radojevic, M., & Bashkin, V. (2006). *Practical Environmental Analysis* (2da ed.). Cambridge Royal Society of Chemistry.
- Rioja, A. (2002). *Apuntes de Fitotecnia General E.U.I.T.A*. Ciudad Real, España.
- Romo, S., Rosero, A., Clara, F., & Ceron, E. (2006). Potencial nutricional de harinas de quinoa (*Chenopodium quinoa*) variedad piartal en los andes colombianos primera parte. *Bioteología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 4(2), 112-125.
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L., & Porro, R. (2008). *Guía para la Determinación de Carbono en Pequeñas Propiedades Rurales*. Consorcio Iniciativa Amazónica (IA) y Centro Mundial Agroforestal (ICRAF). <http://doi.org/ISBN: 978-92-9059-254-9>
- Salgado, M. A. H. (2016). Política energética sobre subsidios al diésel y GLP en la agroindustria: análisis termoeconómico de un sistema de valorización de biomasa residual de quinoa . *investigación agroeconomica*, 1-13.
- Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2006). *Metodología de la Investigación*. (M. G. Hill, Ed.) (4.^a ed.). México.
- Valderrama, J., Espíndola, C., & Quezada, R. (2011). Huella de Carbono, un Concepto que no puede estar Ausente en Cursos de Ingeniería y Ciencias. *Formación universitaria*, 4(3), 3-12. <http://doi.org/10.4067/S0718-50062011000300002>
- WRI & WBCSD. (2011). *Greenhouse Gas Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard*. World Resources Institute, Washington DC, USA. Greenhouse Gas Protocol.
- Zurita, A., Jacobsen, S., Razzaghi, F., Alvarez, R., Ruiz, K., Morales, A., & Silva, H. (2014). Respuestas a la sequía y adaptación de la Quinoa. En *Estado del arte de la quinoa en el mundo en 2013* (pp. 185-202). FAO(Santiago de Chile) y CIRAD Montpellier: FAO.

8 ANEXOS

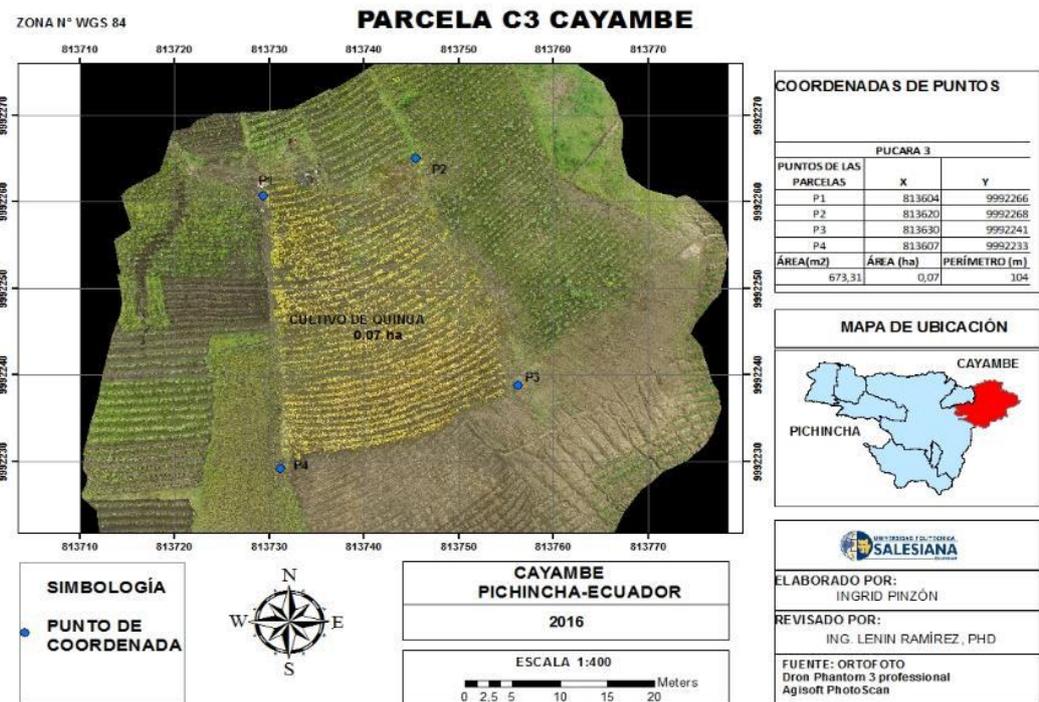
Anexo 1. Mapa de Ubicación de la Parcela C1 Cayambe



