

Universidad Andina Simón Bolívar

Sede Ecuador

Área de Gestión

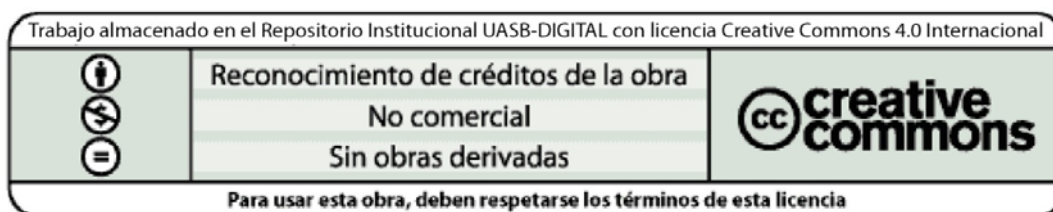
Maestría de Investigación en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo

**Influencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro al
cambio climático en el cantón Shushufindi**

Ingrid Estefanía Pinzón Colmenares

Tutor: Lenin Javier Ramírez Cando

Quito, 2019



Cláusula de cesión de derecho de publicación de tesis

Yo, Ingrid Estefanía Pinzón Colmenares, autora de la tesis intitulada “Influencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro al cambio climático en el cantón Shushufindi.”, mediante el presente documento dejo constancia de que la obra es de mi exclusiva autoría y producción, que la he elaborado para cumplir con uno de los requisitos previos para la obtención del título de Magíster en Cambio Climático, Sustentabilidad y Desarrollo en la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador.

1. Cedo a la Universidad Andina Simón Bolívar, Sede Ecuador, los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, durante 36 meses a partir de mi graduación, pudiendo por lo tanto la Universidad, utilizar y usar esta obra por cualquier medio conocido o por conocer, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico. Esta autorización incluye la reproducción total o parcial en los formatos virtual, electrónico, digital, óptico, como usos en red local y en internet.
2. Declaro que en caso de presentarse cualquier reclamación de parte de terceros respecto de los derechos de autor/a de la obra antes referida, yo asumiré toda responsabilidad frente a terceros y a la Universidad.
3. En esta fecha entrego a la Secretaría General, el ejemplar respectivo y sus anexos en formato impreso y digital o electrónico.

22 de agosto del 2019

Firma: _____

Resumen

En el presente estudio, se determinó la influencia de los modelos de producción agrícola de maíz duro al cambio climático (CC) en el cantón Shushufindi, a través de dos indicadores de impacto como son las emisiones de GEIs y el consumo de agua dulce a través de la huella hídrica (HH), adicionalmente, se determinó la ecoeficiencia para medir la sostenibilidad económica y ambiental de estos modelos.

Para el desarrollo de la investigación se seleccionaron tres modelos o escenarios: modelo tradicional (MT), modelo semi-convencional (MS) y modelo convencional (MC); se consideró todas las entradas/inputs (insumos agrarios) y salidas/outputs (rendimiento-residuos-GEI-HH) por cada fase de producción. Se seleccionó el cultivo de maíz duro, ya que, es considerado como un *flex crops* o cultivo flexible, el cual, puede destinarse tanto para la producción de biocombustibles, alimento, forraje o para la agroindustria, además es un cereal altamente consumido a nivel global y con amplia adaptabilidad climática.

En el estudio se consideraron las metodologías para estimación de GEIs dadas por el IPCC (2006) y la metodología de Agri-footprint, que permite realizar la evaluación de los sistemas agroalimentarios y huellas agrícolas mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV). Asimismo, se determinó la ecoeficiencia siguiendo los lineamientos de Ribal et al. (2009).

Los resultados determinaron que el MC contribuyó con 2926,92 kg CO₂eq ha⁻¹año⁻¹ y un consumo de agua dulce de 1157,86 m³/ton, para el MS las emisiones fueron de 1209,45 kg CO₂eqha⁻¹año⁻¹ y un consumo de agua de 1201,85 m³/ton, en cuanto a las emisiones resultantes del MT fueron de 570 kg CO₂eq ha⁻¹año⁻¹ y un consumo de agua de 1008,16 m³/ton. Por último, se determinó que el modelo tradicional es el más ecoeficiente en términos ambientales y económicos con una eficiencia igual a 0,99.

La importancia del estudio radicó en conocer los impactos asociados a los modelos de producción de maíz, su contribución al CC en ecosistemas sensibles como los que alberga la Amazonía; para que en una fase posterior se creen prácticas sostenibles, fomentar la seguridad y soberanía alimentaria y medidas de mitigación y adaptación al CC.

Palabras clave: Cambio Climático, gases de efecto invernadero, maíz, ecoeficiencia

Tabla de Contenido

Introducción.....	9
Capítulo primero Marco teórico	13
1. Cambio climático	13
2. La Agricultura y su relación con los GEIs.....	15
3. Modelos de producción agroalimentaria en el Ecuador.....	16
4. Mosaico agropecuario en Ecuador.....	19
5. Caso maíz duro seco en Ecuador.	21
6. Dinamismo en el cambio de uso de suelo en la Amazonía.....	29
7. Los sistemas productivos y la expansión del maíz duro Shushufindi.....	34
Capítulo segundo Lineamientos y metodologías.....	45
1. Fase de campo	45
2. Fase de laboratorio	55
3. Fase gabinete.....	56
Capitulo tercero Resultados y discusión.....	65
1. Caracterización de los suelos de los modelos de producción de maíz.....	65
2. Inventario de entradas/inputs y salidas/outputs de los modelos estudiados.....	66
3. Resultados de la estimación de GEIs de los modelos de producción de maíz.....	75
4. Huella hídrica.....	84
5. Factor social	92
6. Factor económico	111
7. Ecoeficiencia.....	113
Capítulo cuarto Conclusiones y recomendaciones	117
1. Conclusiones	117
2. Recomendaciones.....	119
Lista de referencias.....	121
Anexos.....	131
Anexo 1: Formato de cuestionario utilizado para la investigación.....	131
Anexo 2: Metodología para toma de muestra de suelo.....	133
Anexo 3: Transformaciones y factores de emisión (Combustibles-lubricantes).....	134

Anexo 4: Esquema dado por Durlinger et al. (2017, 12) adaptado para cada modelo de producción de agrícola de maíz duro en Shushufindi.....	136
Anexo 5: Descripción de las variables y factores de emisión por emisiones Directas e indirectas de N ₂ O de suelos gestionados por diferentes aportes de N.....	137
Anexo 6: DA y FE de la producción de fertilizantes.....	140
Anexo 7: Cálculo de emisiones anuales de CO ₂ por aplicación de urea	140
Anexo 8: Emisiones por input de semilla.....	141
Anexo 9: Emisiones por input de fitosanitarios.....	141
Anexo 10: Cálculo de E. por la quema de residuos agrícolas de maíz duro del MS	141
Anexo 11: Medición del diámetro a la altura del pecho DAP	142
Anexo 12: Cálculo del stock de carbono	143
Anexo 13: Cálculo de la Huella Hídrica Agrícola.....	144
Anexo 14: Resultados del Stock de carbono por cada modelo evaluado	147
Anexo 15: Valores y cálculo de α para determinar la HHgris procedentes de los nutrientes (N)aplicados de los modelos de producción agrícola	148
Anexo 16: Valores para la estimación de la fracción de lixiviación-escorrentía (α) por la aplicación de fitosanitarios	149

Introducción

Se define al «cambio climático» como una alteración del sistema climático global que afecta a los sistemas y comunidades (Viguera et al. 2017, 6). Por otra parte, la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (1992, 3) lo conceptualiza como “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”. Por lo que, el término cambio climático abarca una problemática global, que trae serias repercusiones e impactos a los componentes ambiental, social y económico.

Las principales causas que contribuyen a este fenómeno global, pueden ser los procesos naturales o forzamientos externos como los ciclos de intensidad solar, erupciones volcánicas, o su vez, a emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de actividades antropogénicas y al cambio de uso del suelo (IPCC 2015b; Viguera et al. 2017). Por otro lado, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) (2017, 1) considera que los incrementos de las concentraciones de los GEI en la atmósfera se deben principalmente al crecimiento demográfico, prácticas agrícolas intensivas, mayor uso de la tierra, deforestación, industrialización y uso de energía procedente de fuentes fósiles.

Las tendencias actuales de intensificación de prácticas agrícolas hacen que la agricultura sea uno de los sectores económicos que contribuye de manera directa e indirecta con emisiones de GEIs. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático IPCC (2015a, 49) reportó que las emisiones del sector agrícola a nivel global fueron de 11.76 Gt CO₂eq, para el caso del Ecuador estas emisiones fueron de 14 512.88 Gg de CO₂eq en el año 2012 (MAE 2017, 17). Estas emisiones se deben principalmente a los GEIs como el CO₂, el CH₄ y N₂O procedentes de la quema de combustibles fósiles, uso de fertilizantes sintéticos, fitosanitarios, deposición de estiércol, etc.

En Ecuador, el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) está siendo considerado de importancia para el cambio de la matriz productiva, además, es denominado como un *flex crops* o cultivo flexible, el cual puede destinarse tanto para la producción de biocombustibles, alimento, forraje o para la industria (Lasso 2017, 10). Cabe mencionar

que el 80% del maíz es utilizado como materia prima de la agroindustria para la elaboración de balanceados, el mismo que es destinado para la alimentación de animales como aves y porcinos (Baca 2016, 49). Además, este tipo de cultivo es el cuarto monocultivo establecido con una superficie sembrada de 361 347 ha, después del arroz (411 450 ha), el cacao (507 721 ha) y el banano (221 775 ha) cifras dadas por el MAGAP citado por (Suquilanda 2016, 26).

Para la investigación se tomó el caso del modelo de producción de maíz duro en Shushufindi, el mismo que está basado en una agricultura dependiente del paquete tecnológico (productos fitosanitarios, fertilizantes, semillas mejoradas, etc.), es decir, un modelo convencional derivado de la denominada «revolución verde», además, este modelo se focaliza en un mejoramiento de la productividad (t/ha) caracterizado por la presencia de monocultivos (Sabourin et al. 2017, 14). Cabe mencionar que en el cantón Shushufindi, el modelo productivo comunitario está siendo remplazado por un modelo productivo mecanizado e industrial (Maza 2015, párr. 2).

Otra problemática abordada en la presente investigación es la pérdida de prácticas tradicionales sustentables desarrolladas en las chacras, donde habitualmente se cultivan diferentes productos para la dieta diaria familiar con rotación frecuente de cultivos, todas estas prácticas ayudan a mejorar el suelo, evitar plagas y enfermedades, además de producir alimentos sanos para el consumo. Las prácticas tradicionales sustentables se están perdiendo a causa del asentamiento de un modelo de producción agrícola convencional, acompañado de la presencia de casas comerciales de productos e insumos para el agro, lo cual, perjudica la soberanía y la seguridad alimentaria de la población (GADP Limoncocha 2015, 67).

En el cantón Shushufindi se han impulsado programas y proyectos de reactivación e innovación agrícola, algunos de los proyectos que se pueden citar son el proyecto de Desarrollo Agrosustentable de la cadena productiva de maíz en Sucumbíos y el proyecto de desarrollo de la capacidad productiva de maíz y arroz en Pañacocha-Shushufindi (MAG 2017). De igual manera, en las parroquias San Roque y Siete julio existe el programa de fomento agroproductivo mediante la adquisición de maquinaria agrícola como cosechadoras y desgranadoras de maíz (GAD PROVINCIAL SUCUMBIOS 2015; GAD Parroquial Siete de Julio 2017). Hay que destacar, que estos proyectos y programas principalmente consisten en la entrega de semillas e insumos como fertilizantes, fungicidas, herbicidas e insecticidas con el objetivo de potencializar la producción de maíz duro en este cantón.

En Shushufindi existe evidencia de pérdida de cobertura vegetal e intervención del bosque, entre los años 2008 y 2013 esta intervención fue de 5,37% (588.94 ha a 13990.14 ha de bosque intervenido), cabe señalar que estas pérdidas son ocasionadas principalmente por las actividades agrícolas y ganaderas dadas en el cantón (GAD Shushufindi 2015, 3). La importancia de la divulgación de la pérdida de bosques se debe a su rol protagónico frente al cambio climático, ya que, estos sistemas naturales son importantes sumideros de carbono, además, ofrecen otros servicios ambientales que por la presión del aumento de la frontera agrícola se estarían perdiendo.

Otro punto relevante que justifica la selección del tema es que, en Shushufindi se encuentran presentes áreas protegidas como: la reserva de producción Faunística Cuyabeno, la reserva Biológica Limoncocha, el Bosque Protector Pañacocha o Subcuenca de Pañayacu y el Bosque Protector Sacha Lodge, las cuales han tenido un sinnúmero de presiones como la presencia petrolera, colonos y el desarrollo agrícola (GAD Shushufindi 2015, 11).

Por las razones expuestas anteriormente se prevé en la presente investigación, estimar los impactos asociados a los diferentes modelos de producción de maíz duro, mediante la estimación de GEI, y su contribución al cambio climático en ecosistemas sensibles como los que alberga la Amazonía, además de conocer el consumo de agua dulce por m³/ha y la sostenibilidad económica y ambiental que tienen los modelos de producción agrícola de maíz, para que de esta manera en una fase posterior, se creen prácticas agrícolas sostenibles, se fomente la seguridad y soberanía alimentaria, medidas de mitigación y adaptación al cambio climático.

Por lo dicho anteriormente en el estudio se planteó como pregunta de investigación *¿En qué medida los modelos de producción agrícola de maíz duro, caracterizados por un proceso de expansión de prácticas agrícolas, son ecoeficientes y como contribuyen en emisiones significativas de GEIs que aportan al cambio climático en el cantón Shushufindi?*, para dar respuesta a esta interrogante se planteó los siguientes objetivos:

- Caracterizar los modelos de producción agrícola de maíz duro presentes en el cantón Shushufindi.
- Estimar las emisiones de GEIs y la huella hídrica procedentes de los modelos de producción agrícola de maíz duro caracterizados.
- Determinar la ecoeficiencia de los modelos de producción de maíz de los modelos estudiados.

La presente investigación está distribuida en cuatro capítulos, el primer capítulo abordará el marco teórico, en el cual, se incluirá la temática del cambio climático, los gases de efecto invernadero y su relación con la agricultura, así también se describirán los modelos de producción agroalimentaria en el Ecuador. Adicional, en este capítulo se tratará el caso del maíz duro en Ecuador y el dinamismo en el cambio de uso de suelo por este cultivo transitorio en la Amazonía.

A continuación, en el segundo capítulo, se plantearán los lineamientos y metodologías utilizadas en la investigación. En este capítulo se describirá como primer lineamiento, los modelos evaluados de producción agrícola de maíz presentes en Shushufindi, el modelo convencional (MC), semi-convencional (MS) y tradicional (MT). El segundo lineamiento es la evaluación ambiental mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el mismo que contemplará dos categorías de impacto, emisiones de GEIs y consumo de agua dulce. En el último lineamiento se presentará la evaluación socioeconómica y ambiental mediante la ecoeficiencia. Finalmente, en este capítulo se detallará las tres fases en las que se distribuirá la investigación: campo, laboratorio y gabinete.

En el tercer y cuarto capítulo se presentarán los principales resultados la discusión de estos, las conclusiones y recomendaciones luego del desarrollo de la investigación.

Capítulo primero

Marco teórico

1. Cambio climático

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) define al cambio climático CC como “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, 3).

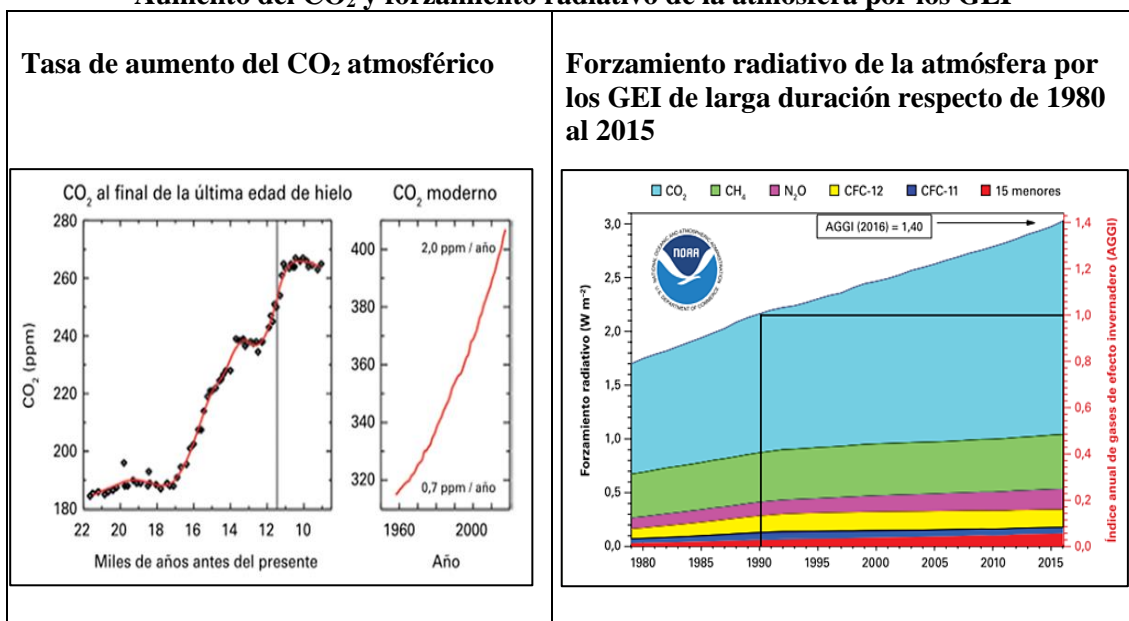
El CC es atribuido principalmente a la variación de las concentraciones de GEIs, las cuales “se refiere a cualquier constituyente gaseoso de la atmósfera que tiene la capacidad de absorber y re-emitir radiación infrarroja. Esos gases pueden clasificarse en aquellos generados de manera natural o aquellos emitidos como resultado de las actividades socio-económicas del hombre”(INEGEI 2006, 10).

Es importante mencionar que, de acuerdo al protocolo de Kioto se identifican como GEIs al Dióxido de Carbono (CO₂), Metano (CH₄), Óxido Nitroso (N₂O), Hidrofluorocarbonos (HFC), Perfluorocarbonos (PFC) y los Hexafluoruro de Azufre (SF₆) (Naciones Unidas 1998, 22).

La Organización Meteorológica Mundial (OMM) bajo el programa de Vigilancia de la Atmósfera Global (VAG)¹ reportan que la emisión del CO₂ a partir de la década de los 90 se ha acelerado, alcanzando para el año 2016 una concentración de 403,3 ppm (partes por millón), es decir, se ha incrementado alrededor de un 40%, siendo esta la más alta en los últimos 150 años, además, este gas contribuyó con un 65% al forzamiento radiactivo. En cuanto al CH₄, este alcanzó 1853 ppb (partes por mil millones), y el N₂O 328,9 ppb, contribuyendo en un 17% y 6% respectivamente al forzamiento radiactivo (Ver gráfico 1) (OMM 2017, 2,3,6). Como resultado de este rápido aumento de GEIs, la OMM menciona que esto podría provocar graves perturbaciones ecológicas y económicas, además, cambios impredecibles en los sistemas climáticos.

¹ VAG: Programa de Vigilancia de la atmósfera Global de la OMM (<http://www.wmo.int/gaw>)

Gráfico 1

Aumento del CO₂ y forzamiento radiativo de la atmósfera por los GEI

Fuente: (OMM 2017, 1–2)

El Potencial de Calentamiento Mundial (PCM) o conocido generalmente como GWP (global warming potentials por sus siglas en ingles), es un:

Índice basado en las propiedades radiativas de una mezcla homogénea de gases de efecto invernadero, que mide el forzamiento radiativo producido por una unidad de masa de un gas de efecto invernadero homogéneamente mezclado en la atmósfera actual, integrado a lo largo de determinado horizonte temporal, respecto del forzamiento por dióxido de carbono (IPCC 2007b, 86).

Los valores del GWP se muestran en la tabla 1 lo cual, es una adaptación del Quinto Informe de Evaluación del IPCC 2014, los valores fueron tomados del protocolo de GEIs.

Tabla 1
Valores de GWP respecto a CO₂

Denominación industrial o nombre común	Fórmula química	Valores GWP para un horizonte temporal de 100 años		
		Segundo Informe de Evaluación (SAR)	Cuarto Informe de Evaluación (AR4)	Quinto Informe de Evaluación (AR5)
Dióxido de carbono	CO ₂	1	1	1
Metano	CH ₄	21	25	28
Óxido nitroso	N ₂ O	310	298	265

Fuente: (Greenhouse Gas Protocol 2016)

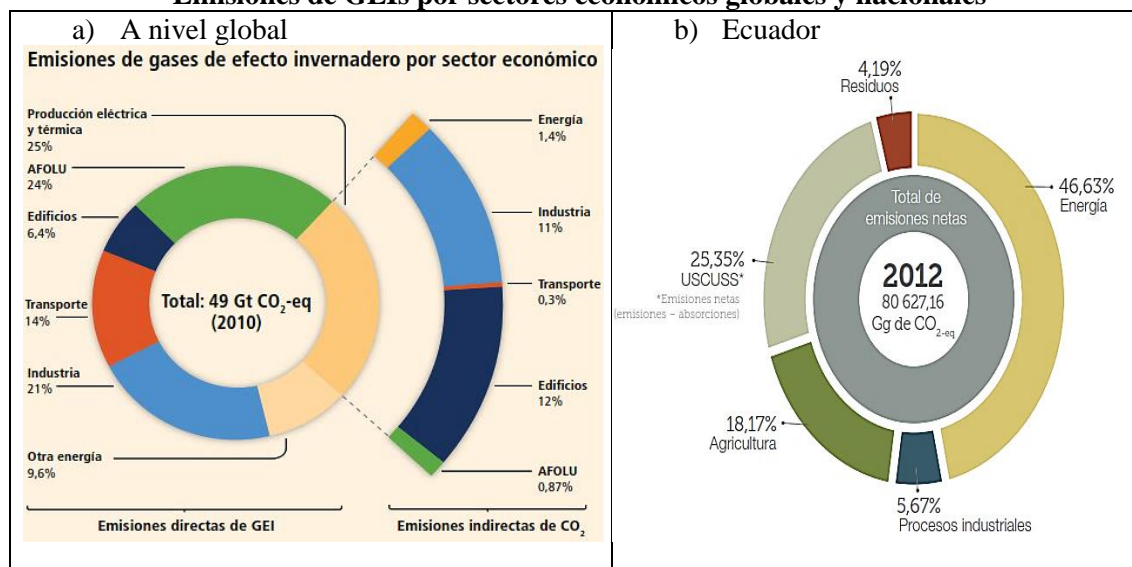
2. La Agricultura y su relación con los GEIs

La agricultura es uno de los sectores económicos que contribuye directamente e indirectamente con emisiones de GEIs, según el IPCC (2006f) los GEIs de mayor preocupación en el sector de agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra denominado sector AFOLU por sus siglas en inglés, son el CO_2 , el N_2O y el CH_4 , donde las emisiones de N_2O provienen principalmente como subproducto de la nitrificación y la desnitrificación de los fertilizantes; el CH_4 por su parte, procede de la metanogénesis en condiciones anaeróbicas en suelos y depósitos de estiércol a través de la fermentación entérica (IPCC 2006a, 6).

De acuerdo al quinto reporte dado por el IPCC (2015b, 49), las emisiones de GEIs globales alcanzan un total 49 Gt CO_2eq , de las cuales, el sector AFOLU contribuyó con el 24%, siendo el segundo sector económico con mayor aporte de emisiones de carbono a nivel mundial tal como se muestra en el gráfico 2. Para el año 2012, Ecuador reportó emisiones de 80627, 16 Gg de CO_2eq , donde el sector agrícola en conjunto con el sector USCUS (Uso de Suelo, Cambio de Uso de Suelo y Silvicultura) ocupan el segundo sector económico en aportes de GEIs significativos a la atmósfera (35087.59 Gg de CO_2eq) (MAE 2017, 18). Este aporte de GEIs son procedentes de los suelos agrícolas (46,37%), fermentación entérica (43,43%), cultivo de arroz (7,48%), manejo de estiércol (2,34%) y la quema de residuos agrícolas (0,39%) (MAE 2017, 128).

Gráfico 2

Emisiones de GEIs por sectores económicos globales y nacionales



Fuente: a) (IPCC 2015a, 49) y b) (MAE 2017, 17)

3. Modelos de producción agroalimentaria en el Ecuador

Según Suquilanda (2016, 18) en el Ecuador existen 3 modelos de producción agroalimentaria, los cuales se describen a continuación:

3.1. Modelo de producción tradicional:

El modelo de producción tradicional ha surgido de la experiencia acumulada durante siglos entre la interacción del medio y los agricultores, ha aportado en gran medida para el desarrollo de agroecosistemas sustentables (Suquilanda 2016, 18). Este modelo está basado bajo el concepto de «agricultura tradicional», la cual, se refiere a “prácticas agropecuarias basadas en conocimientos y prácticas indígenas, que han sido desarrolladas por consecuencia de la evolución conjunta de los sistemas sociales y medioambientales autóctonos a través de las generaciones” (Larrazabal 2018, 8).

De acuerdo con lo citado por Madrid (2009), las técnicas agrícolas tradicionales han permitido la sostenibilidad del hábitat y la seguridad alimentaria de los pobladores, dentro de estas técnicas se encuentra:

- Uso de plaguicidas naturales contra plagas y gusanos en base a remedios caseros hechos de plantas locales.
- Preparación del terreno con herramientas amigables (yunta o azadón).
- Asociación de cultivos.
- Abonos en base de estiércol de animales.
- Siembra en terrazas.
- Manejo de un calendario agrícola (fechas favorables para la siembra y cosecha).

Madrid (2009, 4) plantea que existen diferencias entre la agricultura tradicional y la agricultura orgánica, ya que, “la agricultura orgánica es una estrategia de desarrollo que se fundamenta no solamente en un mejor manejo del suelo y un fomento al uso de insumos locales, sino también en un mayor valor agregado y una cadena de comercialización más justa”. Por otra parte, el autor expresa que la agricultura tradicional, es un “sistema de uso de la tierra que ha sido desarrollado localmente durante largos años de experiencia empírica [...] [y permite] mantener la sostenibilidad del hábitat y la seguridad alimentaria de sus pobladores ante la presencia constante de heladas, la escasez fisiológica del agua, las pronunciadas pendientes y la fragilidad de los suelos característicos de estos ecosistemas” (4). Jiménez-Velázquez et al. (2017, 439) describen

que la agricultura tradicional está “orientada al auto abasto familiar más que al mercado. La mano de obra es familiar y se utilizan pocos insumos externos; la producción se destina al auto-abasto y su subsistencia está basada en una combinación de prácticas agrícolas y trabajo asalariado”.

3.2. Modelo de producción convencional:

De acuerdo con Suquilanda (2016, 23), el modelo convencional está basado en los principios de la «*Revolución Verde*», donde se enfatiza el uso de tecnologías e insumos externos y en la orientación de la producción al mercado, además del uso de la mecanización, agroquímicos y el predominio del monocultivo, hay que mencionar que este modelo no toma en cuenta la diversidad ambiental ni la heterogeneidad socioeconómica y cultural.

Por otra parte, Sabourin et al (2017, 14) sostienen que la revolución verde se focaliza en el mejoramiento de la productividad, es decir, cantidad producida por una superficie (t/ha) gracias a los paquetes tecnológicos, los cuales contienen variedades mejoradas, fertilizantes, productos fitosanitarios y tecnologías de irrigación; de igual manera, Sabourin et al argumentan que la revolución verde es una evolución desde el modelo tradicional de pequeña escala hacia una agricultura de contratación a gran escala.

Suquilanda (2016, 18) menciona las principales características de este modelo, teniendo entre ellas :

- Predominio de sistemas simples de cultivo (monocultivos)
- Súper especialización de la producción
- Labranza excesiva del suelo
- Uso de maquinarias complejas y pesadas
- Utilización de semillas híbridas, con escasa resistencia al estrés biótico y abiótico.
- Uso excesivo de plaguicidas
- Deterioro de las cuencas hidrográficas y disminución de los volúmenes de agua.

3.3. Modelo de producción agroecológico:

Finalmente, el último modelo descrito por Suquilanda es el modelo agroecológico, el cual se describe como:

Disciplina teórica – práctica que más allá de observar los componentes e interacciones de un agroecosistema, propone principios y métodos que incorporan las dimensiones ecológicas, técnica, socioeconómica y cultural, con la finalidad de mejorar la eficiencia biológica y productiva como la preservación de la biodiversidad, el ciclaje de nutrientes, la optimización del uso de recursos locales y el aprovechamiento del conocimiento tradicional, todo ello en forma sostenida (Suquilanda 2016, 33).

De igual modo, Altieri y Toledo (2011, 5) conceptualizan a la agroecología como, ciencia ecológica con conjunto de prácticas que conllevan la diversificación agrícola, promoviendo interacciones biológicas y sinergias benéficas entre los componentes del agroecosistema basado en los principios básicos de la agroecología:

- Reciclaje de nutrientes y energía
- Sustitución de insumos externos
- Mejoramiento de la materia orgánica y la actividad biológica del suelo
- Diversificación de las especies de plantas y los recursos genéticos de los agroecosistemas en tiempo y espacio.
- La integración de los cultivos con la ganadería.
- Optimización de las interacciones y la productividad del sistema agrícola en su totalidad, en lugar de los rendimientos aislados de las distintas especies

De igual manera, Altieri y Toledo (2011, 5) plantean las prácticas agropecuarias para lograr la sustentabilidad y la resiliencia:

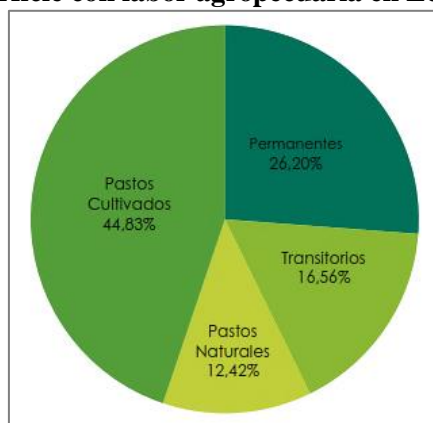
- Diversidad y complejidad de los sistemas agrícolas a través de policultivos, rotaciones, agrosilvicultura.
- Uso de semillas nativas y de razas locales de ganado.
- Control natural de plagas.
- Uso de composta y abono verde
- Aumento de la materia orgánica del suelo para mejorar la actividad biológica y la capacidad de retención de agua

4. Mosaico agropecuario en Ecuador

Ecuador está ocupando un mosaico agropecuario conformado principalmente por pastos cultivados (44,83%), cultivos permanentes (26,20%), pastos naturales (12,42%) y los cultivos transitorios (16,56 %), en total la superficie de labor agropecuaria es de 5,46 millones de hectáreas (INEC 2017, 8) (gráfico 3).

Este mosaico agropecuario ha ido remplazando ecosistemas nativos como son los páramos y bosques, entre los años 2008 y 2014 la expansión del cultivo de maíz causó la mayor parte de cambios de uso de suelo con el 42%, seguido por el cacao (15.32 %), la palma africana (14.75%) y el café (11.18 %) (Lasso 2017, 12).

Gráfico 3
Superficie con labor agropecuaria en Ecuador

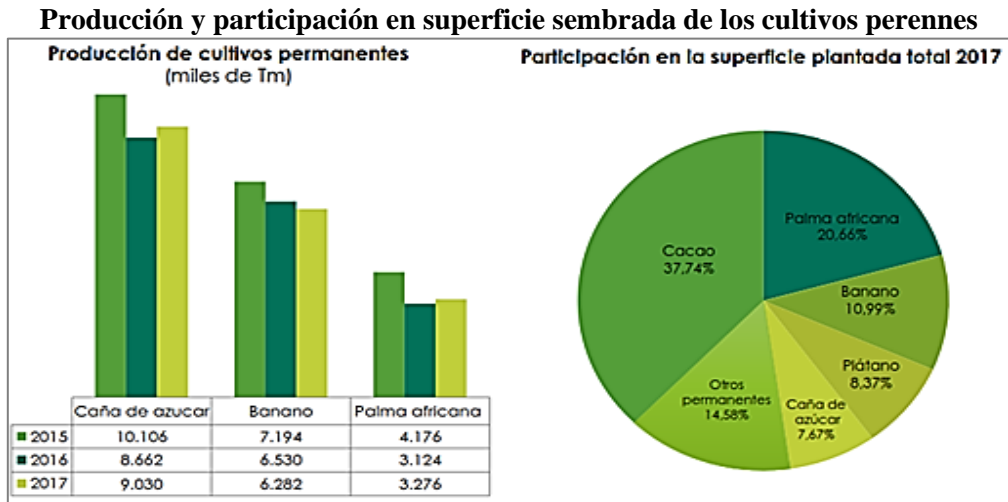


Fuente: (INEC 2017, 8)

4.1. Cultivos perennes

En el Ecuador, los cultivos permanentes más representativos en participación de superficie sembrada son el cacao (37,74%), la palma africana (20,66 %), el banano (10,99%), el plátano (8,37 %) y la caña de azúcar (7,67%); los productos con mayor producción a nivel nacional son la caña de azúcar (9.030 TM), el banano (6.282 TM) y la palma africana (3.276 TM) (gráfico 4.)

Gráfico 4

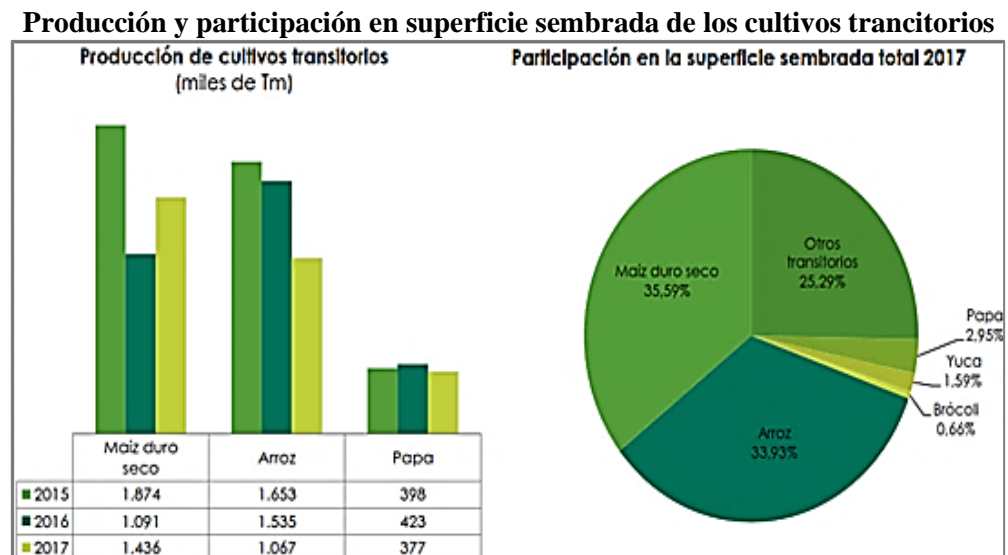


Fuente: (INEC 2017, 15)

4.2. Cultivos transitorios

Entre los principales cultivos transitorios con mayor producción en el Ecuador se encuentran, el maíz duro seco (1.436 Tm), el arroz (1.067 Tm) y la papa (377 Tm) (INEC 2017). En superficie plantada, se tiene principalmente al maíz duro seco (35,59%), arroz (33,93%) y papa (2,95%) (gráfico 5).

Gráfico 5



Fuente: (INEC 2017, 18)

5. Caso maíz duro seco en Ecuador.

5.1. Expansión del cultivo de maíz en Ecuador

El maíz (*Zea mays* L.) es una planta monoica anual de la familia gramíneas (Danilo 2003, 2), es uno de los cereales más importantes a nivel mundial dado que tiene una amplia adaptabilidad climática (Sumba 2014, 1). En el caso del Ecuador, el maíz es uno de los granos básicos de la dieta alimentaria tradicional, ya que, forma parte de la alimentación cotidiana (Campana 2008, 85).

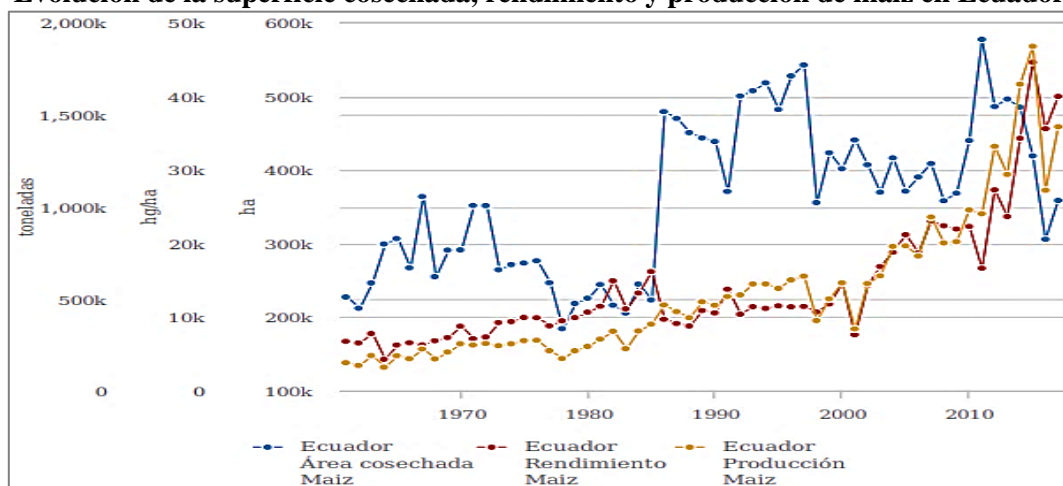
La expansión del cultivo de maíz basado en el modelo capitalista expandido en todo el territorio ecuatoriano causó cambios de uso de suelo considerables, generando un escenario de desterritorialización para la soberanía alimentaria, puesto que, productos que son para abastecimiento interno han sido reemplazados por cultivos como el maíz, datos del ESPAC²-INEN-2014 muestran que el área sembrada del maíz duro en conjunto con los cultivos perennes y semiperennes incrementó 220,000 ha, mientras que cultivos orientados para el abastecimiento interno disminuyó 174 mil ha (Lasso 2017, 11). Cabe señalar que “los territorios sobre los cuales se está dando este reemplazo de cultivos, son territorios mayormente de la costa, en donde la agroindustria se viene implantando y expandiendo desde los 70’s, y en la Amazonía norte, en donde se expande principalmente la palma africana, el café y el cacao” (Lasso 2017, 12).

De igual manera, Campana (2008, 85) argumenta que a través de las transformaciones agrarias dadas a partir de los años 60, el crecimiento de la producción de maíz duro ha incrementado 15,5 veces tomando como base el año de 1965, a diferencia del maíz suave cuyo incremento es solo de 0,56 veces, cabe mencionar que el maíz suave es utilizado fundamentalmente para la alimentación humana directamente, dando paso en este sentido a la transformación drástica de la dieta alimentaria.

En el gráfico 6 se puede apreciar la evolución de la superficie cosechada de maíz y cómo se ha incrementado el rendimiento de este a través de los años, evidenciándose la tendencia creciente de este cultivo en Ecuador.

² ESPAC: Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Censo INEC.

Gráfico 6

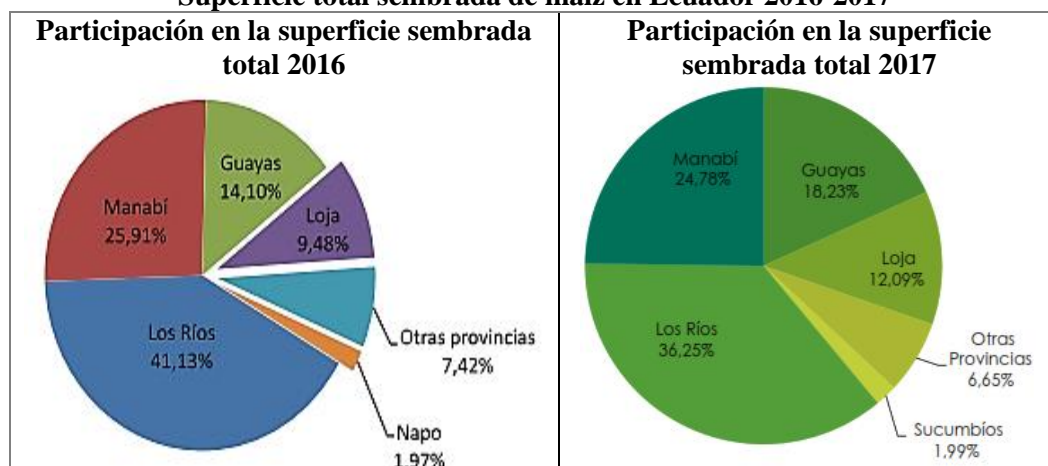
Evolución de la superficie cosechada, rendimiento y producción de maíz en Ecuador

Fuente: FAOSTAT 2019

5.2. Producción de maíz duro por provincias del Ecuador

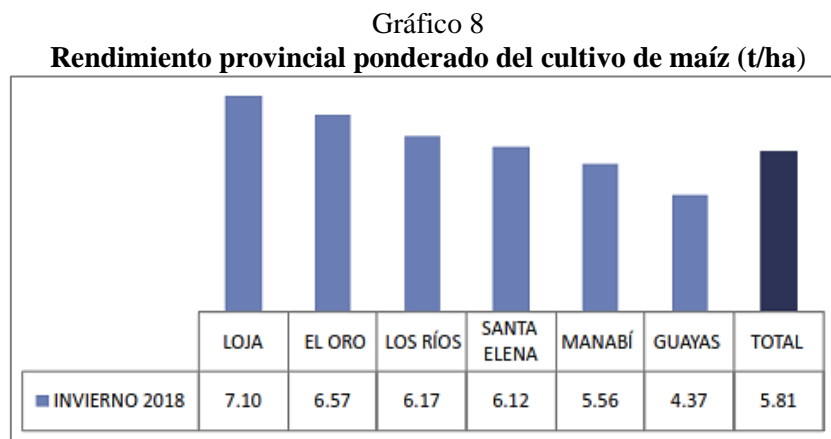
La mayor producción de maíz duro seco se da en la provincia de Los Ríos con el 39.42 % del total nacional, lo que corresponde a 566 mil Tm y una superficie sembrada de 388534 ha a nivel nacional (INEC 2017). De acuerdo con los datos de la ESPAC, la producción de maíz en la provincia de Los Ríos ha disminuido en un 4.88 % para el 2017. Se evidencia a su vez, que la provincia de Sucumbíos ha presentado un notable incremento, con una superficie total sembrada del 1.99% de la superficie nacional equivalente a 7732 ha, tal como se muestra en el gráfico 7.

Gráfico 7

Superficie total sembrada de maíz en Ecuador 2016-2017

Fuente: ESPAC (INEC 2016) y (INEC 2017)

Para el año 2018 el rendimiento nacional promedio del cultivo de maíz fue de 5,81 ton/ha, la provincia que obtuvo un mejor rendimiento fue la provincia de Loja con 7,10 ton/ha y la menor productividad se dio en Guayas con 4,37 ton/ha (MAG 2018b, 3). (ver gráfico 8).



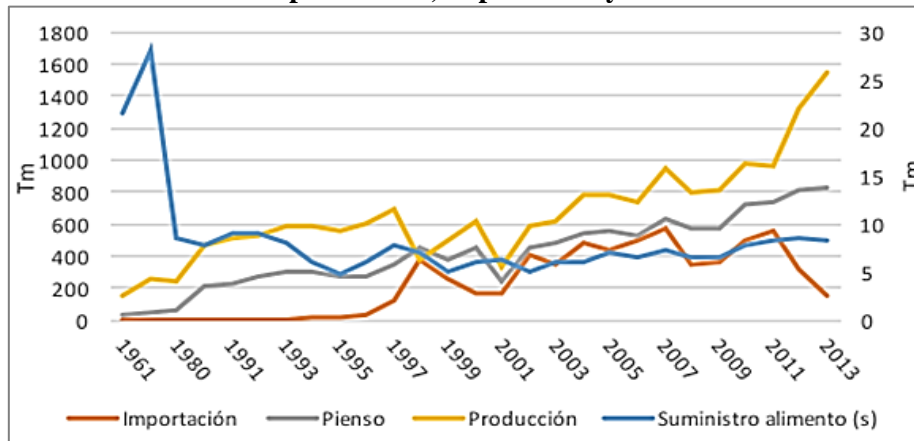
Fuente: (MAG 2018b, 3)

5.3.El maíz duro como cultivo flexible (flex crops)

El maíz en el ámbito agroproductivo es un cultivo que históricamente se ha producido en Ecuador y es considerado como producto priorizado para el cambio de la matriz productiva, en especial para sustituir las importaciones (Lasso 2017, 10). Por otra parte, el maíz es denominado como un *flex crops* o cultivo flexible que puede orientarse tanto a la producción de biocombustibles, alimento, forraje o para la industria (Lasso 2017, 10). Por otro lado, Sumba (2014, 1) menciona que los principales usos del maíz son para la alimentación humana, animal y producción de almidones, además, el maíz puede ser un insumo para la elaboración de aceites, pinturas, caucho jabones, etc.

En el gráfico 9 se presenta la evolución de la producción, importación y el destino del maíz, evidenciándose que en el Ecuador las importaciones han ido disminuyendo, por otra parte, la producción de maíz y pienso han aumentado notablemente a partir del año 2001 y de manera más notable en el año 2011.

Gráfico 9
Evolución de la producción, importación y destino de maíz



Fuente: datos FAOSTAT

Elaborado por: (Lasso 2017, 11)

5.3.1. Biocombustibles en base al cultivo del maíz

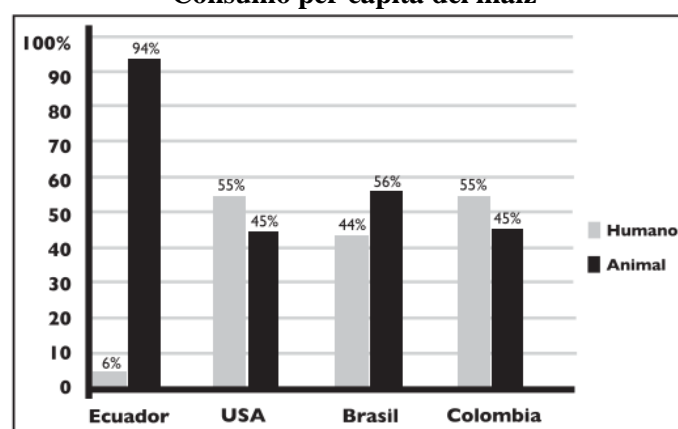
Los biocombustibles ya sean de primera generación (materia prima) o segunda generación (residuo agrícola), muestran menores niveles de emisiones comparados con las emisiones procedentes de los combustibles fósiles, en términos generales, los combustibles fósiles tienen factores de emisión de más de 100 gCO₂e/MJ, mientras que los biocombustibles llegan a cerca de 70g CO₂e/MJ como es para el caso del etanol (Castro 2011, 2). Hay que mencionar, que el uso de biocombustibles tiene una fuerte crítica y debate, ya que, al usar productos agrícolas como insumo para producción de biocombustibles puede incidir en las necesidades alimenticias de la población, de esta manera, se ve afectada la seguridad alimentaria (Bahamonde 2014, 10).

Es importante destacar, que el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) desarrolla estrategias para el cambio de la matriz energética, impulsando la generación de energía mediante fuentes renovables o alternativas como el uso de biomasa para la producción de biocombustibles. El MEER considera 10 principales residuos generados en la producción agrícola para la generación de biocombustibles, uno de estos es el residuo del maíz, el cual genera 434 921,30 t/año de residuos agrícolas con una capacidad de producción de energía bruta de 5 423,32 TJ/año. (Calderon et al. 2017, 15).

5.4. Cadenas agroalimentarias maíz-balanceado-aves.

En el Ecuador, la producción de maíz duro está directamente relacionado a la agroindustria de las carnes, puesto que, el 94 % es destinado como insumo para la industria alimentaria y solo el 6% es usado para el consumo directo en la alimentación humana; adicionalmente, al comparar el comportamiento que tiene este producto con otros países como USA, Brasil y Colombia, se evidencia que en dichos países, el destino del maíz es equilibrado, dado que el mismo es utilizado tanto para el consumo animal como para la alimentación humana (Campana 2008, 89) (Gráfico 10).

Gráfico 10
Consumo per cápita del maíz



Fuente: SICA-CORPEL citado en (Campana 2008, 89)

Yumbla (2011, 117) menciona que en Ecuador a partir de los años noventa se impulsó la formación de cadenas agroindustriales, existiendo para el año 2006 veintitres de estas cadenas, siendo la cadena maíz-balanceado-aves la que está extendida a lo largo del territorio nacional; esta cadena se da principalmente por la actividad avícola, incluyendo “el sector agrícola con la producción de maíz y soya, el sector industrial de balanceados y la industria avícola de carne y huevos”(León y Yumbla 2010, 24).

Para tener una mejor visulación, en el gráfico 11 se presenta la estructura de esta agrocadena realizada por León y Yumbla (2010, 28), la misma que esta constituida por cuatro actores economicos descritos por Yumbla (2011, 117):

a) *Agricultores o campesinos*: Encargados de la producción y entrega del maíz a la procesadora de balanceados, avicultores, agroindustria para su posterior procesamiento y comercialización.

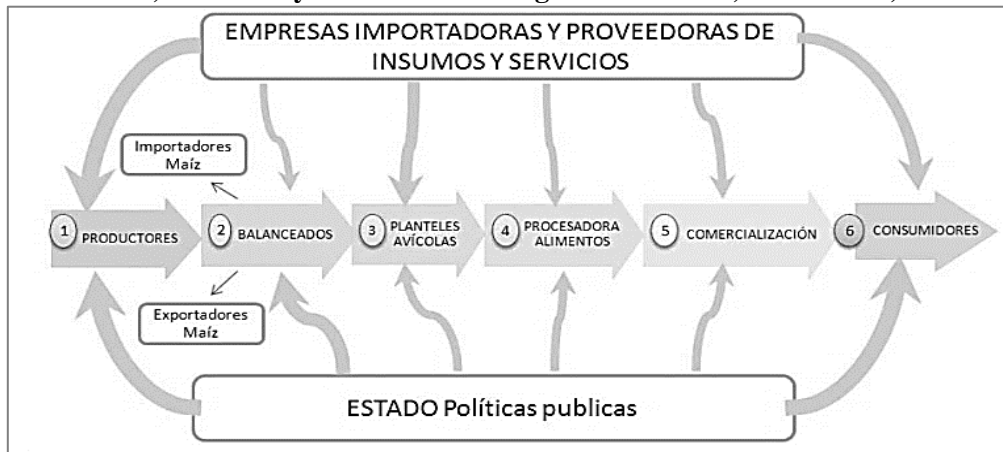
b) *Agroindustrias*: Se encargan de importar, proveer, procesar, transportar, almacenar, distribuir y comercializar: semillas, pollitos BB, agroquímicos, maquinaria, compran maíz para procesarlo y crían aves.

c) *Distribuidores*: son distribuidoras como supermercados, mercados y tiendas.

d) *Consumidores*: Los que adquieren los productos procesados

Gráfico 11

Actores, eslabones y estructura de la agrocadena maíz, balanceado, aves.