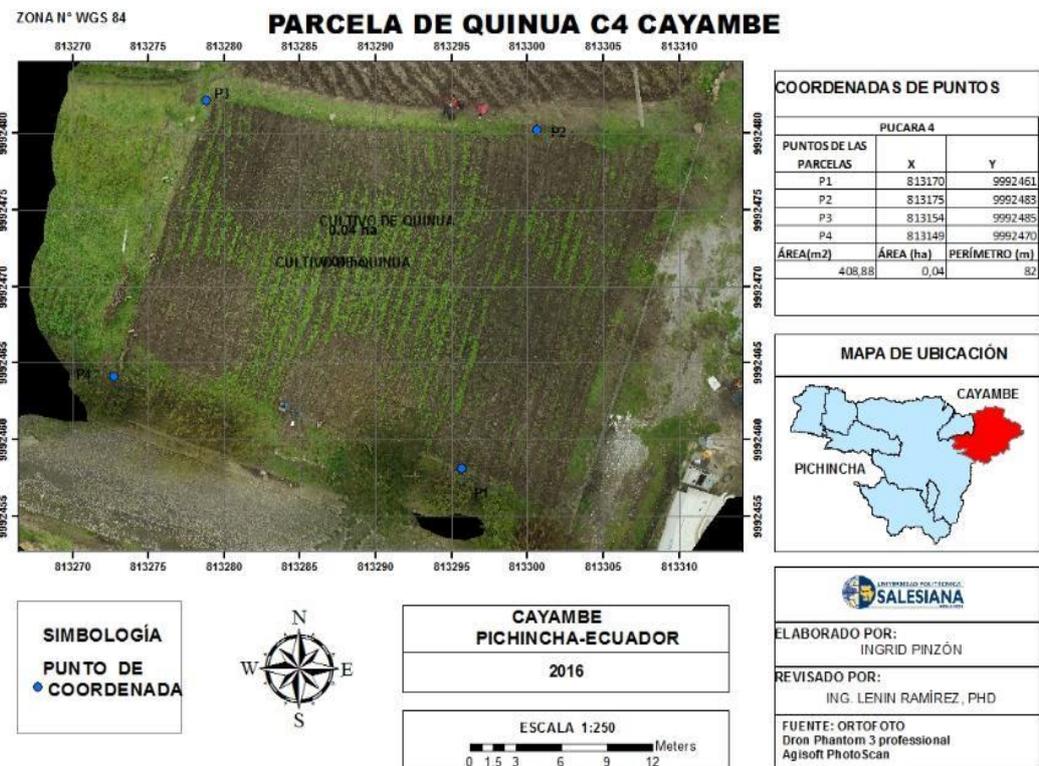
Anexo 2. Mapa de Ubicación de la Parcela C2 Cayambe.



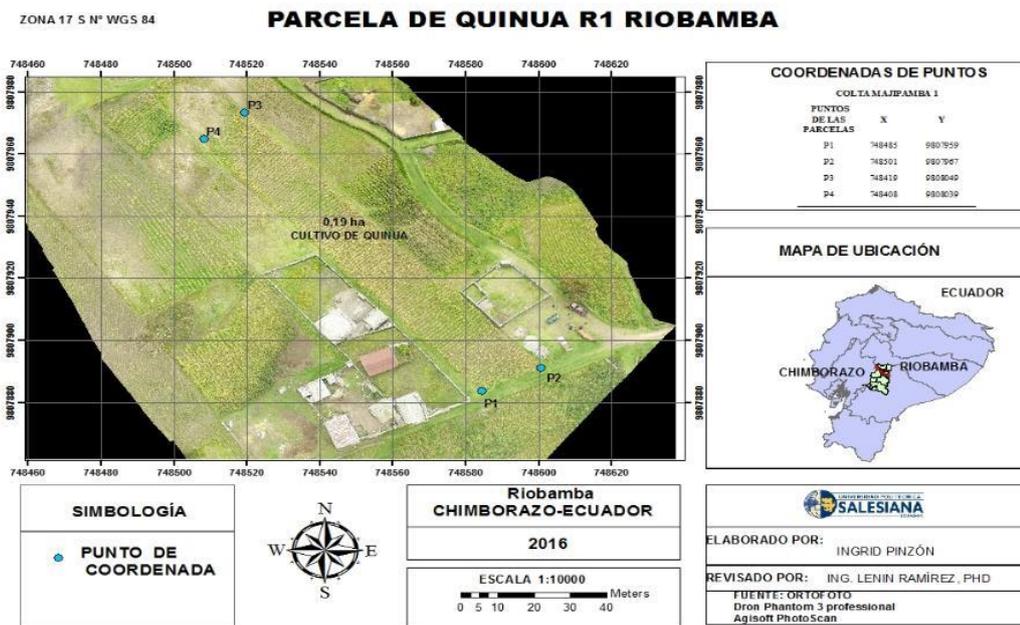
Anexo 3. Mapa de Ubicación de la Parcela C3 Cayambe.



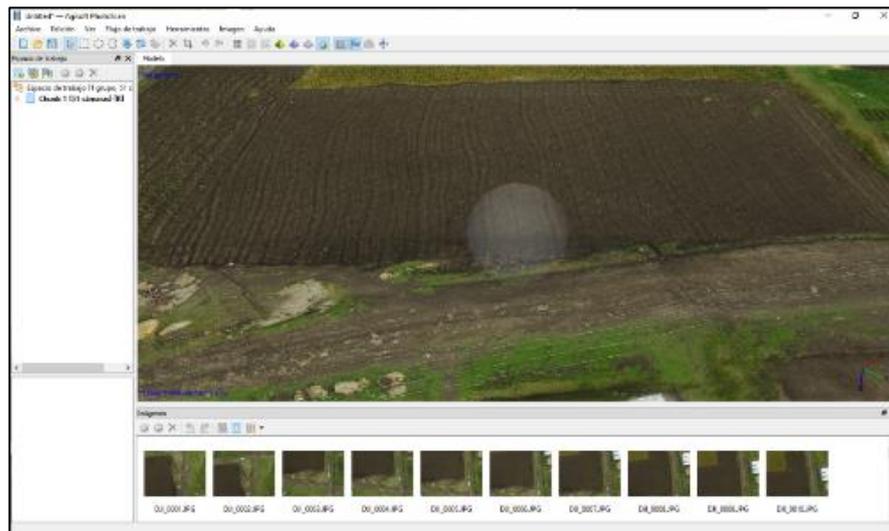
Anexo 4. Mapa de Ubicación de la Parcela C4 Cayambe.



Anexo 5. Mapa de Ubicación de la parcela R1 RIOBAMBA



Anexo 6. Software Agisoft PhotoScan Professional Generación de Ortofotos.



Agisoft PhotoScan Professional (64 bit)
Aplicación de escritorio

CLASES TEXTURALES DEL SUELO

Anexo 7. Clases texturales del suelo según USDA de acuerdo a los porcentajes de Arena-Limo-Arcilla.

Nombres vulgares de los suelos(textura general)	Arenoso	Limoso	Arcilloso	Clase textural
Suelos arenosos (textura gruesa)	86-100	0-14	0-10	Arenoso
	70-86	0-30	0-15	Franco arenoso
Suelos francos (textura moderadamente gruesa)	50-70	0-50	0-20	Franco arenoso
	23-52	28-50	7-27	Franco
Suelos francos (textura mediana)	20-50	74-88	0-27	Franco limoso
	0-20	88-100	0-12	Limoso
	20-45	15-52	27-40	Franco arcilloso
Suelos francos (textura moderadamente fina)	45-80	0-28	20-35	Franco arenoso arcilloso
	0-20	40-73	27-40	Franco limoso arcilloso
	45-65	0-20	35-55	Arcilloso arenoso
Suelos arcillosos (textura fina)	0-20	40-60	40-60	Arcilloso limoso
	0-45	0-40	40-100	Arcilloso