Fuente: (León y Yumbla 2010, 28)

Elaboración: María Rosa Yumbla

León y Yumbla (2010, 24–25) señalan que este conjunto de actores y empresas conforman las denominadas cadenas agroalimentarias, donde se crean las integraciones horizontales y verticales con el fin de controlar a todos los eslabones que tiene esta cadena, es decir, desde el productor al consumidor. De igual manera, en el estudio realizado por Yumbla (2011) acerca del encadenamiento agroalimentario, se establece cómo las Empresas Agroindustriales Transnacionales denominadas (EAT), buscan acrecentar su poder en el mercado, las mismas que hacen una integración vertical en las cadenas productivas o *commodity chains* que a la final lo que buscan es aumentar el valor de los productos a lo largo de los diferentes eslabones de la cadena de valor, haciendo que las EAT acumulen más poder. El funcionamiento de este encadenamiento productivo según como lo describen León y Yumbla es que:

Conforme los distintos eslabones de la cadena son controlados por los mismos actores empresariales, generalmente un grupo de empresas bajo una misma firma, ésta va adquiriendo poder en cada eslabón de la cadena y actúa como: proveedor de insumos, tecnología y asesoría, compradores de materias primas, procesadora de balanceados, plantales porcinos y avícolas (ponedoras y engorde), procesadoras de alimentos, transporte y comercialización (León y Yumbla 2010, 25).

5.4.1. Producción del maíz bajo la modalidad de agricultura de contrato.

La producción de maíz duro desarrollada bajo la modalidad de contrato, está ampliamente arraigada en los productores maiceros, la cual se denota por la presencia de intermediarios, utilización de paquetes de insumos y uso intensivo de productos químicos (Campana 2008).

A causa de esto Teubal (citado en Yumbla 2011, 116) describe los efectos dados por el encadenamiento agrícola como: un creciente trabajo asalariado, precarización del empleo rural, multiocupación, expulsión de medianos y pequeños productores del sector, migraciones campo-ciudad, por lo que todo esto, se ve reflejado en los contratos agrarios que terminan en una forma de proletarización del campesinado.

Ante todo, en este modelo surgen problemáticas que aquejan a los campesinos como “el acaparamiento de tierras y cambios en su forma de producción” (Rubio 2014), este modelo agrario de acumulación capitalista trae impactos negativos para los agricultores campesinos y termina en sistemas productivos no sustentables.

Yumbla (2011) y Campana (2008) mencionan que los contratos realizados entre agricultores y grandes empresas, establecen que los agricultores sean responsables de la cantidad, calidad, tiempo de la producción y a su vez, la imposibilidad de vender sus productos a terceros; asimismo, en estos contratos las grandes empresas no otorgan indemnizaciones a los productores en caso de pérdidas de las cosechas por eventos climáticos, pero en caso de incumplimiento por parte del agricultor, la empresa podrá pedir disolución de contrato junto con indemnización de daños y perjuicios.

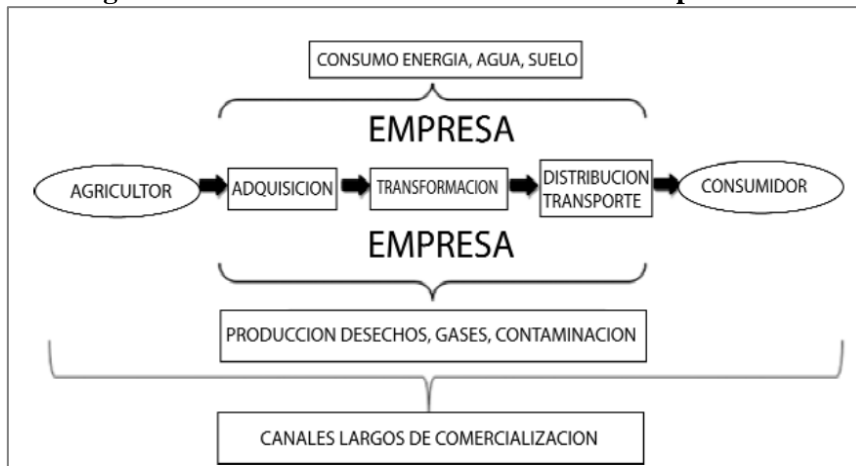
En vista de la demanda que empezó a generar el maíz por parte de la agroindustria, dado que el maíz representa el 61% de la materia prima para la elaboración de balanceados (León y Yumbla 2010, 27), desencadenó en una transformación de la producción campesina a una producción a gran escala, trayendo un desarrollo insostenible con el ingreso de transformación tecnológica, uso de insumos y químicos para sostener el monocultivo de maíz y poder competir con el mercado (Campana 2008).

5.4.2. Impactos ambientales dados por cadena productiva del maíz amarillo

Esta cadena se caracteriza por consumir recursos naturales como agua, tierra biomasa etc, también un consumo alto de energía por parte de las empresas agroindustriales, asimismo, genera desechos contaminantes y gases, esto es más evidente a medida que la cadena productiva se hace más larga (Gráfico 12).

Gráfico 12

Canales largos de comercialización en relación con los impactos ambientales



Fuente: (León y Yumbla 2010, 26)

Esta cadena de valor maíz-balanceado-aves fomenta a su vez:

Alto uso de agroquímicos, establece grandes planteles avícolas y porcinos he implanta fábricas de procesamiento de animales generando problemas de contaminación de aire, suelo y agua por los 'subproductos', gases, heces y orina. Adicionalmente, se estimula el aumento del consumo de proteína animal con ineficiencia energética (Yumbla 2011, 115).

Otros de los impactos ambientales que se asocian a la producción del maíz de acuerdo a la investigación realizada por Campana (2008, 120) son:

- Deterioro de los suelos por la alta dosis de fertilizantes sintéticos causando la perdida de los componentes bióticos del suelo, de igual forma este deterioro se da por la erosión del suelo a causa de la labranza, y el poco descanso que se le da el terreno.
- Perdida de bosques por la presión a producir y sembrar cada vez más lo que conlleva a la deforestación y perdida del paisaje
- Contaminación del agua a causa del arrastre de los químicos del suelo a los ríos o la infiltración a capas freáticas.

6. Dinamismo en el cambio de uso de suelo en la Amazonía

6.1. Antecedentes

De acuerdo con la investigación realizada por Viteri (2013, 46), el dinamismo que se da en la Amazonía en cuanto al cambio del uso del suelo, es pasar de bosques a tierras de cultivos mediante la deforestación a causa de diversos factores como el incremento de la población, reforma agraria, programas de gobierno y la extracción petrolera; aspectos que han condicionado la expansión de la frontera agrícola en la Amazonía ecuatoriana.

Según Viteri (2013), el incremento de la población de la Amazonía ecuatoriana se evidenció a partir de los años 1960 a 1970, marcada por los primeros colonos en provincias como Orellana y Sucumbíos, este incremento de población se dio como efecto de los diferentes programas y medidas adoptadas por el gobierno ecuatoriano con el fin de reactivar la agricultura. Uno de los programas que tuvo mayor incidencia fue el programa PROERA³, el cual involucró al 85% de los agricultores para implementar miles de hectáreas de café y cacao (cultivos de exportación generadores de ingreso), por lo que, esto se asoció a la masiva presencia de pequeños agricultores, al inicio de la expansión de la frontera agrícola en la Amazonía, al incremento de Unidades Productivas Agropecuaria UPAS y al aumento en un 36,2% de la superficie destinada para estos cultivos. Cabe mencionar que, estos programas derivan de las reformas agrarias y colonización, expedidas entre las décadas de 1960 y 1970.

Al mismo tiempo, al final de la década de 1960, se inició la extracción petrolera en la región Amazónica contribuyendo con el incremento poblacional, el cual trajo consigo una serie de impactos como la deforestación por la apertura de caminos, transformación del paisaje, demanda de uso de suelo para cultivar y el ingreso de más colonos en la zona por las oportunidades laborales (Viteri 2013, 7).

Otro de los sectores asociados fuertemente a la deforestación fueron las dinámicas productivas agrarias, acompañadas de la tala ilegal presente en la Amazonía, deforestándose alrededor de 220.000 ha de bosque. (Viteri 2013, 42).

Viteri menciona que, el crecimiento acelerado de la población de la Amazonía tuvo una tasa 3,3 % anual, crecimiento que fue mayor que las tasas de crecimiento de las

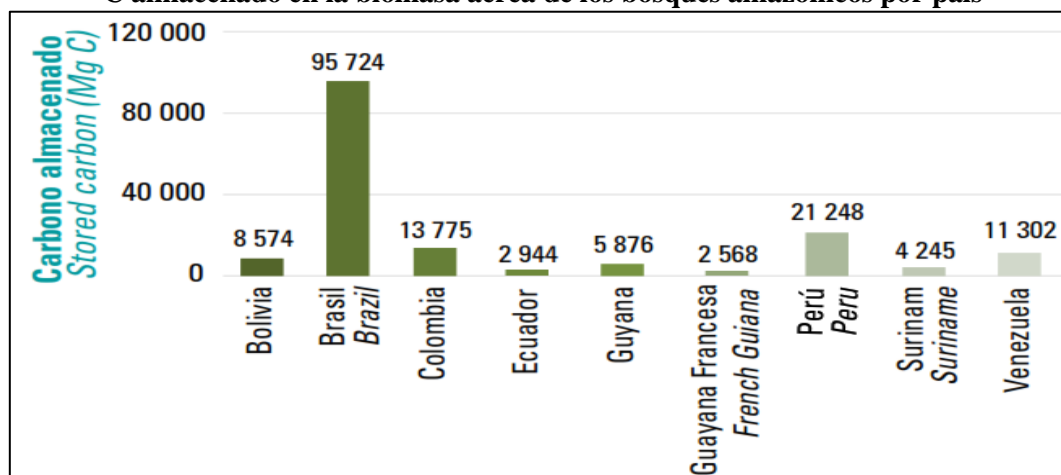
³ PROERA: Programa Emergente de Reactivación Agrícola de las provincias de Orellana y Sucumbíos

principales ciudades de Ecuador como Quito (1,4 %), Guayaquil (1,1%), y Cuenca (1,7%), este incremento poblacional se le asoció a su vez, a la migración de pobladores de la costa, sierra y extranjeros hacia esta región por las dinámicas agrícolas y petroleras ya mencionadas anteriormente.

6.2. Impacto de la deforestación y su relación al cambio climático en la región Amazónica.

De acuerdo con la Organización del Tratado de Cooperación Amazónica (OTCA) (2014, 10), el cambio climático tiene una relación de dos vías en la región amazónica. La primera hace referencia a las grandes cantidades de carbono que almacenan los bosques de la Amazonía, por lo que es fundamental para el balance climático de la región. La segunda vía es la liberación de emisiones de CO₂ a causa de la deforestación presente en la región, contribuyendo de esta manera, al cambio climático. Prüssmann, Suárez, y Chaves (2017, 67) reportan que los bosques del bioma amazónico almacenan 166 256.61 megatoneladas de carbono, en el gráfico 13 se puede apreciar el carbón neto almacenado en la biomasa aérea de los bosques amazónicos por país, donde en Ecuador se tienen almacenados alrededor de 2944 Mg C.

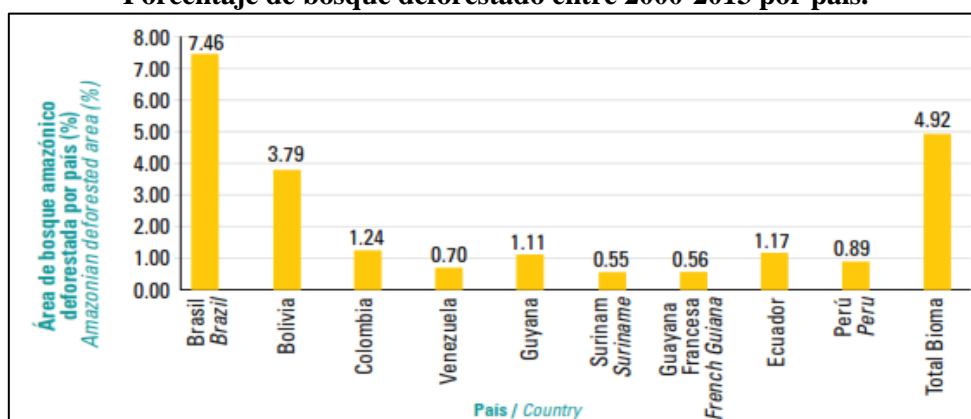
Gráfico 13
C almacenado en la biomasa aérea de los bosques amazónicos por país



Fuente: (Prüssmann, Suárez, y Chaves 2017, 67)

En cuanto a la deforestación en la Amazonía, se tuvo una extensión deforestada de 492 095 km² en el 2000, para el periodo 2000-2013 esta superficie aumentó a 643 040 km². En el gráfico 14 se evidencia el porcentaje de bosque deforestado entre el periodo del 2000–2013 por países, Ecuador tiene un porcentaje de 1.17 % de área de bosque deforestada (Prüssmann, Suárez, y Chaves 2017, 33) .

Gráfico 14
Porcentaje de bosque deforestado entre 2000-2013 por país.



Fuente: (Prüssmann, Suárez, y Chaves 2017, 33)

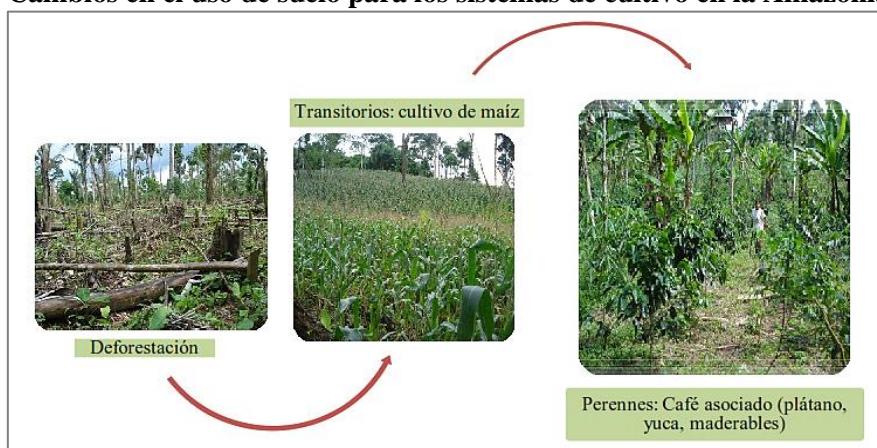
6.3.El dinamismo agrícola en la Amazonía

Las dinámicas productivas agrarias que adoptaron la mayoría de los pobladores fue en base a una agricultura migratoria o itinerante, donde el principal uso de suelo se dio para cultivos transitorios como arroz, maíz y frijoles con el fin de tener una producción inicial destinada al sustento de su hogar, posteriormente se asoció con cultivos como el café robusta en mayor cantidad y cacao nacional minoritariamente (Viteri 2013, 38–40). En este tipo de chacras primaba un alto conocimiento agrícola campesino (IAK, siglas en inglés, Bebbington citado en Viteri 2013, 8) y diversificación de la producción, convirtiéndose de esta manera, en prácticas tradicionales que eran económica, ambiental y socialmente más asequibles (Viteri 2013, 8). Asimismo, los productores realizaban este tipo de prácticas para empezar con un reciclaje de material vegetativo que dotaba al suelo de nutrientes, materia orgánica y un control de plagas y enfermedades que no dependían de productos agroquímicos (Viteri 2013, 8).

“Paralelamente se implementaron los primeros monocultivos de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en escala empresarial, promovidos por créditos del Banco Interamericano de Desarrollo” (Viteri 2013, 40). Este tipo de monocultivos de palma aceitera se les asocio a “una fuerte dependencia de agro-insumos y que además representan problemas conexos, entre ambientales y sociales, como el riesgo para los pequeños productores por desplazamiento y la pérdida de la seguridad alimentaria (Viteri 2013, 8).

En el gráfico 15 se evidencia como se da este dinamismo agrícola en la Amazonía.

Gráfico 15
Cambios en el uso de suelo para los sistemas de cultivo en la Amazonía



Fuente: (Viteri 2013, 46)

Actualmente, se mantiene este tipo de dinamismo agrícola en la Amazonía, ejemplo de esto, se citan los programas de agroforestería planteados por GIZ y MAG (2016, 24) los cuales consisten en establecer sistemas agroforestales bajo el esquema multiestrato, es decir, establecer cultivos de cacao o café en conjunto de productos básicos para autoconsumo como maíz y o yuca, para posteriormente agregar un año más tarde productos maderables y árboles frutales. La importancia de establecer cultivos como el cacao y el café radica en que:

El cacao es una especie originaria de la Amazonía, se desarrolla de manera habitual bajo otros árboles; permitiendo que se lo intercale con árboles maderables nativos y de alto valor económico, que además fortalecen el sistema de cultivo. De igual manera, para el café robusta, estar asociado con árboles puede resultar productivo y sostenible a través del tiempo. Cuando son jóvenes, los cultivos de cacao y de café robusta necesitan mayor sombra. En este período, se los puede intercalar con cultivos de ciclo corto, como yuca, maíz, plátano y otras especies de seguridad alimentaria. Particularmente, en las comunidades indígenas, se configura la producción de cacao o de café en un sistema chakra. (GIZ y MAG 2016, 11)

6.4. Contexto de los productores de la Amazonía norte.

De acuerdo con lo que describe GIZ y MAG (2016, 4), la población rural de la Amazonía norte es caracterizada por comunidades y poblados pequeños que se encuentran dispersos y viven en condiciones de subsistencia con alto índice de necesidades básicas insatisfechas. En el caso de los indígenas presentes en la zona, su economía gira en torno al sector agropecuario, donde la producción en su mayoría es destinada al autoconsumo con excepción del cacao, café y naranjilla; por otra parte, los

colonos de la Amazonía se caracterizan por dedicarse a la producción comercial del café y cacao y otros productos como el maíz, arroz, plátano.

6.4.1. Contexto socioproductivo de la Amazonía norte.

De acuerdo a un estudio realizado por el INIAP citado por GIZ y MAG (2016, 4) determinaron que:

- *El tamaño promedio de la familia es de:*
4 personas en las cuales el 54% son mujeres y el 46 % hombres.
- *Grado de escolaridad*
El 53 % de los miembros de la familia tiene educación primaria
- *Mano de obra*
Entre el 80-100% el manejo y producción de la finca es mano de obra tipo familiar
- *Cultivos predominantes*

Cacao	82,1 % de las fincas
Café	62,4 %
Pastos	53,6 %
Bosques	60 %
- *Características de los cultivos*
El 70 % de las fincas con café se encuentra asociado con especies de árboles maderables, frutales.
El 67 % de los cultivos de cacao se encuentra asociados con árboles de manera dispersa y el 33 % está en pleno sol.
- *Ingresos económicos*
Entre el 62% y el 77 % de los ingresos económicos los obtienen de la venta de café y cacao.
- *Número de unidades productivas agropecuaria UPA´s*

Comparando entre los años de 1974 y 2010 en las provincias de la Amazonía norte, el cacao ha aumentado cuatro veces su superficie (25000 UPA´s en 2010) mientras que el café ha disminuido dos veces (18000 UPA´s en 2010), por otra parte, para el 2016 se estimaron 35000 UPA´s en esta región, donde existe una superficie promedio de las

fincas en Orellana y Sucumbíos de 31,1 ha, en Napo es solo de 9,85 ha/finca (GIZ y MAG 2016, 4).

7. Los sistemas productivos y la expansión del maíz duro Shushufindi.

7.1. El cantón Shushufindi breve descripción.

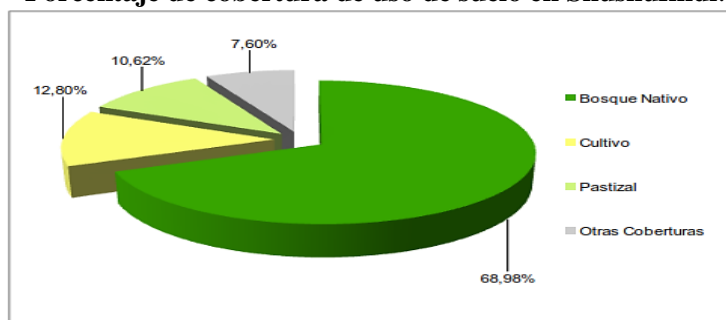
Shushufindi es un cantón ubicado en la provincia de Sucumbíos perteneciente al Ecuador, fue fundado el 7 de agosto de 1984, tiene una extensión de 2463.010 km², con una población total de 50.456 habitantes (2014). Este cantón está conformado por las parroquias de Shushufindi (cabecera cantonal), Limoncocha, Pañacocha, San Roque, San Pedro de los Cofanes y la parroquia Siete de Julio. En el cantón se encuentran presentes poblaciones indígenas originarias como Tetetes, Umaguas, Cofanes, Sionas, Secoyas, Kichuas y Shuaras. (GAD Shushufindi 2015, 2).

El cantón se encuentra habitado de igual forma por colonos mestizos, los cuales llegaron por el boom petrolero, la refinería de gas y las plantas industriales de palma africana, las mismas que son importantes componentes económicos del cantón (MAGAP 2015, 43).

7.1.1. Cobertura y uso de la tierra en el cantón Shushufindi.

En el cantón Shushufindi, las coberturas y usos de la tierra son ocupados por bosque nativo con el 68,98%, seguido por los cultivos con el 12,80% y pastizal con el 10,62%, el resto de coberturas (vegetación arbustiva, cuerpos de agua, vegetación herbácea, erial, área poblada, infraestructura antrópica, plantación forestal y mosaico agropecuario) ocupan el 7,60% (MAGAP 2015, 30). (ver tabla 2-gráfico 16)

Gráfico 16
Porcentaje de cobertura de uso de suelo en Shushufindi.



Fuente: MAGAP programa SIGTIERRA TRACASA-NIPSA- (2015, 30)

Tabla 2
Superficie y porcentaje de las coberturas

Cobertura	Superficie aproximada (ha)	Porcentaje (%)
Bosque Nativo	164.404	68,9
Cultivo	30.516	12,8
Pastizal	25.299	10,6
Vegetación Arbustiva	8.333	3,50
Cuerpo de Agua	5.517	2,32
Vegetación Herbácea	1.155	0,48
Erial	1.087	0,46
Área Poblada	1.055	0,44
Infraestructura Antrópica	815	0,34
Plantación Forestal	118	0,05
Mosaico Agropecuario	23	0,00

Fuente: MAGAP programa SIGTIERRA TRACASA-NIPSA- (2015, 29)

En Shushufindi existe evidencia de pérdida de cobertura vegetal e intervención del bosque, entre los años 2008 y 2013 esta intervención fue de 5,37%, es decir, de 588.94 ha a 13990.14 ha de bosque intervenido (tabla 3), cabe señalar que estas pérdidas son ocasionadas principalmente por las actividades agrícolas y ganaderas dadas en el cantón (GAD Shushufindi 2015, 3).

Tabla 3
Análisis comparativo de los usos de suelo en Shushufindi

Análisis comparativo de los usos de suelo						
Unidad de uso o cobertura vegetal	Año 2008	%	Año 2013	%	Diferencia (Ha)	%
	(Ha)		(Ha)			
Bosque intervenido	588,94	0,24	13990,14	5,68	13401,2	5,44
Cultivo de palma africana	16300,23	6,62	9248,94	3,76	7051,29	2,86

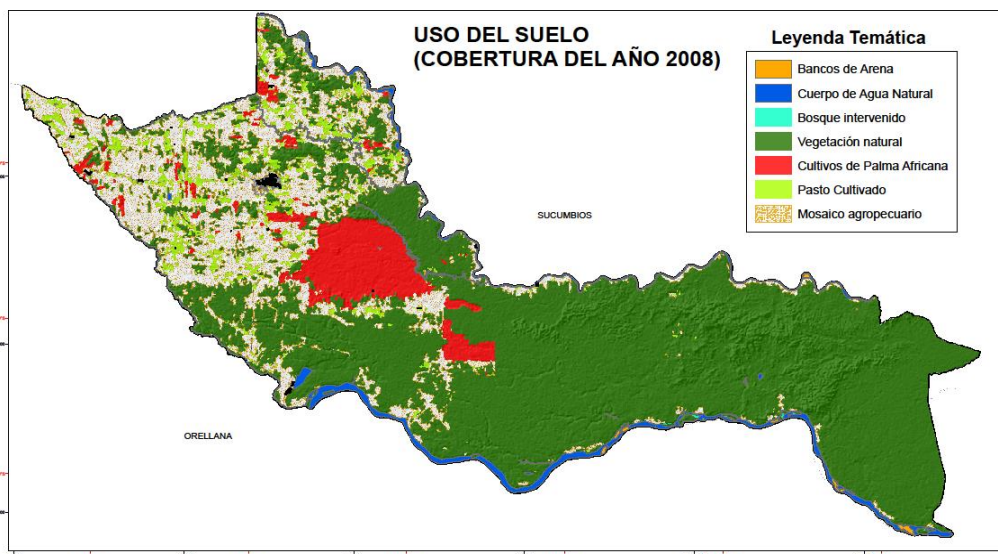
Fuente: (GAD Shushufindi 2015, 3)

Hay que mencionar que, en Shushufindi el cultivo predominante es la palma africana, la misma que ha denotado un decrecimiento, ya que, de acuerdo al análisis comparativo entre los años 2008 al 2013, se tiene una disminución de la presencia de la palma africana pasando de 16300,23 ha a 9248, tal como se presenta en el gráfico 17.

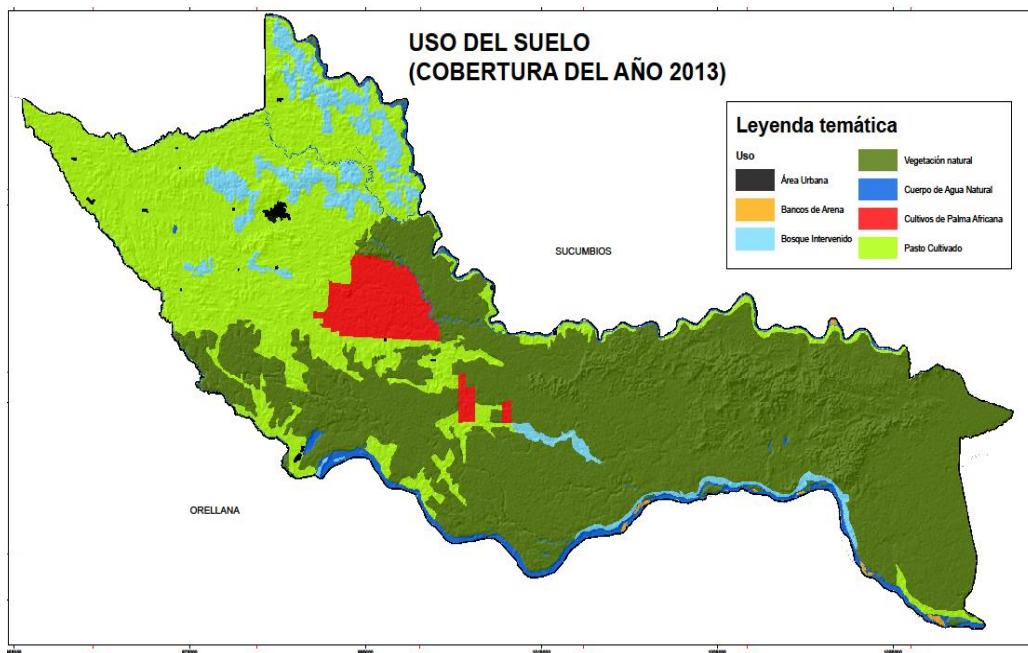
Gráfico 17

Cambio de uso de suelo en el cantón de Shushufindi (2008-2013)

a) Cobertura y uso de suelo (2008)



b) Cobertura y uso de suelo (2013)



Fuente: (GAD Shushufindi 2015, 3)

7.2. Caracterización de los Sistemas Productivos en Shushufindi

De acuerdo con la caracterización de los sistemas productivos presentes en Shushufindi, la cual fue realizada por MAGAP-SIGTIERRAS (2015, 44), se menciona que “las actividades agropecuarias de la población económicamente activa cantonal se desarrollan bajo formas de economía campesina y sistemas de producción,

fundamentalmente de corte mercantil-precapitalista de subsistencia, luego está el sistema empresarial que por su cobertura y significado económico es muy importante en el cantón”. En la tabla 4 se observa que el sistema dominante es el de producción mercantil con el 15,09 %, seguido del sistema empresarial con 5,91% y por último sistema el marginal y combinado con 1,91 % y 0,55 % respectivamente.

Tabla 4
Sistemas Productivos en el cantón Shushufindi

Sistema Productivo	Superficie aproximada (ha)	Porcentaje (%)	Sistema económico
Mercantil	35.952	15,09	Precapitalista
Empresarial	14.092	5,91	Capitalista
Marginal	4.544	1,91	No capitalista
Combinado	1.314	0,55	Precapitalista
No Aplica	182.419	76,54	No aplica
Total	238.321	100	

Fuente: TRACASA-NIPSA tomado de MAGAP-SIGTIERRAS (2015, 44)

7.2.1. Sistemas de producción Empresarial

Caracterización según (MAGAP 2015, 46):

- Su base económica es la producción agroindustrial relacionado con el cultivo de palma africana.
- Son cultivos intensivos y de grandes propiedades.
- La tenencia de tierra es propia.
- Tiene presencia de alta tecnología a lo largo del proceso de la cadena de producción.
- Las relaciones laborales son de mano de obra de tipo asalariada permanente.
- Poseen maquinaria
- Equipos e infraestructura propia
- Asistencia técnica privada permanente
- Cuentan con un sistema de registro contable en todo el proceso
- Para la producción de plántulas utilizan semilla certificada y registrada
- Uso de productos químicos y orgánicos en el manejo de las plantaciones
- La economía de tipo capitalistas con vínculos con los mercados nacional y para la exportación

- Utilizan 14.092 ha de terreno, con una cobertura del 25,21% de la superficie total con uso agropecuario del cantón (55.902 ha).

7.2.2. Sistemas de producción Combinado

Caracterización según (MAGAP 2015, 47):

- Sistemas de tipo precapitalista
- Basa su económica en productos relacionados con cadenas de producción agroindustrial de palma africana
- Estructura agraria de medianos y pequeños propietarios de carácter intensivo/extensivo.
- Tecnología de producción semi-tecnificado, con mano de obra básicamente asalariada ocasional complementada con trabajo familiar.
- Asistencia técnica privada permanente
- Equipos para las labores de mantenimiento y cosecha
- Registro contable en todo el proceso
- Financiamiento a través de créditos
- Uso semilla certificada y registrada
- Uso de productos químicos y orgánicos para el mantenimiento y manejo del cultivo.
- El destino de la producción es “la agroindustria para la exportación y mercado local de los derivados de este producto, proceso en el cual intervienen las empresas extractoras Palmar del Río y Pamela ubicadas en el Coca y Palmeras del Ecuador que opera en Shushufindi” (MAGAP 2015, 47).
- Las plantaciones abarcan una superficie de 1.314 ha que representa el 2,35% de la superficie total con uso agropecuario del cantón (55.902 ha).

“Según ANCUPA⁴, en este grupo de palmicultores se incluye a 20 familias nativas (Secoyas) de la Comunidad de San Pablo que cultivan palma africana, con 15 ha cada una asociadas directamente con la empresa Palmeras del Ecuador que es la mayor productora en la provincia de Sucumbíos y en la Región Amazónica Ecuatoriana” (MAGAP 2015, 47).

⁴ ANCUPA: Asociación Nacional de Cultivadores de Palma Africana

7.2.3. Sistema agrícola mercantil

Caracterización según el (MAGAP 2015, 47–48)

- Este sistema mercantil agrícola ocupa 13.179 ha que representa el 23,58% en relación a la superficie bajo uso agropecuario del cantón (55.902 ha).
- Los principales productos de este sistema son: cacao (7.240 ha), palma africana (4.043 ha), café (846 ha), maíz duro (511 ha), plátano (343 ha), malanga (76 ha), yuca (42 ha), misceláneo de frutales (23 ha), palmito (14 ha) y otros (naranja, papaya, maíz suave, mango, piña y caña de azúcar artesanal).
- Sistemas en transición y no consolidados
- Estructura agraria de pequeñas propiedades y parcelas de carácter extensivo.
- Formas de tenencia de la tierra principalmente propia
- Niveles de productividad de técnicas tradicionales y semitecnificadas de la región amazónica ecuatoriana.
- Las labores agrícolas se realizan principalmente con herramientas manuales.
- Para labores forestales y otros cultivos como la palma africana, con asistencia técnica pública ocasional.
- Sin acceso al crédito.
- No llevan registro contable en ninguna actividad del proceso productivo
- la semilla es seleccionada/certificada/registrada
- El manejo de determinados cultivos utiliza productos químicos (palma africana) y orgánicos.
- Los trabajos en las diferentes fases de producción utilizan principalmente mano de obra familiar y para ciertas labores es asalariada ocasional.
- Los productos como: maíz duro, plátano, yuca, frutales en general se destinan a los mercados locales y nacionales y para el autoconsumo.

7.2.4. Sistema agrícola marginal

Caracterización según el (MAGAP 2015, 49)

- Grupo de productores marginales no capitalistas,
- Producción y productividad muy limitada.
- Abarca una superficie de 1.953 ha que representa el 3,49% respecto del uso agropecuario cantonal.
- Los productos principales que sustentan estas economías son: cacao (1.072 ha), plátano (291 ha), maíz duro (262 ha), café (218 ha), palma africana (63 ha), yuca (17 ha), malanga (12 ha) y otros (17 ha: caña de azúcar artesanal, naranja y piña).
- La actividad agropecuaria no es la principal fuente de ingresos de las familias
- Economías campesinas de sobrevivencia, cuya racionalidad es la reproducción del grupo social, de la familia y del propio sistema.
- Algunos productos son exclusivos para la venta como: cacao, café, palma africana y malanga
- Los otros productos se destinan al autoconsumo y alimentación de los animales de las granjas, el excedente de este se comercializa principalmente en la finca.
- Estructura agraria de pequeñas parcelas extensivas con tenencia de la tierra principalmente propia.
- Sin acceso al crédito ni a la asistencia técnica
- No llevan ningún tipo de registro contable
- Utilizan semilla seleccionada.
- Todo el proceso de producción es eminentemente tradicional, sin ningún tipo de manejo técnico de los cultivos.
- Los procesos productivos se realizan con mano de obra familiar y prestamano.
- En los sistemas de los nativos se ha ido perdiendo poco a poco el trabajo comunitario o de grupos.

En la tabla 5 se indica los principales cultivos que conforman cada sistema de producción y su participación en hectáreas.

Tabla 5
Sistemas de producción y principales cultivos

Sistema Productivo	Superficie aproximada (ha)	Porcentaje (%)
Mercantil	35.952	15.09
Pasto cultivado	21.386	8,97
Cacao	7.240	3,04
Palma africana	4.043	1,70
Pasto cultivado con presencia de árboles	1.328	0,56
Café	846	0,35
Maíz duro	511	0,21
Plátano	343	0,14
Malanga	76	0,03
Granja piscícola	59	0,02
Yuca	42	0,02
Misceláneo de frutales	23	0,009
Palmito	14	0,01
Naranja	13	0,01
Papaya	11	0,005
Maíz suave	7	0,003
Mango	5	0,002
Piña	3	0,001
Caña de azúcar artesanal	1	0,001
Empresarial	14.092	5,91
Palma africana	14.092	5,91
Marginal	4.544	1,91
Pasto cultivado	2.355	0,99
Cacao	1.072	0,45
Plátano	291	0,12
Maíz duro	262	0,11
Pasto cultivado con presencia de árboles	230	0,10
Café	218	0,09
Palma africana	63	0,026
Yuca	17	0,01
Malanga	12	0,01
Caña de azúcar artesanal	8	0,003
Naranja	7	0,003
Granja piscícola	6	0,003
Piña	2	0,001
Combinado	1.314	0,55
Palma africana	1.314	0,55
No aplica	182.419	76,54

Fuente: (MAGAP 2015, 45–46)

7.3. El desarrollo del cultivo del maíz en Shushufindi.

En cuanto a la superficie de maíz por parroquias de Shushufindi, de acuerdo con los PDyOT, se tiene a la parroquia Siete de Julio con (939 ha) (GADP Rural Siete de Julio

2015), San Roque (300 ha) (GADP Rural San Roque 2015), San Pedro de los Cofanes (60 ha) (GADP San Pedro de los Cofanes 2015); dando así, una superficie de maíz de 1299 ha entre estas 3 parroquias, cabe mencionar que los POyOT de Limoncocha y Pañacocha mencionan que en estas parroquias existe la producción de maíz pero no cuentan con el dato de la superficie sembrada.

La significancia de la presencia de maíz duro en las diferentes parroquias se evidencia por los proyectos e incentivos generados por parte del Gobierno Autónomo Descentralizado de Sucumbíos, a continuación, se presentan algunos de los proyectos que se han venido desarrollando en el cantón Shushufindi:

- *“Desarrollo Agrosustentable y sostenible de la cadena productiva de maíz en Sucumbíos” dado a través del CISAS⁵”*
 - Entrega de semillas e insumos como fertilizantes, fungicidas, herbicidas, insecticidas para la producción de maíz a beneficiarios del cantón Shushufindi y otros cantones de la provincia, con el fin de potencializar la agricultura con el cultivo del maíz de alto rendimiento.
- *Implementación de maíz duro en Sucumbíos:*
 - Alianza entre la Junta Parroquial de Sucumbíos y Ecuaquímica para sembrar 31 ha de cultivo de maíz duro (SINAGAP 2018).
- *Proyecto de desarrollo de la capacidad productiva en el cultivo de ciclo corto maíz y arroz en Pañacocha-Shushufindi.*
 - Enfoque a la seguridad alimentaria para mejorar las condiciones de vida de los pequeños y medianos productores.
 - Objetivo: Implementar 70 hectáreas de maíz duro y 22 hectáreas de arroz de secano.
 - Entrega de paquetes tecnológicos: herbicidas, insecticidas, fungicidas, semilla certificada de maíz Trueno, arroz INIAP 15, fertilizantes edáficos, fertilizante foliar, tanque plástico de 100 litros, sacos de yute de 100 y 200 libras.
 - Monto de 79.117,71 dólares
 - Para este proyecto se realizó un convenio en el cual se detalló los aportes económicos que cada entidad aportaría al proyecto:

⁵ CISAS: Centro de Investigaciones y Servicios Agropecuarios de Sucumbíos

- *GADMSH* 28.570,71 dólares (transporte, insumos y semillas de maíz y arroz)
- *GADRP* 5.000 dólares (semillas de maíz y arroz)
- *MAGAP-DPAS* 9.561,00 dólares (seguimiento técnico y capacitación)
- *Petroamazonas* 3.800,00 dólares (transporte de insumos y comercialización en canoa)
- *Beneficiarios:* 32.186,00 dólares (mano de obra).

(MAG 2017).

- *Adquisición de maquinaria agrícola parroquia San Roque en Shushufindi*
 - Adquisición de maquinaria para la cosecha de arroz, maíz y soya; pensando en el desarrollo de la provincia.
 - Objetivo: buscar el inicio de la industrialización del campo, acortando los tiempos y costos de la cosecha.
 - Maquinaria entregada por el gobierno provincial
- (GAD PROVINCIAL SUCUMBIOS 2015)
- *Fomento agrícola en la parroquia 7 de Julio en Shushufindi.*
 - Invertir en maquinaria agrícola para bajar los costos de producción
 - Mejorar y fortalecer el trabajo de los agricultores en la siembra y cosecha de maíz y arroz.
 - Para el 2017 trabajaron en la preparación de 425 ha para la siembra de productos agrícolas
 - Se cosecharon 300 ha de maíz y arroz mediante la tecnificación de cultivos
 - Creación de la Empresa Publica Servicios Agrícolas (EPSA)
 - objetivo: promover la comercialización de los productos agrícolas.

(GAD Parroquial Siete de Julio 2017)

En la ilustración 1 se muestran la cosechadora y desgranadora de maíz duro seco disponible para los productores maiceros en la parroquia Siete de Julio.

Ilustración 1
Cosechadora y desgranadora de maíz duro seco



Fuente: (GADPR Siete de Julio 2018)

7.3.1. Agricultura tradicional en Shushufindi

Tradicionalmente en Shushufindi se cultivan productos para la dieta diaria en chacras, las mismas que son cultivadas por ciertos agricultores especialmente indígenas, esta producción agrícola es bajo una agricultura familiar donde está siempre “pendiente que no falte ningún producto, poco piensan en la venta; la rotación de estos cultivos es una práctica para mejorar los suelos y evitar plagas y enfermedades”(GADP Limoncocha 2015). De acuerdo a Maza (2015, párr. 2) en la parroquia de Limoncocha ubicada en el Cantón Shushufindi, el modelo productivo comunitario está siendo remplazado por la productividad mecanizada e industrial, además que la inversión pública está dirigida para fomentar la producción del campo, ejemplo de ello es la adquisición de un tractor para arar, sembrar y cosechar arroz y maíz.

Capítulo segundo

Lineamientos y metodologías

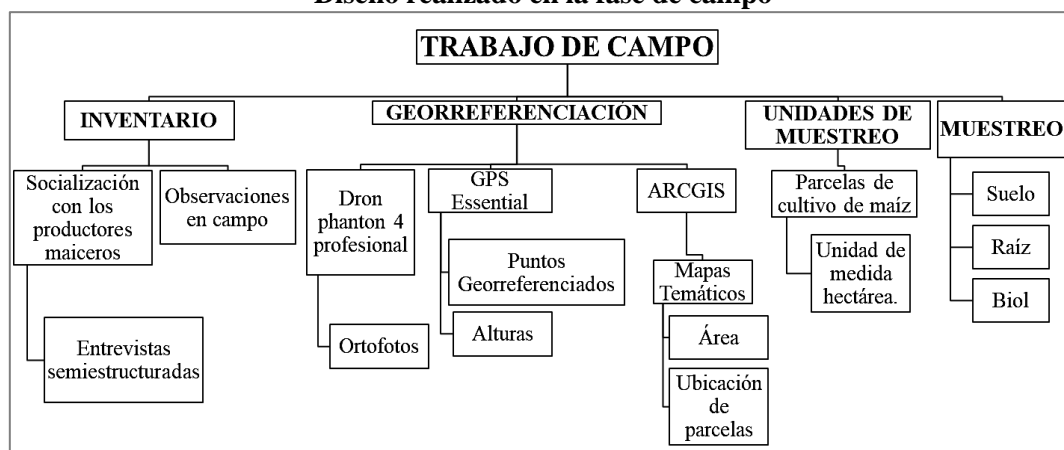
Para el estudio se consideró los lineamientos planteados por Ribal et al. (2009). El primer lineamiento fue definir el marco del estudio donde se describen los escenarios o modelos a ser evaluados. El segundo lineamiento es la evaluación ambiental mediante el Análisis de Ciclo de Vida (ACV), el mismo que contempla dos categorías de impacto, emisiones de GEIs y consumo de agua dulce. Finalmente, el último lineamiento fue la evaluación socioeconómica mediante la ecoeficiencia.

La investigación estuvo distribuida en tres fases: campo, laboratorio y gabinete. A continuación, se describen los lineamientos y las tres fases consideradas para la investigación.

1. Fase de campo

En la fase de campo se utilizó el método descriptivo, método que permitió describir el fenómeno tal como se presenta en campo (Sampieri, Collado, y Lucio 2006, 102). En el gráfico 18 se muestra el diseño de la fase campo.

Gráfico 18
Diseño realizado en la fase de campo



Elaboración: Propia

1.1. Inventario - Socialización con los productores

1.1.1. Marco muestral.

La realización de un ACV constituye un alto costo y a menudo no es muy relevante recopilar todos los datos sobre el sitio o todas las organizaciones que participan en la producción, uso y disposición de un bien o un servicio como es para el caso del ACV social y económico como lo argumenta la UNEP⁶ (2009, 57). Por lo que, para la investigación se consideraron las técnicas de muestreo no probabilístico sobre una población estudio, dadas por Otzen y Manterola (2017), las técnicas utilizadas para esta investigación fueron el muestreo por conveniencia y el muestreo accidental o consecutivo.

a) Muestreo por conveniencia

En primera instancia se utilizó la técnica del muestreo por conveniencia, que de acuerdo a lo que describen Otzen y Manterola (2017, 230), esta técnica de muestreo “permite seleccionar aquellos casos accesibles que acepten ser incluidos. Esto, fundamentado en la conveniente accesibilidad y proximidad de los sujetos para el investigador”. Por lo que se realizaron 10 entrevistas semiestructuradas a productores maiceros en la cabecera cantonal de Shushufindi, a los cuales se tenía acceso y accedieron a la entrevista.

b) Accidental o consecutivo.

Mientras que se iba desarrollando la investigación se realizó un muestreo accidental o consecutivo, según Otzen y Manterola (2017, 230) esta técnica se “fundamenta en reclutar casos hasta que se completa el número de sujetos necesarios para completar el tamaño de muestra deseado. Estos se eligen de manera casual, de tal modo que quienes realizan el estudio eligen un lugar a partir del cual reclutan los sujetos a estudio de la población que accidentalmente se encuentren a su disposición”. De esta manera, se completó un total de 20 entrevistas semiestructuradas con los productores maiceros de Shushufindi.

⁶ UNEP: Programa de las Naciones Unidas para el Ambiente por sus siglas en ingles.

1.1.2. Cuestionario para las entrevistas semiestructuradas

El cuestionario para las entrevistas consistió en una serie de preguntas para recopilar información, como datos del productor, prácticas agrícolas, uso de fertilizantes, tamaño de las parcelas, plagas y enfermedades e insumos para el control de plagas, uso de maquinaria, etc. Además, se indagó información para el análisis social y económico de los diferentes modelos de producción agrícola de maíz como se presentan en el anexo 1 basados en los siguientes indicadores:

a) Indicadores para la caracterización del productor de maíz:

- Edad promedio de los productores
- Participación por género (hombre-mujer)
- Grado escolaridad
- Etnia
- Acceso a servicios básicos
- Acceso a la salud
- Asociaciones de maiceros
- Tenencia de tierra
- Capacitaciones en temas productivos - ambientales
- Porcentaje de ingreso económico por el cultivo de maíz

b) Indicadores para la caracterización de la producción de maíz duro:

- Variedad de la semilla más utilizada
- Percepción de problemas de producción
- Principal plaga que afecta al cultivo
- Fertilización
- Cobertura fomento
- Uso de semilla
- Superficie promedio

1.2. Levantamiento de información para el ACV ambiental.

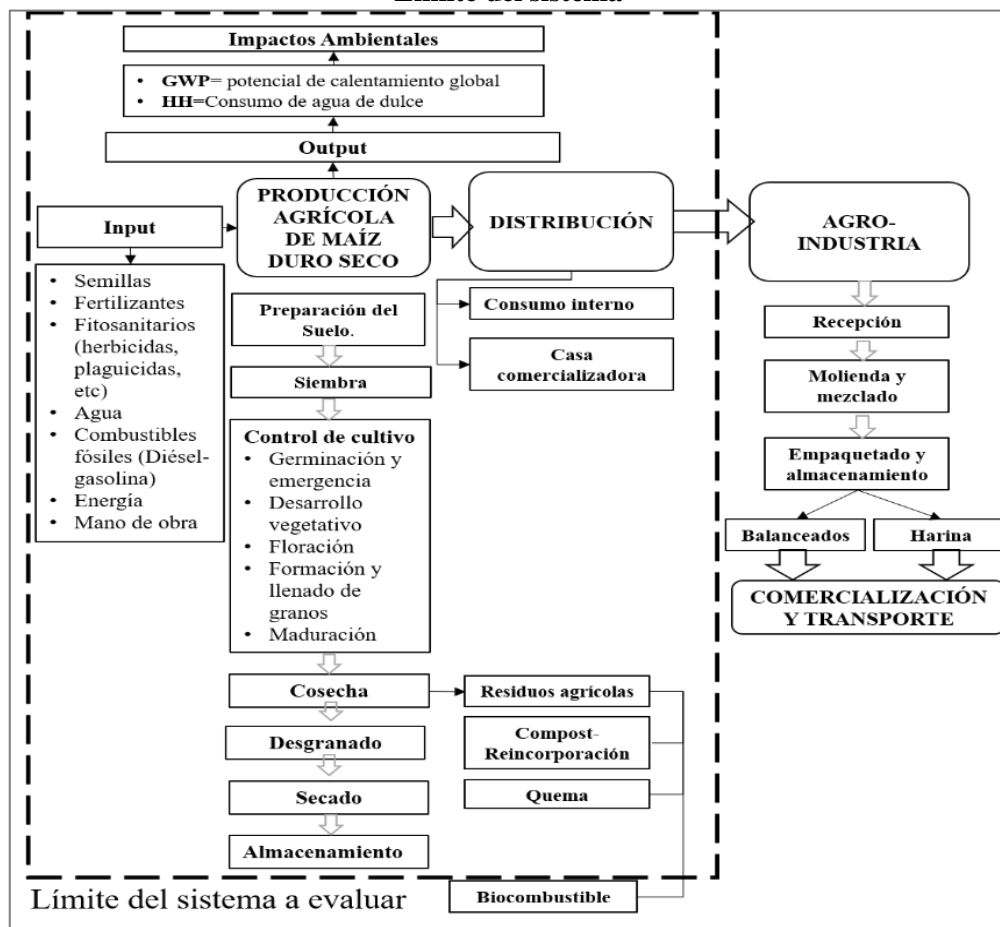
Se consideró la metodología del Análisis de Ciclo Vida para la agricultura «ACV agrícola», metodología aplicada generalmente para poder comparar diferentes escenarios alternativos de producción, tal como es el caso del presente estudio, además, este tipo de metodología permitió la comparación de las prácticas tradicionales con las convencionales, como se menciona en Arango, Carmona, y Romero (2014, 119).

Asimismo, se tomó las consideraciones y recomendaciones para la evaluación ambiental mediante ACV dadas por Ramírez y Spugnoli (2016) y Oliveral, Cristobal, y Saizar (2016).

Una vez realizado el levantamiento de muestreo por conveniencia se procedió a determinar los casos de estudio para el levantamiento del ACV ambiental, para la

cual, se seleccionaron 3 productores maiceros, uno por cada modelo de producción agrícola de maíz presentes en el territorio muestreado (ver el apartado 3.1.3.1), dichos productores accedieron satisfactoriamente para levantar el inventario de análisis de ciclo vida (IACV), es decir, la información de datos de entradas(inputs⁷)/insumos y salidas(outputs⁸)/Rendimiento-Residuos-GWP, desde la fase producción agrícola (preparación del suelo, siembra, control de cultivo, cosecha, desgranado, secado, almacenamiento) hasta la fase de distribución (consumo interno, casa comercializadora), tomando en cuenta los límites del sistema determinados en la investigación como se muestra en el gráfico 19.

Gráfico 19
Límite del sistema



Elaboración: Propia

⁷ **Inputs:** Se refiere a los diferentes insumos (recursos, materias primas, productos, transporte, electricidad, energía... etc., que se tienen en cuenta en cada fase del sistema. (IHOBE 2009); (Oliveral, Cristobal, y Saizar 2016, 21)

⁸ **Outputs:** Emisiones resultantes de cada fase del sistema como aire, agua y al suelo, también hace referencia a los residuos y los subproductos (IHOBE 2009); (Oliveral, Cristobal, y Saizar 2016, 21)

La información necesaria para el IACV se fundamentó en entrevistas semiestructuradas con el productor maicero de cada modelo, observaciones en campo en cada fase de producción y resultados de laboratorio, considerando los inputs y outputs de la tabla 6.