Fuente:(FAO, 2011)

Anexo 8. Software ADVANTECH DuraTap para determinar la Clase Textural

No.	Sample ID	sand	clay	silt	Texture
1	Cayambe 1	66	28	6	sandy clay loam
2	Cayambe 2	64	29	7	sandy clay loam
3	Cayambe 3	63	31	6	sandy clay loam
4*	Cayambe 4	61	33	6	sandy clay loam
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					

No.	Sample ID	sand	clay	silt	Texture
1	RIOBAMBA1	60	33	11	sandy clay loam
2*	RIOBAMBA2	60	31	9	sandy clay loam
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					



Anexo 9 Página de la lista completa de los valores estándares versión 4.

BIOGRACE
Harmonised Calculations of
Biogas Greenhouse Gas Emissions in Europe

www.biograce.net Intelligent Energy

Complete list of standard values, version 4 - Public

This file gives the standard values as published on www.biograce.net in Word format.
Two Word versions of this list exist:

1. A complete list of standard values, containing all the values as listed in the Excel version
2. A condensed list showing the most important standard values

This file contains the complete list.

Abbreviations and definitions used can be found in the Excel file on the web page
<http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>.

Anexo 10. Clase textural de las parcelas de estudio de Cayambe y Riobamba

Parcelas	% Arena	% Arcilla	% Limo	Clase Textural
C1	66	28	6	Franco Arcilloso Arenoso
C2	64	29	7	Franco Arcilloso Arenoso
C3	63	31	6	Franco Arcilloso Arenoso
C4	61	33	6	Franco Arcilloso Arenoso
R1	56	33	11	Franco Arcilloso Arenoso
R2	60	31	9	Franco Arcilloso Arenoso

Elaborado por: I. Pinzón.

Anexo 11. Resultados tabulados en Excel-uso de combustibles en Riobamba.

RIOBAMBA					
CÁLCULO DE CO ₂ EMITIDOS POR LA TRILLADORA Vencedora		CÁLCULO DE CO ₂ EMITIDOS POR EL TRACTOR Kubata M108 S		CÁLCULO DE CO ₂ EMITIDOS POR CAMIONETA MAZDA	
Cantidad de diésel (galones)	2,50	Cantidad de diésel (galones)	19,29	Cantidad de gasolina (galones)	6,76
Cantidad de diésel (m ³)	0,009	Cantidad de diésel (m ³)	0,073	Cantidad de gasolina (m ³)	0,026
Cantidad de diésel (kg)	7,87	Cantidad de diésel (kg)	60,74	cantidad de gasolina (kg)	19,05
Cantidad de diésel (Gg)	0,00001	Cantidad de diésel (Gg)	0,00006	cantidad de gasolina (Gg)	0,00002
VCN TJ	0,000	VCN TJ	0,003	VCN TJ	0,001
VCN GJ	0,34	VCN GJ	2,61	VCN GJ	0,81
CO ₂ (kg)	25,09	CO ₂ (kg)	193,54	CO ₂ (kg)	55,86
NO ₂ (kg)	0,010	NO ₂ (kg)	0,075	NO ₂ (kg)	0,006
CH ₄ (kg)	0,001	CH ₄ (kg)	0,011	CH ₄ (kg)	0,020
kg CO ₂ eq	25,09	kg CO ₂ eq	193,54	kg CO ₂ eq	55,86
kg NO ₂ eq	2,89	kg NO ₂ eq	22,26	kg NO ₂ eq	1,92
kg CH ₄ eq	0,04	kg CH ₄ eq	0,27	kg CH ₄ eq	0,50
TOTAL kg CO₂ eq	28,008	TOTAL kg CO₂ eq	216,073	TOTAL kg CO₂ eq	58,283

DIÉSEL (kg de CO ₂ eq/ha)	GASOLINA (kg de CO ₂ eq/ha)	CO ₂ eq- USO DE COMBUSTIBLES	Diésel (kg/ha)	Gasolina (kg/ha)
244,0817	58,283	TOTAL de Kg CO₂eq/ha 302,3644	68,62	19,05

Anexo 12. Resultados tabulados en Excel por el uso de combustibles en Cayambe.