Tabla 6

Inputs tomados en cuenta para la investigación	
Inputs	Unidad
Semilla	kg/ha
Cantidad de combustibles	Galones/ha
Gasolina	
Diésel	
Lubricantes	
Cantidad de fitosanitarios	kg/ha - L/ha
Herbicidas	
Plaguicidas	
Fungicidas	
Cantidad de fertilizantes sintéticos, orgánicos	kg/ha - L/ha kg/ha
Nitrógeno (N)	
Fosforo (P)	
Potasio (K)	
Cantidad de urea	Ton/ha
Tiempo trabajado	horas
Número de trabajadores	-
Outputs	Unidad
Residuo agrícola generado	Ton/ha
Residuo incorporado	
Residuo quemado	
Rendimiento	kg de maíz /ha
Emisiones de CO ₂	CO ₂ eq /ha
Consumo de agua dulce	m ³ /ha

Elaboración: Propia

1.3. Marco del estudio

1.3.1. Modelos de producción agrícola de maíz identificados

Se identificaron tres modelos de producción agrícola de maíz, el modelo convencional (MC), modelo semi-convencional (MS) y el modelo tradicional (MT). La caracterización se la realizó mediante los atributos que diferencian la agricultura campesina de la agricultura moderna planteados por Toledo citado en Martínez (2008, 11), además, se incorporó otros atributos que fueron adaptados para el presente estudio como tipo de semilla, maquinaria, insumos, prácticas agrícolas, presencia y control de plagas. (ver tabla 7).

Tabla 7
Caracterización de los modelos de producción de maíz en Shushufindi

	Escenario 1	Escenario 2	Escenario 3
Caracterización atributo	Modelo convencional (MC)	Modelo semi-convencional (MS)	Modelo tradicional (MT)
Energía	Predomina uso de energía fósil (gas-petróleo).	Predomina uso de energía fósil (gas-petróleo)- o alternativas (solar)	Uso de energía renovable (solar) menor predominio de combustible fósiles
Escala	Área de producción >1 ha	Parcelas de 0,5 ha Cuadrilla 0,71 ha <= 1 ha	Área de producción Parcela, chacra.
Objetivo	Comercio	Comercio-autoconsumo	Autoconsumo- (poco o nada al comercio)
Fuerza de trabajo	Asalariada-Jornal	Jornal-Familiar-mingas	Familiar-Comunal
Diversidad	Monocultivo Baja diversidad	Monocultivo – Asociados Baja diversidad	Policultivo Alta diversidad
Productividad	“Irregular en el tiempo, con alta productividad laboral; baja productividad ecológica y energética” (Martínez 2008, 11).	“Irregular en el tiempo, con alta productividad laboral; baja productividad ecológica y energética” (Martínez 2008, 11).	“Regular en el tiempo. Alta productividad ecológico-energética; baja productividad en el trabajo” (Martínez 2008, 11).
Semilla	Modificada	Modificada	No modificada
Maquinaria	Maquinaria agrícola de gran tamaño (Desgranadora, cosechadora, canguro agrícola, guadaña)	Maquinaria agrícola artesanal (Desgranadora artesana-guadaña)	-No existe uso de maquinaria agrícola -para el presente estudio el productor utilizó guadaña.
Insumos	-Fitosanitarios -Fertilizantes sintéticos	-Fitosanitarios -Fertilizantes sintéticos	-abonos orgánicos -bioles -compost
Prácticas agrícolas	- Sin rotación de cultivos	-Puede o no existir la rotación de cultivos	-Rotación de cultivos
Presencia de plagas	Si	Si	Si-No
Control de plagas	Agroquímico	Agroquímico	Control natural
Desechos	-Reincorporación de residuos, quema -Desechos de agroquímicos	-Reincorporación de residuos, quema -Desechos de agroquímicos	-Reincorporación de residuos -Producción de desechos orgánicos
Conocimiento	Especializado, ciencia convencional, estandarizado	Local- Convencional	Local, tradicional basado en creencias de transmisión limitada.
Cosmovisión	Mercadocéntrica: “la naturaleza es un sistema separado de la sociedad, cuyas riquezas deben ser explotadas a través de la ciencia y la técnica”(Martínez 2008, 11).	Mercadocéntrica	Ecocéntrica: “La naturaleza es una entidad viva y sacral. Lo natural se encarna en deidad con quien debe dialogar durante la apropiación” (Martínez 2008, 11).

Fuente: (Martínez 2008, 11)- observaciones en campo y entrevistas semiestructuras
 Elaboración: Propia

1.3.2. Información geográfica.

La información geográfica se la realizó mediante la georreferenciación de las tres parcelas identificadas para cada modelo de producción agrícola de maíz, esto con ayuda de un vehículo aéreo no tripulado (UAV por sus siglas en inglés), posteriormente se procesó la información en un GIS (ArcGIS®), en el cual, se mapeó la ubicación y el área de cada parcela.

1.3.2.1. Ubicación de las parcelas del estudio

Las tres parcelas estudiadas se encuentran ubicadas en el cantón Shushufindi, en la provincia de Sucumbíos. (Ver gráfico 20), a su vez, también se observa la distribución de los cultivos de maíz en el cantón de Shushufindi de acuerdo con el levantamiento de datos realizados por el SINAGAP⁹ en la actualidad SIPA¹⁰, datos tomados para el Diagnóstico Agroproductivo Provincial 2011 como se cita en el PDyOT de Shushufindi 2015-2035.

1.3.2.2. Superficie sembrada por cada modelo

En la tabla 8 se presenta el área abordada por cada modelo de producción agrícola de maíz, en los gráficos 21, 22 y 23 se pueden apreciar las superficies de cada parcela estudiada y su ubicación.

Tabla 8.

Tipo de Modelo de producción	Descripción del área de investigación				Ubicación
	Área muestreada		X	Y	
(MC)	4	ha	310599	9978558	Vía Atahualpa
(MS)	0,5	ha	310662	9978571	Los Ríos-Terreno N° 11 Lotización de la asociación de empleados de Shushufindi.
(MT)	0,15	ha	312274	9978832	Vía Shushufindi- Finca RICAAMA*

*RICAAMA: Riqueza del campo amazónico -finca permacultural

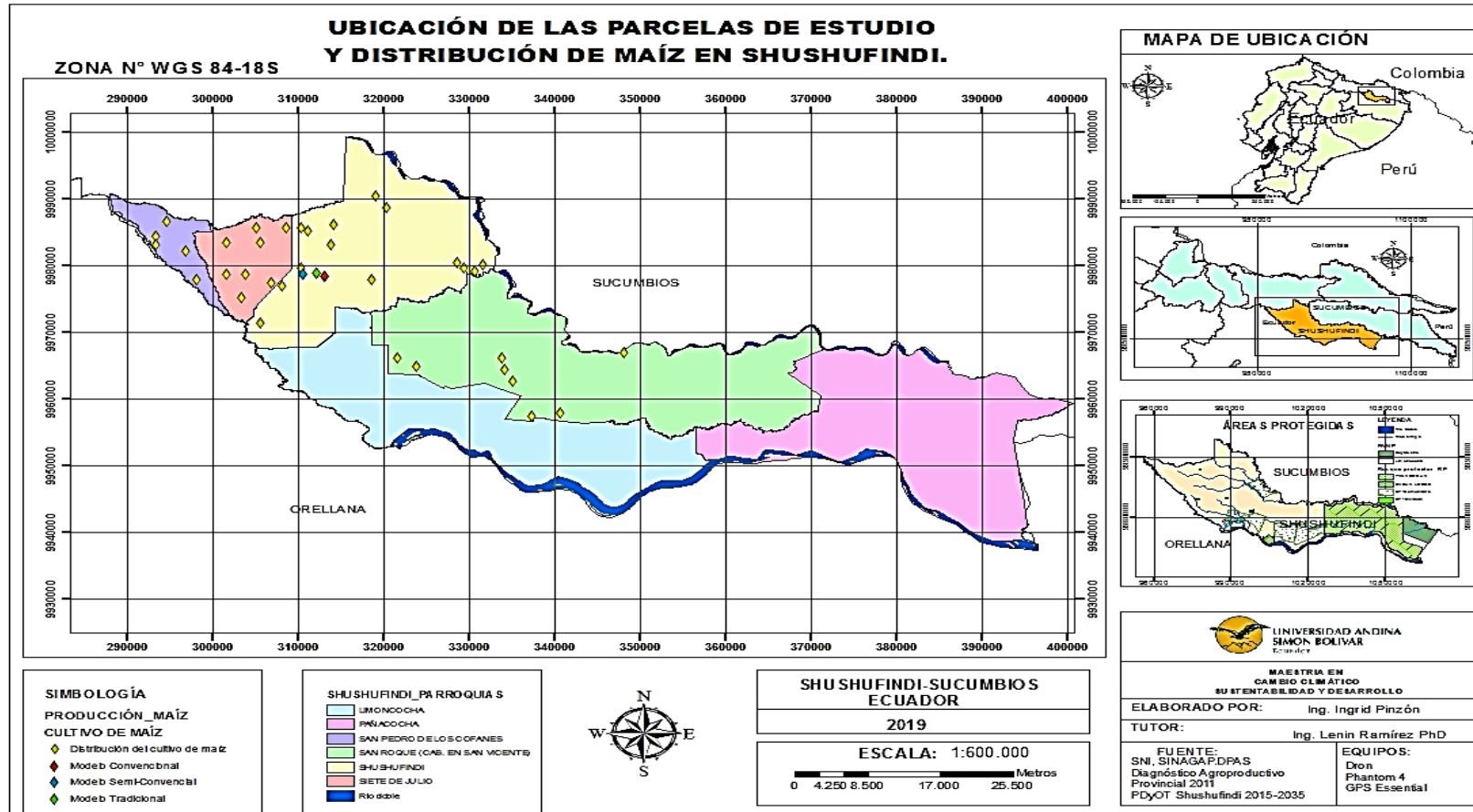
Fuente: Georreferenciación con drone.

Elaboración: Propia

⁹ Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca (SINAGAP)

¹⁰ Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA) <http://sipa.agricultura.gob.ec/>

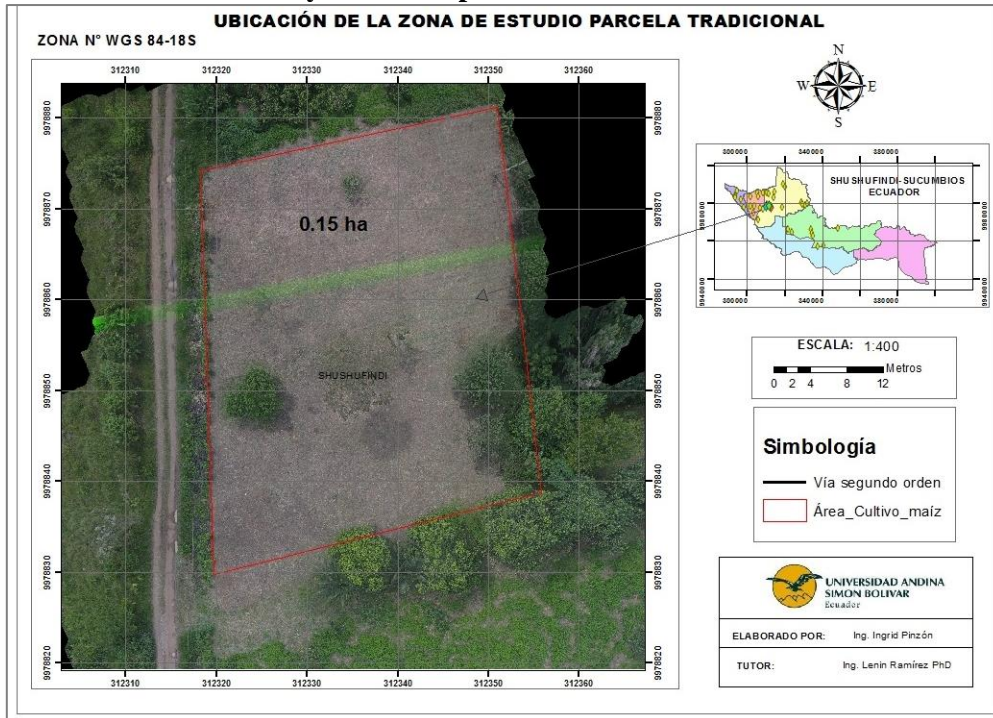
Gráfico 20
Ubicación de las parcelas de estudio y distribución de los cultivos de maíz en Shushufindi.



Fuente: Datos GPS essential, Sistema Nacional Información (SNI), (GAD Shushufindi 2015)

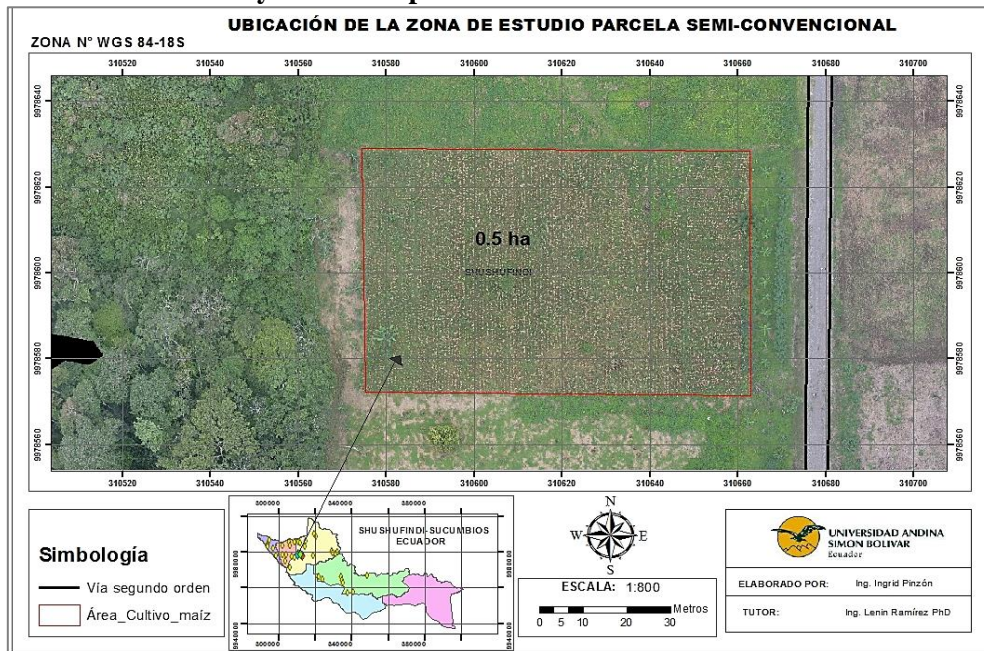
Elaboración: Propia

Gráfico 21
Ubicación y área de la parcela del modelo tradicional



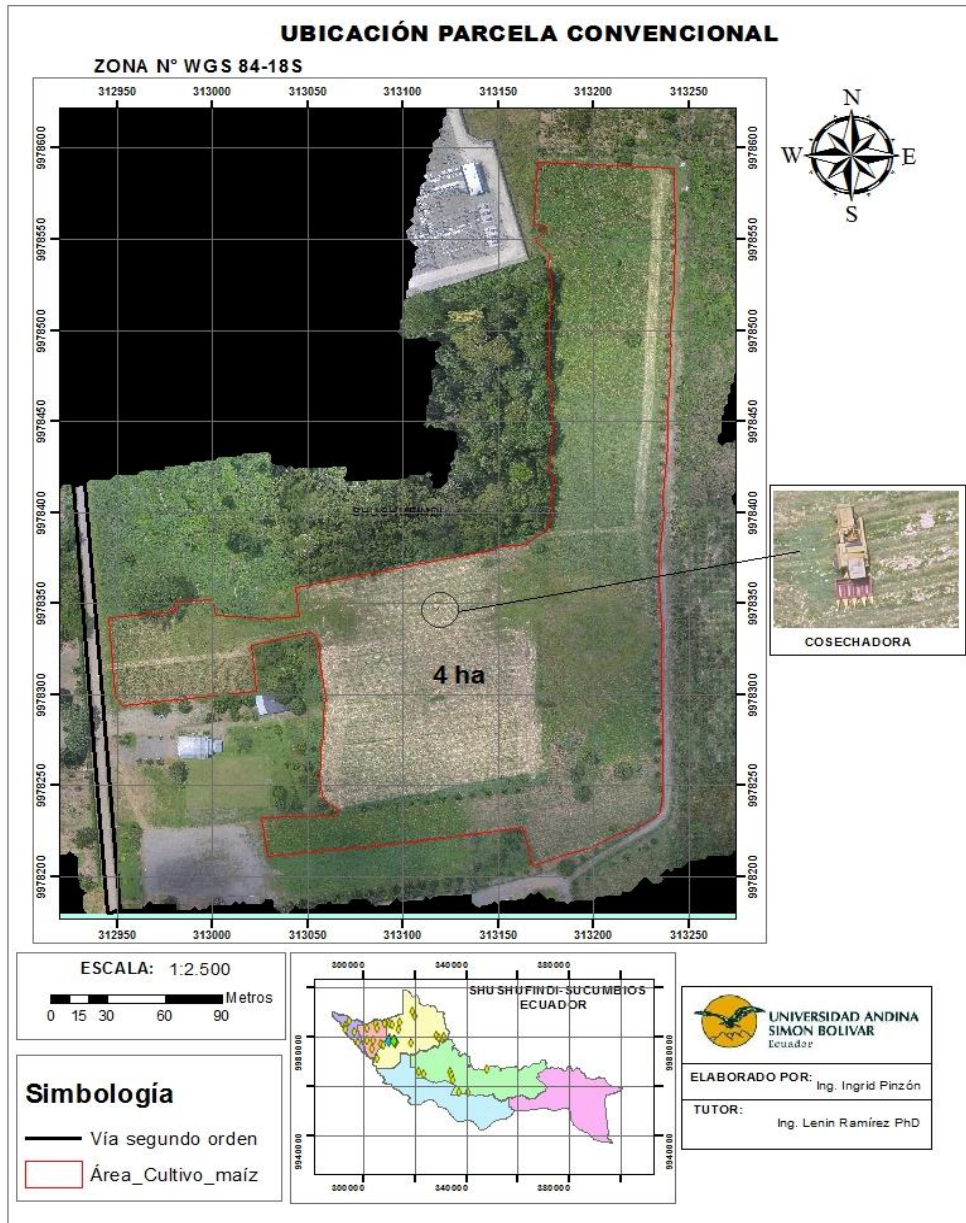
Fuente: Georreferenciación de parcelas con UAV- GPS essential-
Elaboración: Propia

Gráfico 22
Ubicación y área de la parcela del modelo semi-convencional



Fuente: Georreferenciación de parcelas con UAV- GPS essential-
Elaboración: Propia

Gráfico 23
Ubicación y área de la parcela del modelo convencional



Fuente: Georreferenciación de parcelas con UAV- GPS essential-
Elaboración: Propia

1.4. Método de muestreo de suelo, raíces y biol.

Para el muestreo del suelo, raíces y biol, se siguieron las guías establecidas por FAO (2008) y del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP 2012), además de las consideraciones del instructivo de Agrar-PROJEKT (2018) para cultivos de maíz.

En campo se utilizó el método de muestreo aleatorio simple, donde la muestra tiene la misma probabilidad de ser seleccionada y tomada al azar.

a) *Toma de la muestra suelo.*

Se recolectó 1 muestra compuesta de suelo a una profundidad de 20 cm del suelo, ya que, es la zona que exploran las raíces de la planta, la muestra fue llevada al laboratorio para su posterior análisis, en el anexo 2 se presenta el muestreo realizado.

b) *Muestra de abono (biol)*

Se tomó una muestra de biol (lixiviado de compost y orina) en una botella de 1 litro, fue etiquetada correctamente para su posterior análisis de N, P y K.

c) *Muestra de raíz de maíz*

Se tomó una muestra representativa de raíz por cada modelo estudiado (3 en total) para análisis de carbón orgánico y materia orgánica, las muestras fueron colocadas en fundas ziploc y correctamente etiquetadas.

2. Fase de laboratorio

En esta fase se procedió a llevar las muestras de suelo, raíz de maíz y biol para el análisis de los diferentes parámetros que posteriormente permitieron determinar las entradas/inputs de los modelos de producción agrícola de maíz duro y la caracterización de los suelos estudiados (Tabla 9).

Tabla 9

Parámetros analizados en el laboratorio para determinar los inputs

Escenario	Muestra	Parámetro	Laboratorio
MC- MS	Suelo	Potencial hidrogeno pH	LABSU Laboratorio de Suelo, agua y plantas Acreditación: Acreditado por el SAE con acreditación N° OAELE 2C 07-003 Ubicación: Coca, Provincia de Orellana. Ecuador.
		Humedad	
		Textura	
		Materia orgánica	
		Carbón orgánico	
		Nitrógeno Total	
	Raíz	Materia orgánica	
		Carbón orgánico	
Maíz	% de humedad		
MT	Suelo	Potencial hidrogeno pH	AGROCALIDAD Acreditación: N° SAE-LEN-16-006 Ubicación: Tumbaco-Ecuador
		Humedad	
		Textura	
		Materia orgánica	
		Carbón orgánico	
		Nitrógeno Total	
	Raíz	Materia orgánica	
		Carbón orgánico	
	Maíz	% de humedad	
	Biol	N-P-K	

Elaboración: Propia

3. Fase gabinete

En esta fase se procedió a la evaluación ambiental y socioeconómica de los modelos evaluados, la evaluación ambiental fue determinada mediante 2 categorías de impacto: huella de carbono (HC)¹¹ y la huella hídrica HH¹² dados por el ACV, adicionalmente con la metodología ACV se identificaron los puntos críticos o *hotspot*¹³ por cada modelo, de igual manera, en esta fase se determinó la sostenibilidad ambiental y económica mediante el índice de ecoeficiencia.

3.1. Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero GEIs

Para el cálculo de las emisiones de GEIs basado en la huella de carbono se consideró:

- La norma Publicly Available Specification 2050:2011 (PAS 2050) establece las especificaciones para la evaluación de los GEIs durante el ACV.
- Metodología de Agri-footprint¹⁴ Part 1: Methodology and basic principles (Durlinger et al. 2017a) y Part 2: Description of data (Durlinger et al. 2017b)
- Directrices del IPCC los volúmenes 2,3 y 4
 - Volumen 2 Energía del IPCC (2006g)
Directrices para el sector energético (combustión móvil-estacionaria)
 - Volumen 3 del IPCC (2006h) para procesos industriales y uso de productos
 - Volumen 4 directrices para el sector AFOLU (Agricultura, Silvicultura y otros usos de la tierra) (IPCC 2006f)

¹¹ **Huella de carbono HC:** “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” (Ihobe S.A. 2012, 11).

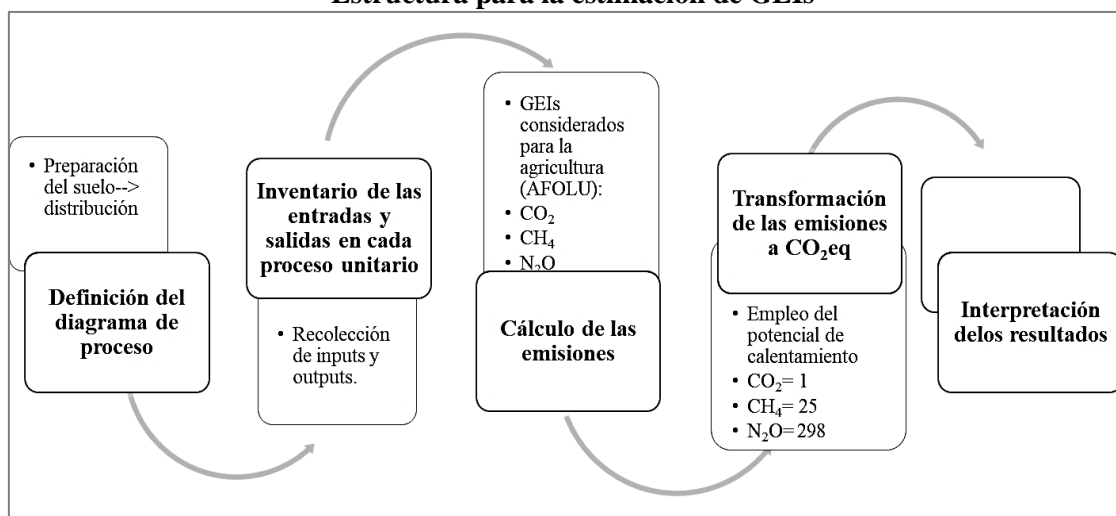
¹² **Huella hídrica HH:** indicador ambiental que permite conocer el volumen total de agua dulce utilizada por los cultivos Hoekstra et al. (2011).

¹³ **Hotspot:** es la identificación cuantitativamente de los aspectos ambientales más significativos para poder ser reducidos (Gazulla 2018).

¹⁴ **Agri-footprint** “Agri-huella es una alta calidad y base de datos de inventario completo del ciclo de vida (ICV), centrado en el sector de la agricultura y la alimentación. Abarca datos sobre productos agrícolas: alimentación, alimentos y biomasa y es utilizado por los profesionales de evaluación del ciclo de vida (ACV)” (Durlinger et al. 2017b).

Adicionalmente, se siguió la estructura para la estimación de GEIs dadas por IPCC 2006 y el protocolo de Gases de Efecto Invernadero como se observa en el gráfico 24.

Gráfico 24
Estructura para la estimación de GEIs



Fuente: Directrices del IPCC 2006; protocolo de Gases de Efecto Invernadero
Elaboración: propia

3.1.1. Unidad funcional -reporte de GEIs

Las emisiones de GEIs se reportaron en $kg\ CO_2eq/ha\ al\ año$ de producción de maíz, la cual se identificó como unidad funcional¹⁵, cabe mencionar que el cultivo de maíz es de ciclo corto y su tiempo desde la siembra a la cosecha es de alrededor de cuatro meses, por lo que los productores realizan dos siembras al año; por esta razón, los resultados se reportaron anualmente. Para fines comparativos se extrapolaron los datos para los modelos MS, MT a una hectárea y se consideró la conversión de la unidad funcional para expresar las emisiones en $kg\ CO_2eq/kg$ de producto mediante la ecuación 1.

$$Emisiones\ de\ GEI\ \left(\frac{kg\ CO_2eq}{kg\ de\ producto}\right) = emisiones\ de\ GEI\ \frac{\left(\frac{kg\ CO_2eq}{ha * año}\right)}{\left(\frac{kg\ de\ producto}{ha * año}\right)} \quad (1)$$

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

Adicionalmente, se consideró las ecuaciones para estimación GEIs dependiendo el tipo de suelo sea para suelos minerales u orgánicos.

¹⁵ **Unidad funcional:** en ACV agrícolas Arango, Carmona, y Romero (2014, 128) recomiendan que la unidad funcional se realice desde dos enfoques: a) Área cultivada y producción b) Producción, producción con requerimiento de calidad y área.

Según las directrices dadas por el IPCC 2006 citado en Picone, Picaud, y Videla (2014, 11) los suelos se clasifican en suelos orgánicos y suelos minerales, esta clasificación depende de parámetros edafológicos como la textura, carbón orgánico y materia orgánica, por lo que, se analizaron estos parámetros en el suelo de los modelos estudiados. (ver resultados cap. 3) los modelos de producción de maíz estudiados tienen suelos minerales, ya que, los parámetros de MO, CO no se encuentran dentro del rango de los suelos orgánicos, entre 12-18 % de carbón orgánico y entre 30 a 35 % de materia orgánica. (Picone, Picaud, y Videla 2014, 11) por lo tanto, se consideraron las ecuaciones para la estimación de GEIs para suelos minerales dadas en el IPCC.

De manera general para la cuantificación de las emisiones de GEIs se tomó en cuenta la ecuación global (2) de GEIs expresada a continuación.

$$kgCO_2eq = DA * FE * GWP \quad (2)$$

Fuente:(IPCC 2006f);(FAO 2015); (WRI & WBCSD 2011)

Donde:










Datos de actividad (DA)	= Magnitud que tiene lugar durante un periodo dado de tiempo y en una zona determinada, ejemplo cantidad de fertilizante aplicado al año, cantidad de combustible usados por el tractor.
Factor de emisión (FE)	= Son coeficientes que cuantifican las emisiones o absorciones de un gas por los datos de la unidad de actividad.
GWP	= Potenciales de calentamiento global CO ₂ = 1, CH ₄ = 25 y N ₂ O =298

3.1.2. Fuentes o categorías de emisiones de GEIs consideradas en el estudio

Para el estudio se consideraron las emisiones procedentes de las siguientes fuentes:

- a) *Emisiones de GEI por la combustión de combustibles fósiles y lubricantes utilizados por la maquinaria agrícola y transporte.*
 - Se identificó para los modelos MC, MS y MT el uso de maquinaria por cada fase de cultivo, las mismas que se describen en la tabla 10.
 - Se calculó las emisiones procedentes por el uso de combustible como la gasolina, diésel y lubricantes como se presentan en el anexo 3.

Tabla 10
Maquinaria agrícola y transporte utilizados por los modelos estudiados

Escenario	Maquinaria	Modelo	Tipo de combustible	Fase de producción	Sub fase	Fotografía
MC	Canguro agrícola	Jhon Deere 5065e	Diesel	Preparación del suelo	Arado	
					fertilización	
					siembra	
Cosechadora	NEW HOLLAN D 8040	Diesel	Cosecha	N/A		
			Desgranado			
Camioneta	-	Gasolina	Transporte	-		
MS	Guadaña	Sin marca	Diesel	Preparación del suelo	Limpieza (deshierbe)	
			Aceite 2T			
	Desgranadora	Artesanal	Gasolina	Desgranado	N/A	
Camioneta-Vehículo	-	-	Gasolina	Transporte	-	
						
						
MT	Guadaña	Shindaiwa	Diésel	Preparación del suelo	Limpieza (deshierbe)	
			Aceite 2T			
Camioneta	-	Gasolina	Cosecha			

Elaboración: Propia

b) Emisiones de N₂O de los suelos gestionados

Se estimó las emisiones directas e indirectas anuales de N₂O en kg N₂O-N año⁻¹ generadas por los suelos gestionados. Para la estimación se consideraron las directrices dadas por el IPCC en el CAP 11 de emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea.

Se siguió el esquema dado por Durlinger et al. (2017, 12) para el cálculo de las emisiones directas e indirectas de N₂O, se hizo una adaptación del esquema para el estudio dependiendo de las ecuaciones utilizadas en cada modelo MT, MS y MC y las entradas y salidas obtenidas en el inventario (ver anexo 4). Asimismo, en el anexo 5 se presentan las ecuaciones y descripción de cada variable utilizada para esta fuente de emisión.

c) Emisiones por la producción de Fertilizantes

En los diferentes modelos de producción agrícola de maíz se estimaron las emisiones de GEIs por la cantidad total de fertilizante que ingresa al sistema, se tomó en cuenta los porcentajes de N, P, y K y la cantidad aplicada en kg/ha.

Para la estimación de GEIs procedentes de los fertilizantes sean sintéticos u orgánicos se utilizó la ecuación general 2 ya antes descrita. Los factores de emisiones para cada dato de actividad se presentan en el anexo 6.

d) Emisiones anuales de CO₂ por aplicación de urea

Para el caso de la urea se aplicó las directrices del IPCC (2006c), para la emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea. (cálculo presentado en el anexo 7).

e) Emisiones por Agro-Input por la semilla

Para el estudio se consideraron las estimaciones de CO₂eq por el input de semilla utilizadas por cada modelo de producción agrícola, el cálculo de estas emisiones se presenta en el anexo 8.

f) Emisiones por uso de fitosanitarios

Se estimó las emisiones por cada fitosanitario utilizado en los modelos evaluados, considerando la ecuación 2, los factores de emisión para esta categoría se presentan en el anexo 9.

En la tabla 11 se muestran los fitosanitarios identificados por cada modelo estudiado.

Tabla 11
Fitosanitarios utilizados por los modelos estudiados

Escenario	Nombre del insumo	Composición
MC	Quemante (Herbicida)	Ingrediente activo: Paraquat 276g/L – Formula química: C ₁₂ H ₁₄ Cl ₂ N ₂ - densidad = 1,25 g/cm ³
	TEJO (Gusano cogollero - <i>Spodoptera frugiperda</i>)	BENZOATO DE EMAMECTINA (50 g/kg)
MT	Nostoc (para la grama)	Ingrediente activo: Nicosulfuron, Grupo químico: Sulfonilureas
	TEJO (Gusano cogollero - <i>Spodoptera frugiperda</i>)	BENZOATO DE EMAMECTINA (50 g/kg)

Fuente: Datos de las entrevistas a los productores maiceros
 Elaboración propia

g) *Emisiones por la quema de residuos agrícolas*

La estimación de emisiones procedentes de la quema de los residuos agrícolas, se realizaron mediante la fórmula 2.27 de las directrices del IPCC (2006d, 2.48) descritas en el anexo 10.

Cabe señalar que está estimación se la tomó en cuenta para el modelo agrícola semi-convencional (MS), ya que, es habitual que los productores realicen la práctica de quema de residuos posterior al uso de desgranadora (ver ilustración 2).

Ilustración 2
Quema de residuos agrícolas de maíz duro del MS



Fuente: Propia

3.2. Stock de carbono de los sistemas de producción agrícolas de maíz.

Para la estimación de las absorciones se consideró la asociación que tiene el cultivo de maíz con otras especies vegetales con capacidad de absorción de carbono, cabe mencionar que las especies asociadas al maíz fueron especies arbóreas.

3.2.1. Metodología para el stock de carbono

3.2.1.1. Medición del diámetro a la altura del pecho (DAP)

Para la medición del diámetro a la altura del pecho $DAP > 5$ cm se consideró la medición del diámetro de un árbol a una altura de 1,30 m sobre el suelo como lo plantean Walker et al. (2011, 44), adicionalmente para la medición de este diámetro, se utilizó una cinta métrica para obtener los datos de la circunferencia a la altura del pecho (CAP) del árbol, posteriormente se convirtió la CAP a DAP (ver anexo 11).

3.2.1.2. Medición de carbón y CO_2 almacenado

Para la estimación del área basal, volumen, biomasa forestal, y la estimación del carbono y CO_2 almacenado en el sistema, se calculó de acuerdo a lo descrito por Jumbo, Arévalo, y Ramírez (2018, 54), como se presenta en el anexo 12.

3.3. Huella hídrica

Se consideró el indicador de la Huella hídrica de los cultivos a fin de conocer el consumo de agua dulce utilizada por estos, ya que, este es otro output analizado en la investigación. Dentro de este indicador se consideraron tres componentes dados por Hoekstra et al. (2011) la huella verde, azul y gris.

- a) *Huella Verde*: Se refiere al consumo de agua lluvia (precipitaciones)
- b) *Huella Azul*: consumo de agua superficial y subterránea (Riego).
- c) *Huella Gris*: Esta huella se define como el volumen de agua dulce necesaria para asimilar la carga contaminante (contaminación de agua dulce).

Para poder cuantificar la HH se utilizó el programa CROPWAT 8.0¹⁶ desarrollado por la FAO y tabulaciones en EXCEL siguiendo el procedimiento de cálculo dado por la Water Footprint Network (WFN) y la FAO, las directrices para la cuantificación de la HH de los cultivos de maíz se encuentran en el anexo 13.

¹⁶ Para descarga e información del software CropWat 8.0 se encuentra disponible en la página de la FAO <http://www.fao.org/land-water/databases-and-software/cropwat/en/>.

3.4. Evaluación económica

La evaluación económica se realizó mediante el modelo KyK presentado por Kuosmanen y Kortelainen descrito por Ribal et al. (2009, 129).

Se consideró la acumulación parcial de los costos a lo largo del proceso de producción del maíz por cada modelo estudiado.

Costos considerados (\$ha/año): Semilla

- Combustible
- Fertilizantes
- Fitosanitarios
- Alquiler de maquinaria
- Insumos (gafas, tapones auditivos, etc)
- Jornales

Para la estimación de la rentabilidad del maíz duro se tomó en cuenta la metodología planteada por Ayala-Garay et al. (2013, 385), la cual considera las siguientes ecuaciones:

$$\text{Rentabilidad} = IT - CT \quad (3)$$

Donde:

IT = Ingreso total (\$ ha⁻¹)
Expresado por:

$$IT = P_y Y \quad (4)$$

P_y = Precio de mercado del cultivo Y (\$/ton)
 Y = Rendimiento del cultivo (ton ha⁻¹)

CT = costo total de la producción
Expresado por:

$$CT = P_x X \quad (5)$$

P_x = Precio del insumo o actividad X (ton ha⁻¹)
 X = Actividad o insumo.

3.5. Medición de la eco-eficiencia

Para la medición de la ecoeficiencia se consideró la ecuación planteada por Rincón y Wellens (2011, 335) (ecuación 6)

$$Ecoeficiencia = \frac{\text{Valor del producto o servicio}}{\text{Influencia ambiental}} \quad (6)$$

Para determinar la ecoeficiencia en presencia de varios escenarios m y n categorías de impacto, se consideraron las ecuaciones planteadas por Ribal et al. (2009, 129–30),(ecuaciones 7-9), las mismas que fueron tabuladas en Excel con programación no lineal.

$$\max_{w} EE_i = \frac{V_i}{w_1 \cdot z_{i1} + w_2 \cdot z_{i2} + \dots + w_n \cdot z_{in}} \quad (7)$$

Sujeto a:

$$\frac{V_1}{w_1 \cdot z_{11} + w_2 \cdot z_{12} + \dots + w_n \cdot z_{1n}} \leq 1 \quad (8)$$

$$\frac{V_m}{w_1 \cdot z_{m1} + w_2 \cdot z_{m2} + \dots + w_n \cdot z_{mn}} \leq 1 \quad (9)$$

$$w_1, w_2, \dots, w_n \geq 0$$

Donde:

V_i	Valor económico añadido del escenario $i = 1 \dots, m$	\$/ton
w_j	Peso del impacto ambiental $j = 1, \dots, n$	
z_{ij}	Impacto ambiental (huella gris, huella verde y GEIs) $j=1, \dots, n$ por unidad funcional para el escenario $i = 1, \dots, m$	

Los pesos o ponderaciones w_j de cada impacto ambiental fueron encontrados con programación no lineal en Excel para un escenario x , considerando que los pesos “maximizan el índice de eco-eficiencia de ese escenario, manteniendo la eco-eficiencia del resto de escenarios menor o igual a la unidad. El índice de eco-eficiencia siempre variará entre 0 y 1, el valor 1 indicará que el escenario es eco-eficiente” (Ribal et al. 2009, 130).

Capítulo tercero

Resultados y discusión

1. Caracterización de los suelos de los modelos de producción de maíz

Se determinó el carbón orgánico (CO) y la materia orgánica (MO) almacenados en los depósitos de carbono, como las raíces de la planta del maíz y el suelo, los resultados se muestran en la tabla 12.

Tabla 12
Parámetros edafológicos determinados los diferentes depósitos (suelo, raíz)

Modelos	Textura			Tipo de suelo	C orgánico (%)		MO (%)		pH	Humedad (%)
	Arena	Arcilla	Limo		Suelo	Raíz	Suelo	Raíz		
MT	66%	10%	24%	Franco arenoso	7,0	58,77	9,1	76,4	6,14	73,98
MS	72%	8%	20%	Arena franco	1,89	5,22	3,25	9	5,89	41,2
MC	37%	18%	45%	Franco arenoso	1,39	4,51	2,39	7,77	6,09	36,2

Fuente: Resultados de laboratorio

Elaboración: Propia

De acuerdo con los resultados obtenidos, se evidencia que el modelo tradicional tiene alto contenido de materia orgánica en los depósitos del suelo y raíces; en cuanto al modelo semi-convencional, se encuentra dentro del rango medio, no obstante, en el modelo convencional el parámetro de MO es bajo. Esta determinación se lo hizo mediante la interpretación para región Costa y Amazonía dado por AGROCALIDAD (tabla 13). Cabe mencionar que el modelo tradicional tiene mayor contenido de carbono en el suelo que los otros modelos de producción agrícola, dado que este tiene menor perturbación del suelo que se da por la labranza o prácticas insostenibles en el mismo.

Tabla 13
Interpretación de los resultados de MO

PARÁMETROS	MO (%)
Bajo	< 3,1
Medio	3,1-5,0
Alto	> 5,0

Fuente: Resultados de laboratorio AGROCALIDAD 2018

En base a los porcentajes de arena, limo y arcilla de los suelos muestreados, los modelos MT y MC presentan una clase textural franco arenoso, mientras que el modelo MS presentó una textura arenoso franco.

2. Inventario de entradas/inputs y salidas/outputs de los modelos estudiados.

De acuerdo con los datos recolectados en campo, entrevistas y resultados de los laboratorios se obtuvieron los inputs y outputs (tabla 14) utilizados por cada modelo estudiado.

Tabla 14
Entradas/inputs y salidas/outputs de los modelos estudiados.

Inputs	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD			UNIDAD	
		MT	MS	MC		
Fertilizantes Sintéticos	10-30-10	-	2	1088,62	kg/ha año ⁻¹	
	N (10%)	-	0,2	108,86	kg/ha año ⁻¹	
	P (30%)	-	0,6	326,59	kg/ha año ⁻¹	
	K (10%)	-	0,2	108,86	kg/ha año ⁻¹	
	13-40-13 (kristalon)	-	-	2	kg/ha año ⁻¹	
	N (13%)	-	-	0,26	kg/ha año ⁻¹	
	P (40%)	-	-	0,80	kg/ha año ⁻¹	
	K (13%)	-	-	0,26	kg/ha año ⁻¹	
	Engrosador	-	4	-	kg/ha año ⁻¹	
	N (8,2%)	-	0,33	-	kg/ha año ⁻¹	
	P (0%)	-	0	-	kg/ha año ⁻¹	
	K (29%)	-	1,16	-	kg/ha año ⁻¹	
	Biol	Lixiviado de compost+orina	16	-	-	L/ha año ⁻¹
		N (28%)	8,96	-	-	kg/ha año ⁻¹
P (0,011%)		0,35	-	-	kg/ha año ⁻¹	
K (0.067%)		2,13	-	-	kg/ha año ⁻¹	
				181,82	kg/ha año ⁻¹	
Urea	N (46%)	-	-	83,64	kg N/ha año ⁻¹	
Fitosanitarios		-	0,43	1,25	kg/ha año ⁻¹	
Combustibles	Gasolina	6,28	22,75	9,46	gal/ha año ⁻¹	
	Diésel	-	-	29	gal/ha año ⁻¹	
	Aceite 2T	0,35	0,53	-	gal/ha año ⁻¹	
Semilla		48,38	45,36	40	kg/ha año ⁻¹	
Trabajo		1366,67	552	121,68	h/ha año ⁻¹	
Outputs						
Maíz duro		3,92	2,40	6,35	ton/ha año ⁻¹	
Residuo agrícola		4,49	3,16	7,28	ton/ha año ⁻¹	

Fuente: Encuestas a los productores, datos en campo, resultados de laboratorio

Elaboración: Propia

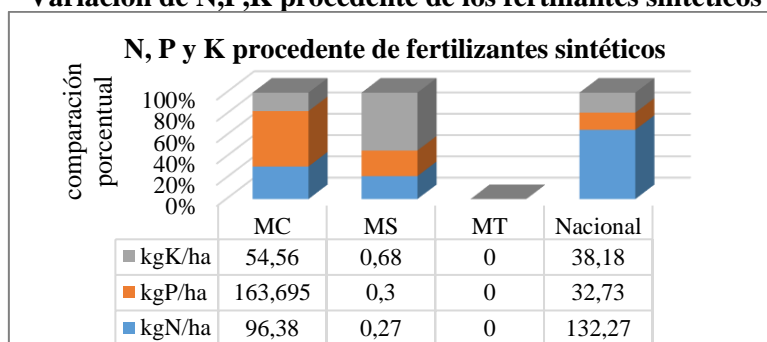
2.1. Análisis de inputs (puntos críticos/hotspot):

2.1.1. Aplicación de fertilizantes sintéticos

El modelo convencional presentó un alto uso de insumos agroquímicos, fertilizantes sintéticos como el 10-30-10, el cual contiene un 10% de N, 30 % de P y 10 % de K, este tipo de insumo se aplicó en los suelos de cultivo de maíz alrededor de 1088,62 kg/ha año⁻¹, otro fertilizante utilizado por este modelo es el 13-40-13 conocido también como kristalon, el cual contiene un 40% de fosforo, de este tipo de insumo se aplicaron 2 kg/ha año⁻¹. Adicionalmente, en el modelo convencional existe una alta aplicación de urea (181,82 kg/ha año⁻¹) con un contenido de 83,64 kgN/ha año⁻¹, en total este modelo aplica alrededor de 192,76 kg de N/ha año⁻¹ correspondiente a 54,56 kgN/ha, siendo esta cantidad menor que el promedio nacional de aplicación de N en cultivos de maíz que es de 132,27 kgN/ha (MAG 2018b, 4), a su vez, está cantidad de N presente en el MC es mayor que la que se aplica en el modelo semi-convencional que tiene una tasa de 0,27 kgN/ha, 0,3 kgP/ha y 0,68 kgK/ha proveniente de fertilizantes como el 10-30-10 y el engrosador.

En el modelo tradicional no se encontró presencia de uso de fertilizantes sintéticos, en su caso se utilizó 16 L/ha año⁻¹ de biol compuesto por lixiviado de compost y orina. En el gráfico 25 se evidencia la variación porcentual de cada elemento N, P, K, se identifica que el modelo MC tiene un 60% de aplicación de P, un 30 % N y 10 % K, a diferencia del modelo MS que contiene 20 % N, 20 % P y 60 % de K, a nivel nacional se tiene en cambio que existe 65% de N, 20% K y un 15 % P indicando que la aplicación de fertilizantes nitrogenados es superior a la de potasio y fosforo para el caso nacional en cultivos de maíz.

Gráfico 25
Variación de N,P,K procedente de los fertilizantes sintéticos



Fuente: Inputs- los datos a nivel nacional tomados de (MAG 2018b, 4)

Elaboración: Propia

2.1.2. Uso de combustibles fósiles

Se determinó que el modelo convencional tiene un alto consumo de combustibles fósiles como el diésel ($29 \text{ gal/ha año}^{-1}$) utilizado principalmente por la maquinaria como la cosechadora-desgranadora en la fase de la cosecha y por el uso del tractor oruga utilizado en las fases de preparación del suelo (arado-fertilización) y la siembra. En el modelo semi-convencional se evidenció que el tipo de combustible fósil utilizado en mayor cantidad fue la gasolina ($22,75 \text{ gal/ha año}^{-1}$), dado principalmente por la desgranadora artesanal en la fase de desgranado del maíz.

En el modelo tradicional se evidenció la baja dependencia de los combustibles fósiles pero presentó como input la cantidad de gasolina ($6,28 \text{ gal/ha año}^{-1}$) y aceite de 2T ($0,35 \text{ gal/ha año}^{-1}$) por parte de una guadaña a motor que se utiliza en la fase de control del cultivo (deshierbe).

2.1.3. Energía (mano de obra)

De acuerdo con el levantamiento de datos, el modelo tradicional demanda mayor laboriosidad de horas hombre trabajadas ($683,33 \text{ h/ha}$) en todas las fases de producción agrícola de maíz y en especial en la fase del deshierbe que se realiza de forma manual utilizando machetes y guadaña a motor, de igual manera, las fases que demandan mayor mano de obra son, la cosecha y el desgranado, por lo que el productor debe acudir a mingas y mano de obra familiar para poder realizar estas actividades.

El modelo convencional demanda menor cantidad de mano de obra con 60 h/ha y el mayor uso se da principalmente en el bombeo de los fitosanitarios, recolección de la producción y el secado del maíz en tendales.

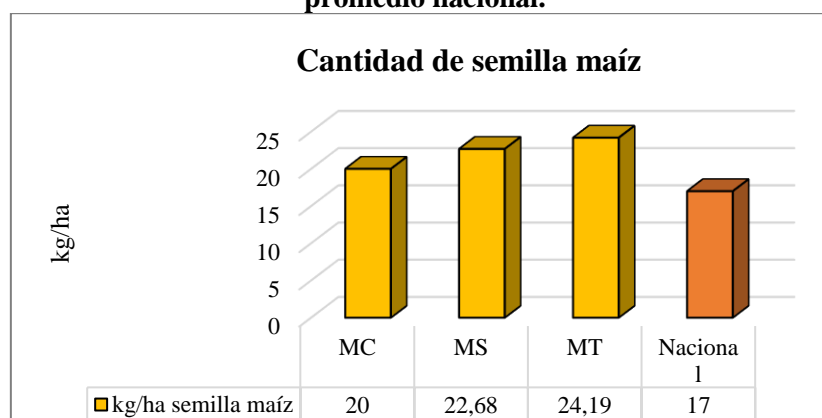
Para el caso del modelo semi-convencional, este realiza las diferentes actividades bajo el concepto de mingas y ayuda de maquinaria, la demanda de mano de obra también es considerable comparada con el modelo MC, ya que, el MS tuvo una demanda de 276 h/ha .

2.1.4. Input semilla

2.1.4.1. Cantidad de semilla

Se evidenció que el modelo tradicional necesita mayor cantidad de semilla para la siembra ($48,38 \text{ kg/ha año}^{-1}$ - $24,19 \text{ kg/ha}$) comparadas con los otros modelos que utilizan $45,35$ y $40 \text{ kg/ha año}^{-1}$ para el modelo MS y MC respectivamente, equivalente a $22,68 \text{ kg/ha}$ para el modelo MS y 20 kg/ha para el MC. Es importante mencionar, que en comparación con la cantidad promedio de semilla utilizada a nivel nacional para la siembra de maíz, en Shushufindi estas cantidades son más elevadas independientemente del modelo analizado, a nivel nacional se tiene un promedio de 17 kg/ha de semilla como se aprecia en la gráfica 26.

Gráfico 26
Cantidad de semilla maíz utilizada por cada modelo estudiado comparado con el promedio nacional.