CAYAMBE							
CÁLCULO DE CO ₂ EMITIDOS POR CAMIONETA		CÁLCULO DE CO ₂ EMITIDOS POR LA VENTeadORA		CÁLCULO DE CO ₂ EMITIDOS POR EL TRACTOR		CÁLCULO DE CO ₂ EMITIDOS POR TRILLADORA Vencedora	
Cantidad de gasolina (galones)	10,135	Cantidad de gasolina (galones)	1,000	Cantidad de diésel (galones)	15,429	Cantidad de gasolina (galones)	1,796
Cantidad de gasolina (m ³)	0,038	Cantidad de gasolina (m ³)	0,004	Cantidad de diésel (m ³)	0,058	Cantidad de gasolina (m ³)	0,007
cantidad de gasolina (kg)	28,58	cantidad de gasolina (kg)	2,82	Cantidad de diésel (kg)	48,59	cantidad de gasolina (kg)	5,07
cantidad de gasolina (Gg)	0,00003	cantidad de gasolina (Gg)	0,00000	Cantidad de diésel (Gg)	0,00005	cantidad de gasolina (Gg)	0,00001
VCN TJ	0,001	VCN TJ	0,000	VCN TJ	0,002	VCN TJ	0,000
VCN GJ	1,21	VCN GJ	0,12	VCN GJ	2,09	VCN GJ	0,21
CO ₂ (kg)	83,79	CO ₂ (kg)	8,27	CO ₂ (kg)	154,83	CO ₂ (kg)	14,85
NO ₂ (kg)	0,010	NO ₂ (kg)	0,001	NO ₂ (kg)	0,060	NO ₂ (kg)	0,002
CH ₄ (kg)	0,030	CH ₄ (kg)	0,003	CH ₄ (kg)	0,009	CH ₄ (kg)	0,005
kg CO ₂ eq	83,79	kg CO ₂ eq	8,27	kg CO ₂ eq	154,83	kg CO ₂ eq	14,85
kg NO ₂ eq	2,88	kg NO ₂ eq	0,28	kg NO ₂ eq	17,81	kg NO ₂ eq	0,51
kg CH ₄ eq	0,76	kg CH ₄ eq	0,07	kg CH ₄ eq	0,22	kg CH ₄ eq	0,13
TOTAL kg CO₂ eq	87,424	TOTAL kg CO₂ eq	8,626	TOTAL kg CO₂ eq	172,859	TOTAL kg CO₂ eq	15,495

DIÉSEL (kg de CO ₂ eq/ha)	GASOLINA (kg de CO ₂ eq/ha)	CO ₂ eq- USO DE COMBUSTIBLES	Diésel (kg/ha)	Gasolina (kg/ha)
172,86	111,55	TOTAL DE kg de CO₂ eq 284,40	48,59	36,47

Anexo 13. Resultados tabulados en Excel de la estimación de emisiones de GEI por emisiones directas e indirectas de N₂O.

RIOBAMBA			
N ₂ O EMISIONES DIRECTAS APORTADO POR LOS FERTILIZANTES			
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
F _{ON}	Cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante orgánico.	9,90	kgN / año
EF1	Factor de emisión para emisiones de N ₂ O tabla 11.1 del IPCC CAP.11	0,01	%
N ₂ O_N directas	Emisiones de Oxido Nitroso como N	0,10	kgN / año
TOTAL de Emisiones directas de N₂O		0,16	kg N₂O / año

N ₂ O EMISIONES INDIRECTAS APORTADO POR DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE N VOLATILIZADO DE SUELOS GESTIONADOS			
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
EF4	factor de emisión correspondiente a las emisiones de N ₂ O de la deposición atmosférica de N en los suelo	0,01	%
FON	Cantidad anual de estiércol animal gestionado, <i>compost</i> , lodos cloacales y otros agregados de N orgánico aplicada a los suelos	9,90	kg N /año
[(Frac)]_GASM	Fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (F _{ON}) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (FPRP) que se volatiliza como NH ₃ y NO, kg N volatilizado	0,20	%
N ₂ O_N (ATD)	Nitrous oxide emissions as N	0,02	kgN /año
TOTAL Emisiones indirectas de N₂O:		0,03	Kg N₂O /año