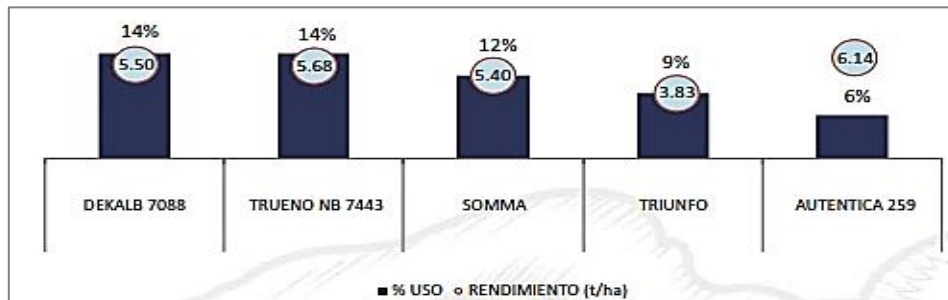
Fuente: Resultados del levantamiento de inputs
Elaboración: Propia

2.1.4.2. Origen y variedad de la semilla

En este input se analizó el origen de la semilla, para los modelos MC y MS la semilla utilizada por los productores es comprada en las casas comerciales, la semilla es denominada “semilla curada”, el modelo MC utilizó la variedad de semilla DAS 3338, mientras que el MS usó la variedad tusilla. En el modelo tradicional se utilizó una semilla criolla reservada de la cosecha anterior, es decir, reciclada. Según los datos del MAG (2018b, 5), las semillas más utilizadas a nivel nacional son los híbridos Dekalb 7088 y Trueno NB 7443 con un rendimiento promedio de $5,50 \text{ ton/ha}$ y $5,68 \text{ ton/ha}$ respectivamente (gráfico 27), adicionalmente, a nivel nacional se utiliza un 93 % de

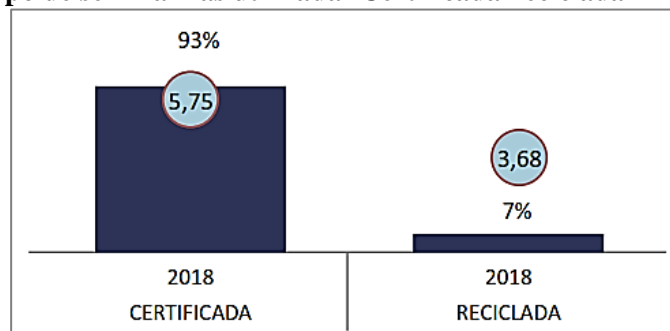
semilla certificada y solo un 7 % utiliza semilla reciclada, esta variación se debe a la comparación que hacen los productores en cuanto a los rendimientos que producen, ya que, una semilla certificada genera rendimientos entre los 5,75 ton/ha y una reciclada genera 3,68 ton/ha (gráfico 28).

Gráfico 27
Semilla mas utilizada a nivel nacional



Fuente: MAG (2018b, 5)

Gráfico 28
Tipo de semilla más utilizada- Certificada-reciclada



Fuente: MAG (2018b, 5)

2.2. Análisis de outputs

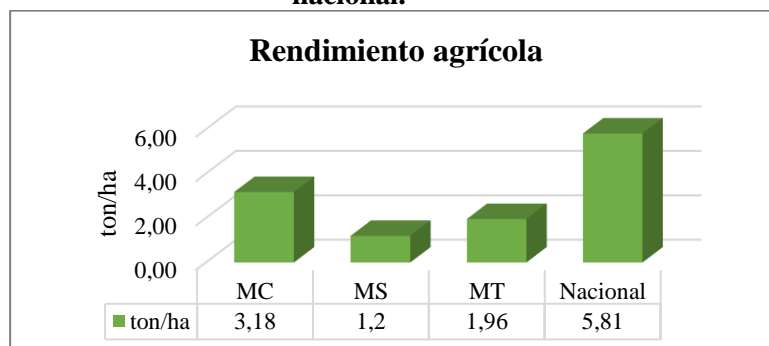
2.2.1. Rendimiento agrícola

En cuanto al rendimiento agrícola, el modelo convencional presentó mayor rendimiento comparado con los otros dos modelos, el cual fue de 6,35 ton/ha año⁻¹, mientras que el modelo que presentó menor rendimiento fue el modelo semi-convencional con 2,40 ton /ha año⁻¹, por otro lado, el modelo tradicional presentó un rendimiento de 3,92 ton/ha año⁻¹.

En el gráfico 29 se presenta la comparación del rendimiento que se tiene a nivel nacional con los modelos estudiados, por lo que, para poder comparar con los resultados que se tienen a nivel nacional se consideró el rendimiento en ton/ha donde el MC tuvo un

rendimiento de 3,18 ton/ha mientras que los modelos MT y MS los rendimientos fueron de 1,96 y 1,2 ton/ha respectivamente.

Gráfico 29
Rendimiento de maíz duro por cada modelo estudiado comparado con el promedio nacional.



Fuente: Resultados del levantamiento de inputs
 Elaboración: Propia

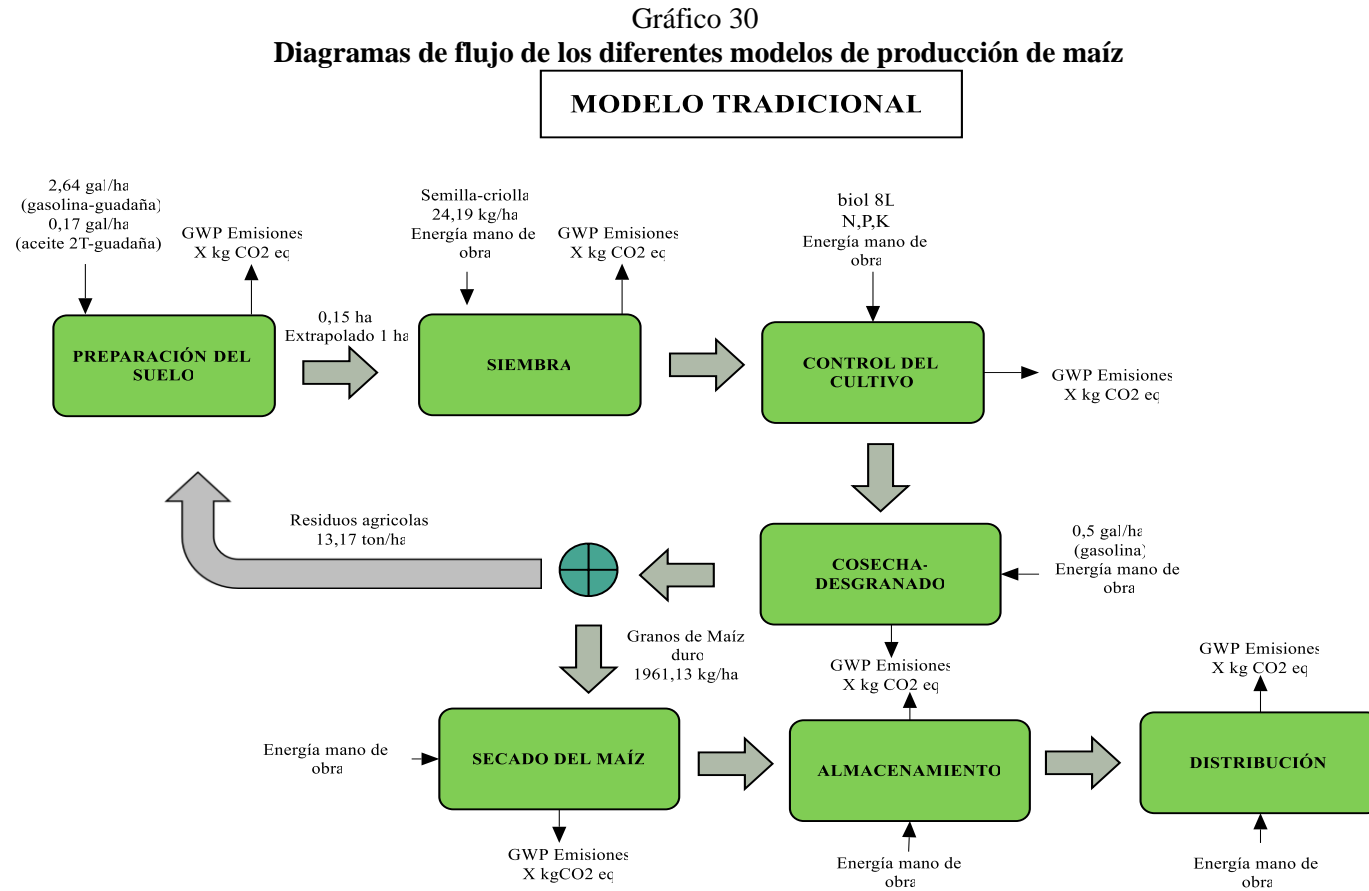
De acuerdo con los datos dados por el MAG, para el 2018 se tuvo un rendimiento nacional del cultivo de maíz duro de 5,81, donde la provincia con mejor rendimiento fue Loja con 7,10 t/ha, mientras que Guayas fue la provincia con menor rendimiento con 4,37 ton/ha. A su vez, mencionan que ha existido un incremento del 5,4 % en la producción de maíz comparado con el año 2017 y esto atribuido principalmente por las mejoras en los niveles de fertilización y disminución de fitosanitarios, cabe mencionar que los fertilizantes más comunes que se utilizaron a nivel nacional fueron Urea, Muriato de potasio (MOP), Fosfato Diamónico (DAP) y sulfato doble de potasio y magnesio (Sulpomag).

2.2.2. Residuos agrícolas

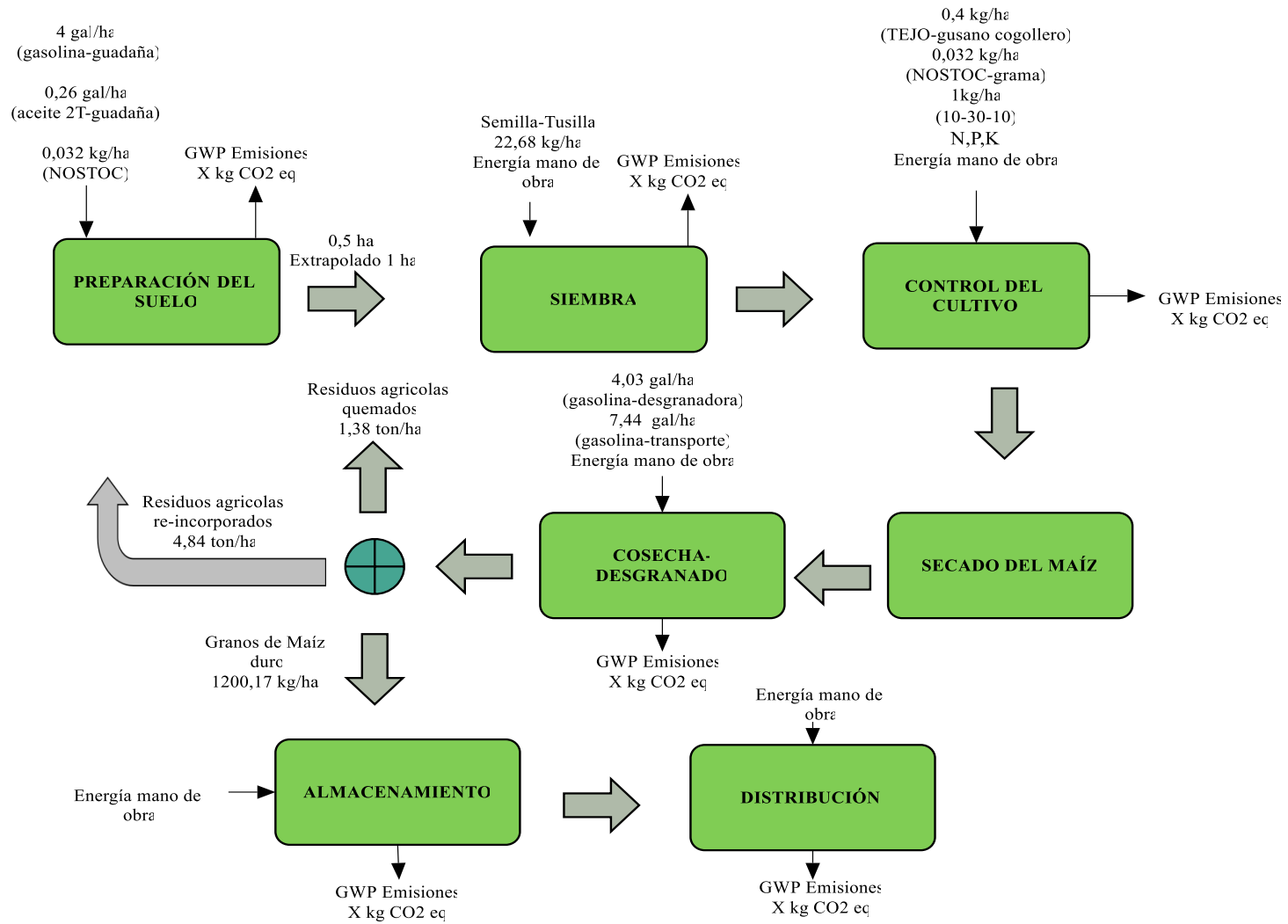
Otro de los outputs analizados fue la cantidad de residuos agrícolas generados por cada modelo y la gestión de estos para tratar los residuos; después de la cosecha y desgranado del maíz se genera una cantidad considerable de rastrojo de maíz, en el modelo MC se generó 7,28 ton/ha año⁻¹, en el modelo MS 3,16 ton/ha año⁻¹ y el modelo MT 4,49 ton/ha año⁻¹. En los modelo MC y MT la gestión dada a los residuos agrícolas es mediante la reincorporación del rastrojo al suelo después de la cosecha y el desgranado, mientras que el modelo MS el 22% del rastrojo es quemado y el restante es reincorporado en el suelo.

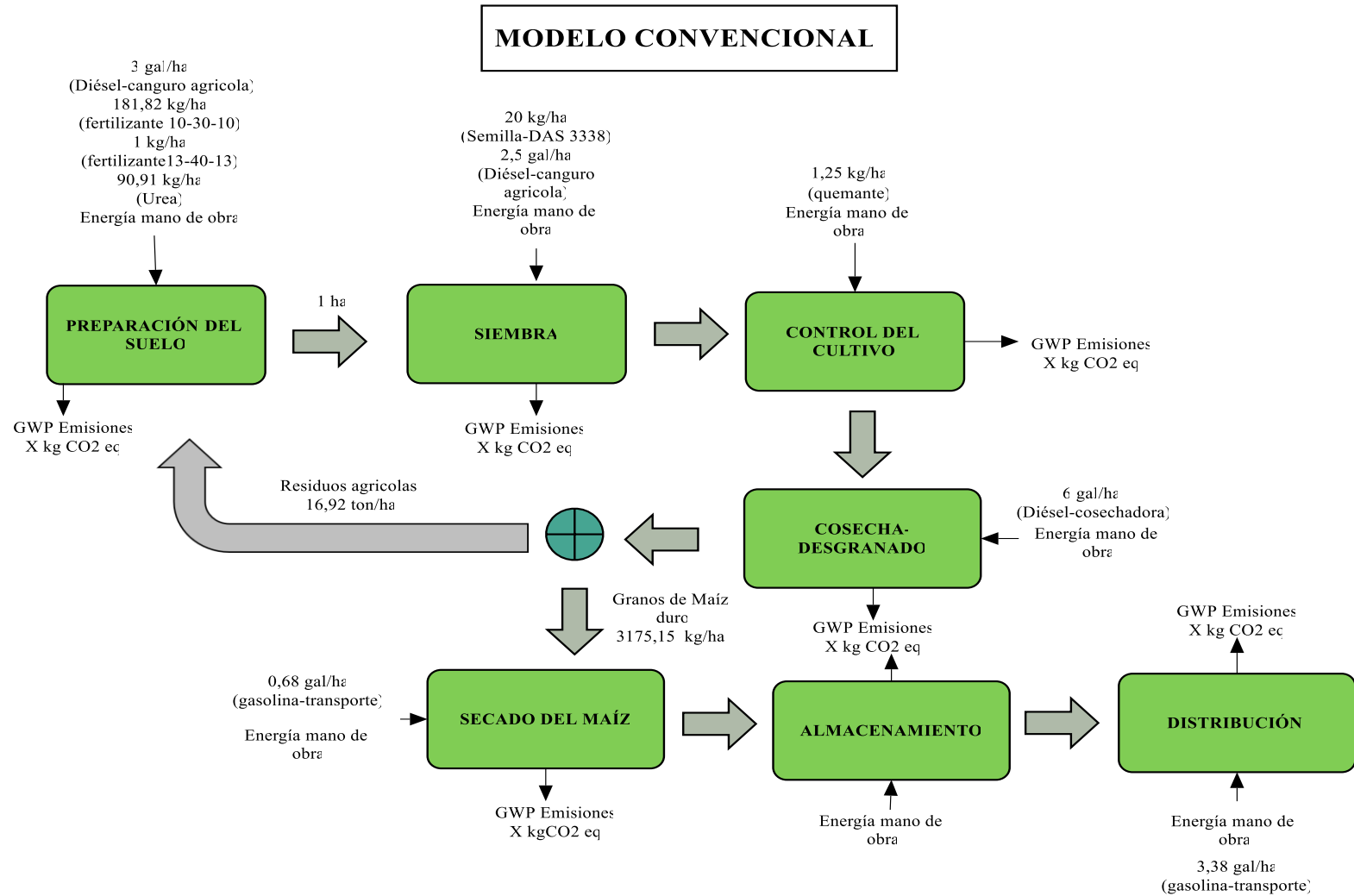
2.3. Diagramas de flujo de los modelos de producción maíz en estudio inputs y outputs por fase de producción.

En el gráfico 30, se muestran los diagramas de flujo determinados para cada fase de producción agrícola de maíz de los modelos MT, MS, MC.



MODELO SEMI-CONVENCIONAL





Fuente: Datos de inventario
Elaboración: Propia.

3. Resultados de la estimación de GEIs de los modelos de producción de maíz.

Se determinó que el modelo MC generó mayor aportación de GEIs con una estimación de 2926,92 kg de CO₂ eq ha⁻¹ al año, seguido por las emisiones procedentes del MS que fueron de 1209,45 kg CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹, mientras que las emisiones resultantes del MT fueron de 570 kg CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹, siendo estas menores que los dos modelos antes mencionados (MC y MS). (Tabla 15, gráfico 31).

Tabla 15

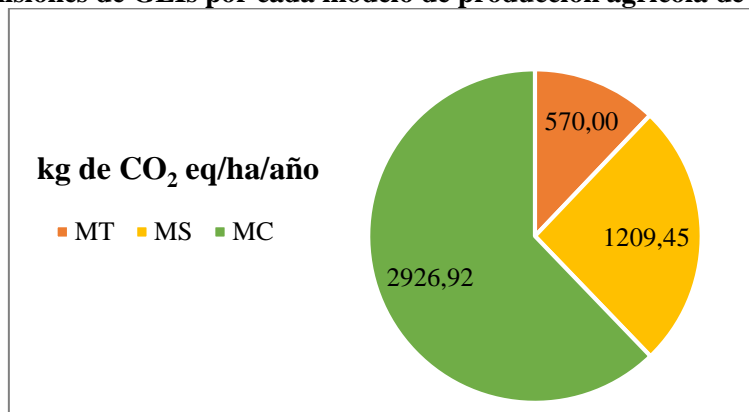
Total de emisiones procedentes de los modelos estudiados			
TOTAL, DE EMISIONES DE GEIs	modelos de producción agrícola de maíz duro		
	MT	MS	MC
kg de CO ₂ eq/ha/año	570,00	1209,45	2926,92
% de aportación de GEIs	13	27	60

Fuente: Inputs recolectados - tabulación de datos

Elaboración: Propia

Gráfico 31

Emisiones de GEIs por cada modelo de producción agrícola de maíz



Fuente: Inputs recolectados - tabulación de datos

Elaboración: Propia

Entre los modelos estudiados se evidenció que el convencional contribuyó con el 60 % de emisiones de GEIs a la atmósfera, seguido por el modelo semi-convencional con 27%, mientras que el modelo tradicional aportó con el 13% de las emisiones.

De igual modo, un estudio realizado por Eranki, Devkota, y Landis (2018, 22) reportó que las emisiones de una agricultura ecológica eran más bajas en un 41% que las emisiones procedentes de una agricultura convencional de producción de maíz, esto debido a la alta aplicación de fertilizantes. En el caso del maíz en Shushufindi, se evidenció que para el modelo tradicional las emisiones son 80% menores que las del modelo convencional y 57 % menos que las del modelo semi-convencional.

Abrahão, Carvalho, y Causapé (2016, 5650) reportaron que las emisiones resultantes en la producción de maíz eran de 1700 kg de CO₂eq año/ha, y que el principal contribuyente a estas emisiones con aproximadamente 69 % eran los fertilizantes líquidos y en un 18 % los abonos compuestos. Por otra parte, Morales A. et al. (2018, 19) reportaron que las emisiones por la producción mecanizada de maíz son responsables entre 1760 y 2763 kg CO₂eq·ha⁻¹.

De acuerdo con el estudio realizado por Altuna et al. (2012, 36), donde estiman la huella de carbono en cultivos como el trigo, la cebada y el maíz, reportan que las emisiones procedentes por estos cereales fueron de 380,87, 297,75 y 514,76 kg de CO₂ eq/ton de producto respectivamente, observándose que para el caso del maíz las emisiones son mayores que los otros cereales. En Shushufindi se reportó que las emisiones por cada modelo caracterizado fueron de 145,32, 561,21 y 460,91 kg de CO₂eq/ton para los modelos MT, MS y MC respectivamente (Ver tabla 16-gráfico 32), evidenciándose que el modelo MS tiene mayores aportaciones de emisiones de GEI, debido a que el rendimiento fue más bajo que los otros dos modelos, ya que tuvo un rendimiento de 2,40 ton ha⁻¹ año⁻¹ a diferencia de los modelos MC y MT que fueron de 6,35 y 3,96 ton ha⁻¹ año⁻¹ respectivamente. Cabe mencionar, que las emisiones obtenidas por los modelos estudiados MS y MC son mayores que las que se obtuvieron en Perú (224 kg CO₂eq. ton⁻¹) por la producción mecanizada de maíz (Morales A. et al. 2018, 17).

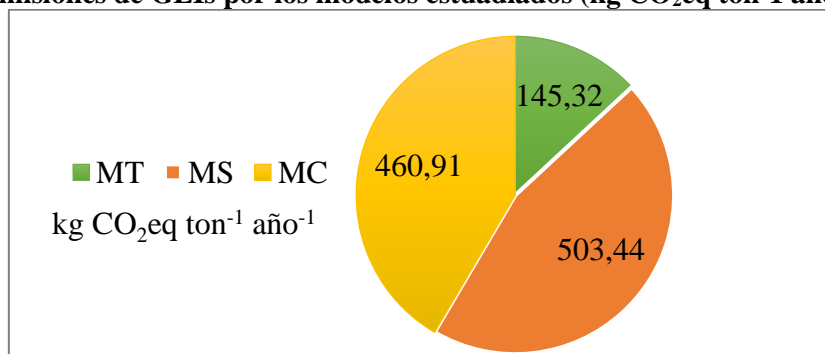
Tabla 16
Emisiones de GEIs por ton de producción de maíz

TOTAL DE EMISIONES DE GEIs	modelos de producción agrícola de maíz duro		
	MT	MS	MC
kg de CO ₂ eq/ton/año	145,32	503,44	460,91

Fuente: Recolección de inputs -tabulación de datos

Elaboración: Propia

Gráfico 32
Emisiones de GEIs por los modelos estudiados (kg CO₂eq ton⁻¹ año⁻¹)



Fuente: Recolección de inputs -tabulación de datos

Elaboración: Propia

3.1. Emisiones por fuentes

Tanto en la tabla 17 como en el gráfico 33, se presentan las emisiones de GEIs procedentes por cada fuente de emisión analizada en los modelos evaluados (MT, MS, MC), donde se observa que el modelo convencional presentó mayor aporte de emisiones de GEIs a la atmósfera debido a que el modelo utiliza un alto uso de insumos para la producción de maíz, en gran medida las emisiones se dieron por los aportes de N₂O por suelos gestionados (43,73 %) seguido por las emisiones de CO₂eq por el uso de fertilizantes (N,P y K) (35,29 %). Finalmente, los combustibles fósiles y fitosanitarios aportaron con un 13,89 % y 2,60 % respectivamente para el modelo MC.

Para el caso del modelo semi-convencional las emisiones por la quema de los residuos agrícolas en el campo representan el 65,79 %, seguido por las emisiones de N₂O por suelos gestionados con el 17,42 %, de igual modo, el uso de combustibles fósiles es responsable del 14,57 % de los aportes de las emisiones de GEIs a la atmósfera, por último, las emisiones por los fitosanitarios contribuyeron con 0,78%.

En el modelo tradicional al igual que los otros modelos, la mayor contribución de las emisiones se produjo por el N₂O procedente de los suelos gestionados con un aporte del 77,88 %, los combustibles fósiles tuvieron un aporte de 9,63 %, mientras que el uso de fertilizante (biol) fue de 9,52 %. Cabe mencionar, que en este modelo no se reportó emisiones por fitosanitarios debido a que no se utilizan este tipo de insumos.