TOTAL DE EMISIONES DE N ₂ O		
Emisiones	kg N ₂ O/ha	kg CO ₂ eq/ha
Total de Emisiones directas de N ₂ O	0,16	46,36
Total de Emisiones indirectas de N ₂ O	0,03	9,27
TOTAL	0,19	55,63

CAYAMBE			
N ₂ O EMISIONES DIRECTAS APORTADO POR LOS FERTILIZANTES			
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
F _{ON}	Cantidad anual de N aplicado a los suelos en forma de fertilizante orgánico.	15,00	kgN / año
EF1	Factor de emisión para emisiones de N ₂ O tabla 11.1 del IPCC CAP.11	0,01	%
N ₂ O_N directas	Emisiones de Oxido Nitroso como N	0,15	kgN / año
TOTAL de Emisiones directas de N₂O		0,24	kg N₂O / año

N ₂ O EMISIONES INDIRECTAS APORTADO POR DEPOSICIÓN ATMOSFÉRICA DE N VOLATILIZADO DE SUELOS GESTIONADOS			
VARIABLE	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
EF4	factor de emisión correspondiente a las emisiones de N ₂ O de la deposición atmosférica de N en los suelo	0,01	%
FON	Cantidad anual de estiércol animal gestionado, <i>compost</i> , lodos cloacales y otros agregados de N orgánico aplicada a los suelos	15,00	kg N /año
[(Frac)]_GASM	Fracción de materiales fertilizantes de N orgánico (F _{ON}) y de N de orina y estiércol depositada por animales de pastoreo (FPRP) que se volatiliza como NH ₃ y NO, kg N volatilizado	0,20	%
N ₂ O_N (ATD)	Nitrous oxide emissions as N	0,03	kgN /año
TOTAL Emisiones indirectas de N₂O:		0,05	Kg N₂O /año

TOTAL DE EMISIONES DE N ₂ O		
Emisiones	kg N ₂ O/ha	kg CO ₂ eq/ha
Total de Emisiones directas de N ₂ O	0,24	70,24
Total de Emisiones indirectas de N ₂ O	0,05	14,05
TOTAL	0,28	84,29

Anexo 14. Análisis de Materia Orgánica

< 0,9	Muy bajo
1,0 - 1,9	Bajo
2,0 - 2,5	Normal
2,6 - 3,5	Alto
> 3,6	Muy alto

Fuente. Rioja Molina, A. (2.002), *Apuntes de Fitotecnia General, E.U.I.T.A., Ciudad Real*

Anexo 15 fotografías.

Fotografía 1. Remoción de la cobertura vegetal



Fotografía 2. Muestras y etiquetado.



Fotografía 3. Textura en campo

Riobamba



Textura: Arcilla

Cayambe



Textura: Arcilla

Fotografía 4. Granulometría del suelo.



Peso de los tamices



Tamizadora ADVANTECH DuraTap

Fotografía 5. Determinación de materia orgánica y Carbón orgánico



Preparación de Reactivos



Preparación de la muestra



Peso de las muestras



Preparación de la reacción



Titulación

Fotografía 6. Nitrógeno



Fotografía 7. Fases de producción de la quinua

Preparación del suelo	Crecimiento de la quinua
 <p data-bbox="339 1368 531 1402">Tractor arando</p>	
 <p data-bbox="300 1771 834 1845">Abono orgánico (compost a base de residuos agrícolas y estiércol).</p>	

Cosecha



Hoz utilizada para cortar la quinua en la cosecha



Comunidad cosechando la quinua



Transporte de las panojas por parte de la comunidad después de cortadas



Trilladora vencedora



Venteo manual (Riobamba)



Venteo mecanizado -Venteadora (Cayambe)



Quinoa (*Chenopodium quinoa*)