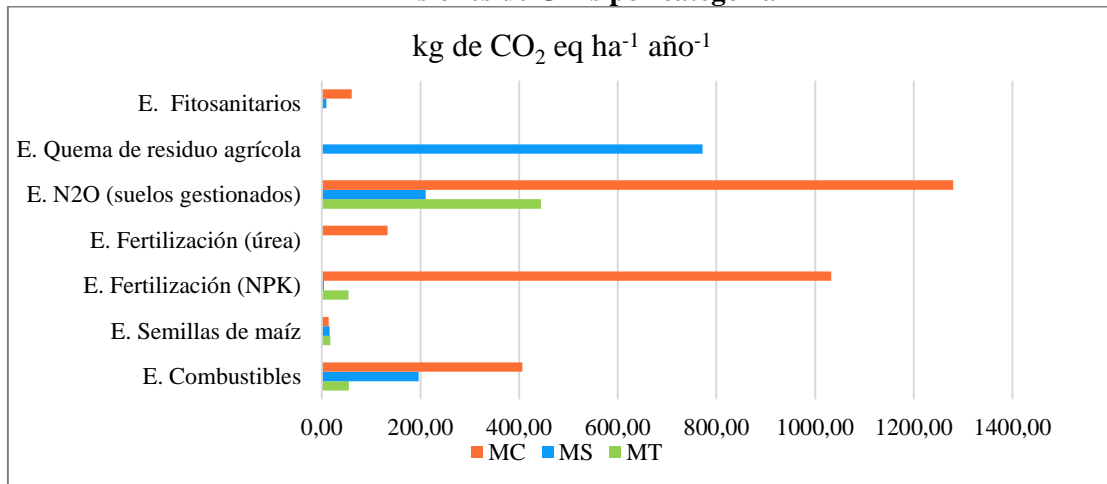
Tabla 17
Emisiones de GEIs por la producción de maíz duro seco

CATEGORÍA	kg CO ₂ eq ha ⁻¹ año ⁻¹		
	MT	MS	MC
E. Combustibles	54,88	196,30	406,49
E. Semillas de maíz	16,93	15,88	14,00
E. Fertilización (NPK)	54,26	4,49	1032,95
E. Fertilización (úrea)	0,00	0,00	133,33
E. N ₂ O (suelos gestionados)	443,93	210,29	1279,81
E. Quema de residuo agrícola	0	771,99	0
E. Fitosanitarios	0,00	9,48	60,34
total	570,00	1208,42	2926,92

Fuente: Recolección de inputs en campo-tabulación de datos

Elaboración: Propia

Gráfico 33
Emisiones de GEIs por categoría



Fuente: Recolección de inputs en campo-tabulación de datos

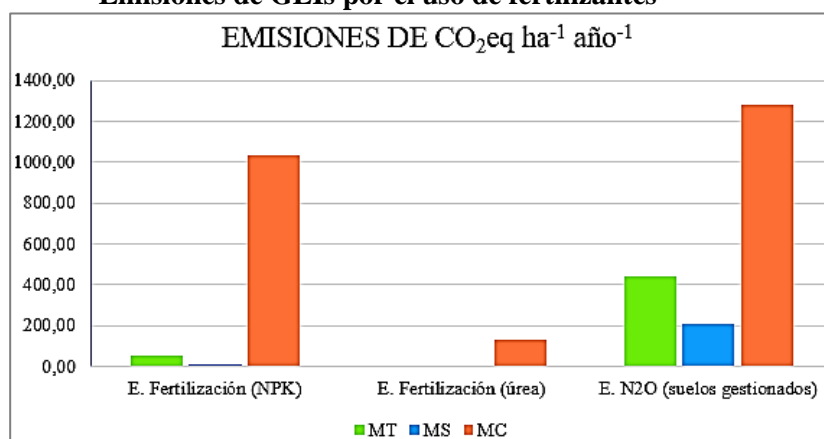
Elaboración: Propia

3.1.1. Uso de fertilizantes (*hotspot*).

Se evidenció que el uso de fertilizantes sintéticos, orgánicos y la descomposición de los restos de la cosecha son responsables de emisiones significativas de óxidos de nitrógeno procedentes del suelo, las emisiones por el uso de fertilizantes fueron de 443,93, 234,72 y 1279,81 kg de CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹ para los modelos MT, MS y MC respectivamente (gráfico 34).

Por otra parte, las emisiones por la fertilización con aportes de N-P-K procedente del biol utilizado en modelo MT fueron de 54,26 kg de CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹; el modelo semi-convencional aportó con 4,49 kg de CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹ estas bajas emisiones comparadas con los modelos MT y MC se deben a que el productor utiliza poca cantidad de fertilizante con contenido de N,P,K (6 kg/ha año⁻¹ de fertilizantes). El modelo MC contribuyó con 1032 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹, estos aportes de emisiones se deben a la gran cantidad de fertilizantes sintéticos con alto porcentaje de N, P y K que se utiliza en este modelo (1090,62 6 kg/ha año⁻¹ de fertilizantes). Adicionalmente, el MC aportó con emisiones de CO₂ por la fertilización con urea, estas emisiones fueron de 133,33 kg de CO₂eq año/ha (ver gráfico 34).

Gráfico 34
Emisiones de GEIs por el uso de fertilizantes



Fuente: Recolección de inputs en campo-tabulación de datos
Elaboración: Propia

Es importante mencionar, que la incorporación de nitrógeno en los cultivos de maíz es muy común por parte de los productores maiceros, ya que, lo hacen para incrementar los rendimientos de este cultivo, según señala el IPCC (2006f, 1.8), incrementar la disponibilidad de N en el suelo aumenta considerablemente las emisiones de N₂O que se genera como subproducto de los procesos de nitrificación y la desnitrificación. Por otra parte, esta incorporación de nitrógeno al suelo genera emisiones indirectas a causa de la lixiviación o el escurrimiento de compuestos nitrogenados como pérdidas de NO₃⁻ de los suelos, los cuales después pueden convertirse en N₂O por desnitrificación (IPCC 2006f, 1.6).

En una investigación realizada por Sagarna et al. (2012, 51) las emisiones por parte de la gestión de suelos procedentes del N₂O, es el aspecto que genera mayor impacto, ya que, representa una media del 50% de las emisiones totales por la producción de maíz. De igual modo, Mohammadí citado en Abrahão, Carvalho, y Causapé (2016, 5650), detectaron que la fertilización es la categoría con más alto contenido de CO₂ eq emitidas y sugiere que el cambio de fertilización por otras fuentes puede ser una opción viable para disminuir las emisiones.

3.1.2. Emisiones por uso de combustible

En el modelo MC el uso de combustibles fósiles tuvo un aporte del 13,89 % de las emisiones de GEIs (406,49 kg CO₂eq ha⁻¹año⁻¹), para el caso del modelo MS el uso de este tipo de combustibles representa el 16,32 % de las emisiones (196,30 kg CO₂eq ha⁻¹

¹año⁻¹), mientras que en el modelo tradicional los combustibles fósiles aportan el 9,63 % de las emisiones GEIs a la atmósfera (54,88 kg CO₂eq ha⁻¹año⁻¹).

En una investigación realizada por Morales A. et al. (2018, 17), el transporte emite entre 185 y 334 kg de CO₂eq.ha⁻¹, por otra parte, en Altuna et al. (2012, 36) la categoría de emisiones por parte del gasoil utilizado para producción de maíz fue responsable del 6,08% correspondiente a 31,28 kg CO₂eq/ton, siendo estas menores que las encontradas en el presente estudio independientemente del modelo de producción analizado.

Puntos críticos (hotspot)

Los modelos de producción de maíz analizados en Shushufindi presentaron dependencia del uso de combustibles fósiles como la gasolina y el diésel, utilizados principalmente por las maquinarias agrícolas como la guadaña, el canguro agrícola, desgranadoras y cosechadoras de maíz duro.

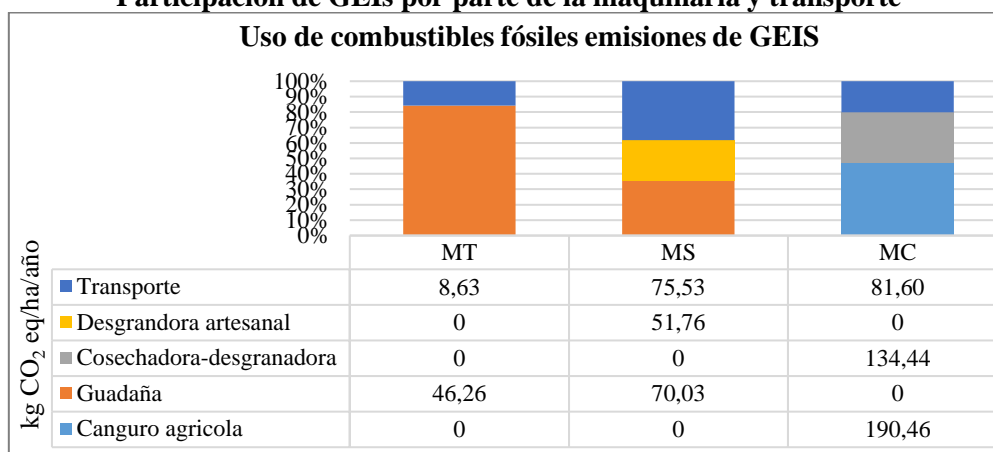
En el modelo MC se evidenció que el uso del canguro agrícola utilizado en la fase de preparación del suelo, específicamente para el arado-fertilización y la siembra es responsable de emisiones de GEIs considerables, con un aporte de 190,46 kg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹ correspondiente al 47% del total de las emisiones por el uso de combustible. La desgranadora aportó en un 33 % de las emisiones (134,44 kg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹) y por último el transporte con 20 % de las emisiones (81,60 kg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹).

En el modelo MS el punto más crítico identificado por el uso de combustibles fósiles fue por parte del transporte con un aporte de GEIs de 75,53 kg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹ (38% de las emisiones por uso de combustibles), este aporte se debe a que en este modelo se utiliza diferentes tipos de transporte (automóviles por los productores -camioneta para transportar la desgranadora y para el transporte de la producción del maíz). El uso de la guadaña es responsable con el 36 % equivalente al 70,03 kg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹, en cuanto a la desgranadora artesanal, esta contribuyó con el 26 % de aporte de las emisiones (51,76 kg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹).

En el caso del modelo MT se observó que el uso de la guadaña está representando emisiones de GEIs con 46,26 kg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹. y las emisiones por el transporte utilizado para trasladar la producción de maíz fueron de 8,63 kg CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹.

En el gráfico 35, se puede evidenciar los aportes de emisiones de GEIs por parte del uso de combustibles fósiles utilizados por la maquinaria agrícola y el transporte por cada modelo estudiado.

Gráfico 35
Participación de GEIs por parte de la maquinaria y transporte



Fuente: Datos recolectados-resultados tabulados
Elaboración: Propia

3.1.3. Fitosanitarios

El uso de pesticidas, herbicidas y plaguicidas aportaron con emisiones de 9,48 y 60,34 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹ para el modelo MS y MC respectivamente, para el caso del MT no se reportó emisiones por este tipo de fuente, ya que, el productor no utiliza ningún fitosanitario para el control de plagas. En la tabla 18 se presentan los aportes de GEIs por los fitosanitarios utilizados por los modelos MC y MS. Comparando las emisiones estimadas por los modelos MS y MC con las reportadas en Perú por el uso de plaguicidas en la producción de maíz mecanizado, las emisiones fueron mayores en Perú con 205 kg CO₂eq.ha⁻¹ (Morales A. et al. 2018, 18).

Tabla 18
Emisiones de GEIs por tipo de fitosanitario

Fitosanitarios	Modelo	Quemante	TEJO	NOSTOC	Total de emisiones
		(Herbicida)	(insecticida)	(Herbicida)	
kg de CO ₂ eq ha ⁻¹ año ⁻¹					
	MC	27,425	32,91	-	60,34
	MS	-	8,78	0,7	9,48

Fuente: datos recolectados-resultados tabulados
Elaboración: Propia

Puntos críticos (hotspot)

Para el modelo MC se identificó que el fitosanitario que contribuye con un aporte considerable de GEIs es el TEJO, un plaguicida que utilizan para atacar al gusano cogollero (*Spodoptera frugiperda*) aportando con 32,91 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹, en cuanto

al quemante que tiene como ingrediente activo el Paraquat aportó con 27,43 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹.

Para el caso del modelo MS, el TEJO es el fitosanitario que da el mayor aporte de emisiones con 8,78 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹. El NOSTOC utilizado para la grama generó 0,70 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹.

3.1.4. Quema de los residuos agrícolas

El modelo semi-convencional es el modelo que presentó emisiones de GEIs a la atmósfera procedente de la quema de los residuos agrícolas, ya que, los productores gestionan los residuos agrícolas procedentes de la desgranadora mediante la quema, el resto de los residuos agrícolas fueron incorporados en el suelo, esta práctica generó alrededor de 771,99 kg de CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹.

De acuerdo con Quintero y Moncada (2008, 3), la quema de los residuos agrícolas son fuente importante de emisiones de GEIs, puesto que constituyen con emisiones como el monóxido de carbono, bióxido de nitrógeno, adicional genera hidrocarburos (NMHC) y partículas menores a 10 micras (PM10) que en conjunto también se les consideran una fuente de contaminación del aire. Asimismo, el IPCC (2006d, 2.46) argumenta que las emisiones procedentes por la quema de residuos agrícolas origina CO, CH₄, compuestos orgánicos volátiles (COVDM) y especies de nitrógeno (N₂O- NO_x).

3.1.5. Semillas

Con respecto al input de semillas de maíz generó emisiones de 16,93, 15,88 y 14,00 kg de CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹ para los modelos MT, MS y MC respectivamente, estos valores van acorde a la cantidad de semilla utilizada por los productores, es decir, 48,38 (MT), 45,36 (MS) y 40 (MC) kg/ha año⁻¹ de semillas utilizadas para la siembra; se considera que los aportes de esta fuente son relativamente bajas con 2,97%, 1,18% y 0,48 % para los modelos MT, MS y MC respectivamente, similares a las emisiones reportadas por Abrahão, Carvalho, y Causapé (2016, 5650) que aportaron en un 3% de las emisiones.

3.2. Stock de carbono de los modelos de producción de maíz estudiados

El modelo MT almacenó alrededor 0,24 ton de Carbono que equivale a 0,87 ton de CO₂ en 0,15 ha. El modelo semi-convencional presentó un almacenamiento de 0,43 ton CO₂ en 0,5 ha, mientras que el modelo convencional en 4 ha almacenó solo 0,80 ton de CO₂. En el anexo 14 se presenta el levantamiento de los datos para el stock de carbono, así como su tabulación por cada modelo de producción agrícola de maíz estudiado.

Para fines comparativos se han llevado los diferentes datos del stock de carbono a 1 ha, dando como resultado que el modelo convencional tiene menor capacidad de absorción de 0,05 ton/ha C y 0,20 ton/ha CO₂, esto a causa de que el cultivo de maíz no se encuentra asociado con otras especies vegetales que permitan la captura de CO₂, ya que, este modelo es caracterizado como monocultivo.

El modelo tradicional, fue el modelo que presentó mayor capacidad de absorción de 5,51 ton/ha CO₂ y 1,55 ton/ha C, esto se debe a que el cultivo de maíz se encuentra en asociación con otras especies vegetales y presenta mayor diversidad vegetal.

En el modelo MS, el almacenamiento de C fue de 0,23 tonC/ha y presentó una absorción de CO₂ 0,85 ton/ha, este almacenamiento se debe a la presencia de especies arbóreas asociadas con cultivo de maíz.

En la tabla 19 y en el gráfico 36 se presentan el stock de carbono por cada modelo estudiado.

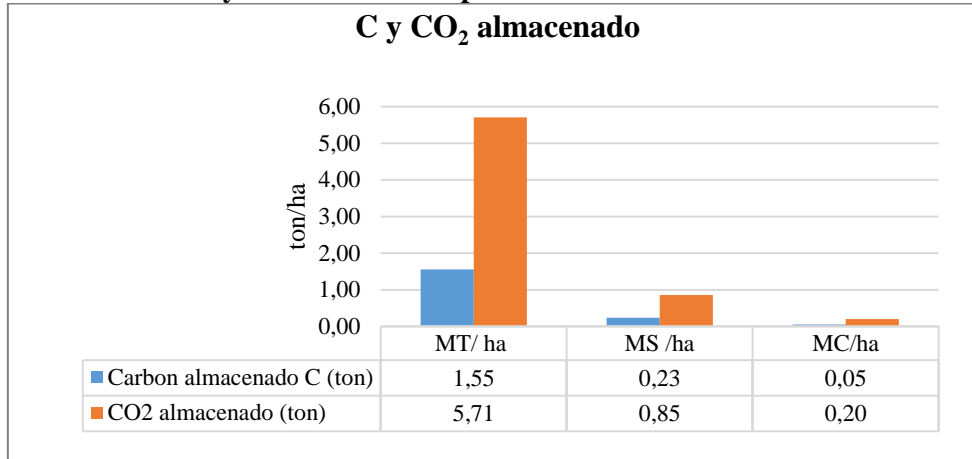
Tabla 19
Stock de carbono por los modelos estudiados

Modelo	Área abordada	Almacenamiento real por parcela y área		Extrapolación- 1ha fines comparativos	
		Carbón almacenado	CO ₂ almacenado	C almacenado (ton/ha)	CO ₂ almacenado (ton/ha)
MT	0,15 ha	0,23	0,86	1,55	5,71
MS	0,5 ha	0,12	0,43	0,23	0,85
MC	4 ha	0,22	0,80	0,05	0,20

Fuente: Resultados de recolección de datos en campo y tabulaciones

Elaboración: Propia

Gráfico 36
C y CO₂ almacenado por cada modelo analizado



Fuente: Datos en campo-cálculo efectuado

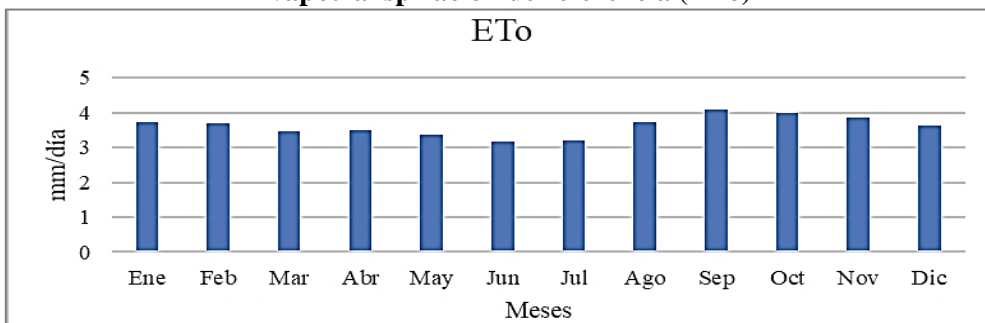
Elaboración: Propia

4. Huella hídrica

4.1. Evapotranspiración de referencia (ET_o)

Se obtuvo un valor ET_o promedio de 3,61 mm/día, este parámetro muestra la evaporación de agua que realiza el cultivo hacia la atmósfera. También se presenta la ET_o por mes, siendo el mes de septiembre el que presentó la mayor ET_o con un valor de 4,08 mm/día, a su vez, se tiene una baja ET_o en los meses de junio y julio con 3,18 y 3,19 mm/día respectivamente (gráfico 37). En la tabla 20 se muestran los datos climáticos ingresados mensualmente (temperatura máx. y min, humedad, velocidad del viento y horas sol) de la base de datos de la estación meteorológica Aeropuerto- Lago Agrio de la DGAC,

Gráfico 37
Evapotranspiración de referencia (ET_o)



Fuente: cálculo efectuado en CROPWAT 8.0 y tabulado en Excel

Elaboración: Propia

4.2. Precipitación efectiva (Peff)

Se determinó una Precipitación efectiva (Peff) en el cultivo de maíz, es decir, desde el punto de vista agronómico la precipitación aprovechable por las plantas; la Peff total obtenida fue de 2592,5 mm como se muestra en la tabla 20, es decir, que de 3600,6 mm se aprovecha 2592,5 mm y en consecuencia lo que no es aprovechable se pierde por escorrentía superficial o por medio de la evaporación.

Tabla 20
ETo y Peff calculada en base los datos de la estación aeropuerto Lago Agrio

Mes	Temp Min °C	Temp Max °C	Humedad %	Viento km/día	Insolación horas	Rad MJ/m ² día ⁻¹	Precipit, mm	ETo ^a mm/día	Prec, efec ^a mm
Enero	20,6	33,6	79	178	3,4	14,1	238,4	3,74	166,7
Febrero	20,5	33,7	83	178	3,3	14,4	298,7	3,68	214,9
Marzo	20,5	33,5	84	178	2,4	13,2	376,8	3,45	277,4
Abril	20,2	33,3	83	178	2,7	13,4	355,2	3,48	260,2
Mayo	20,1	32,8	84	178	3,1	13,3	354,2	3,35	259,3
Junio	19,8	32,5	85	178	3	12,7	363,1	3,18	266,4
Julio	19,5	32	84	178	3	12,8	302,1	3,19	217,6
Agosto	19,5	33,9	79	178	3,4	14	221,2	3,74	152,9
Septiembre	19,8	34,6	76	178	3,6	14,9	204,2	4,08	139,3
Octubre	20,2	34,5	78	178	3,5	14,7	253	3,98	178,4
Noviembre	20,3	33,8	80	178	4	15	359,4	3,87	263,5
Diciembre	20,7	33,4	79	178	3,2	13,5	274,5	3,63	195,6
Promedio	20,1	33,5	81	178	3,2	13,8	3600,6	3,61	2592,5

^aPeff y ETo calculado a partir del CROPWAT 8.0, los datos climatológicos fueron tomados de la DGAC (2008-2017)

Fuente: Datos de la DGAC (2008-2017)

Elaboración: Propia

4.3. Datos de cultivo

4.3.1. Coeficiente de cultivo Kc

El coeficiente de cultivo Kc para los diferentes modelos se muestra en la tabla 21, para esta estimación se tomó en cuenta las etapas (días), profundidad radicular (m), respuesta de rendimiento y altura de cultivo (m). Para el cálculo de Kc se consideró la base de datos de la FAO para el maíz.

Tabla 21
Coefficiente del cultivo del maíz Kc

Modelo	Siembra	Cosecha	Días	Prof. Radicular (m)	Resp. rendimiento	Altura de cultivo (m)
MT	30/07	26/11	120	0,25	1,25	2,5
MS	1/06	08/09	100	0,30	1,25	2,4
MC	15/04	01/09	140	0,30	1,25	2
ValoresKc	0,30 – 1,20 – 0,35 para los 3 modelos					

Fuente: Datos en campo resultado del CROPWAT 8.0

Elaboración: Propia

4.3.1.1. Datos de suelo

Los diferentes suelos de los cultivos de maíz en Shushufindi presentan una textura Arenosa-franca y franco Arenosa, por lo que, para los datos tabulados en el CROPWAT 8.0 se trabajó con los datos del suelo “Light” (terrenos de textura suelta, franco arenosa) tomado de la base de datos de la FAO 2006 disponible en el software. En el gráfico 38 se muestran los resultados dados por el CROPWAT 8.0 para los datos de suelo.

Gráfico 38
Datos del suelo dados por el CROPWAT 8.0

Nombre del suelo	
Light (sand)	
Datos generales de suelo	
Humedad de suelo disponible total (CC-PMP)	60,0 mm/metro
Tasa máxima de infiltración de la precipitación	40 mm/día
Profundidad radicular máxima	900 centímetros
Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT)	0 %
Humedad de suelo inicialmente disponible	60,0 mm/metro

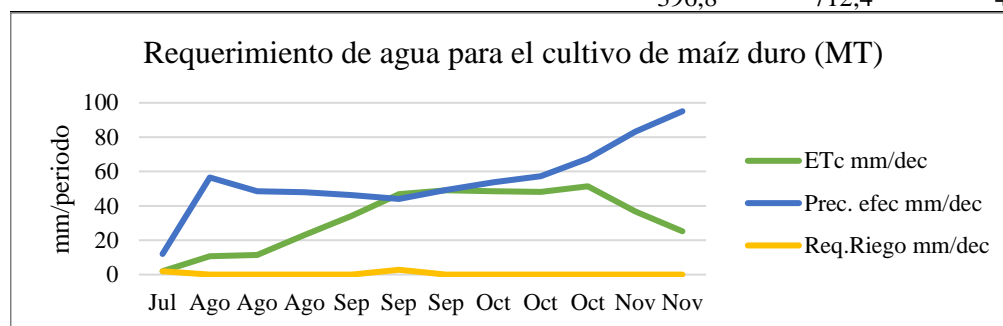
Fuente: FAO 2006- CROPWAT 8.0

4.4. Evapotranspiración ET - Requerimientos de agua del cultivo (RAC)

La demanda hídrica del cultivo en base decadiaria (10 días) para todas las etapas de crecimiento se presentan en las tablas 22,23 y 24, Los resultados muestran que, para el modelo tradicional durante el mes de julio el cultivo de maíz requiere riego con 2 mm/periodo y en septiembre con 2,8 mm/periodo. Asimismo, el modelo convencional solo presenta un requerimiento de riego al final del periodo con 1,4 mm/periodo; en cuanto al modelo semi-convencional, los resultados muestran que no requiere riego, ya que, para todos los periodos el valor es 0 mm/periodo.

Tabla 22
Requerimientos de agua del cultivo (RAC) MT

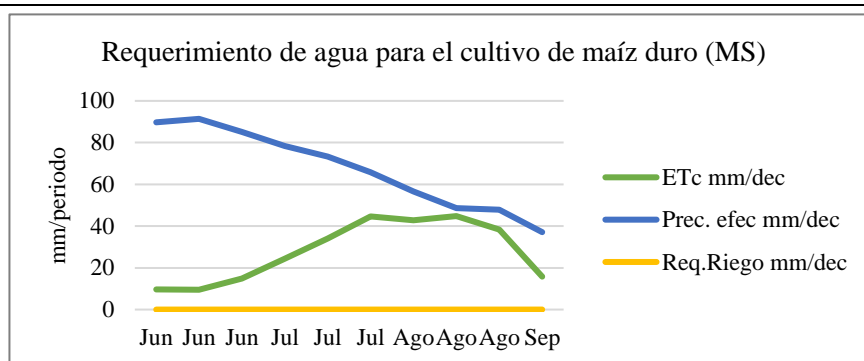
MT								
Mes	Déc.	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req. Riego mm/dec	
Jul	3	Inic	0,3	1,01	2	12	2	
Ago	1	Inic	0,3	1,07	10,7	56,6	0	
Ago	2	Des	0,31	1,15	11,5	48,6	0	
Ago	3	Des	0,54	2,09	23	47,9	0	
Sep	1	Des	0,86	3,42	34,2	46,3	0	
Sep	2	Med	1,15	4,68	46,8	44	2,8	
Sep	3	Med	1,21	4,9	49	49,2	0	
Oct	1	Med	1,21	4,86	48,6	53,7	0	
Oct	2	Med	1,21	4,82	48,2	57,3	0	
Oct	3	Fin	1,18	4,67	51,4	67,5	0	
Nov	1	Fin	0,94	3,67	36,7	83,2	0	
Nov	2	Fin	0,65	2,52	25,2	95,1	0	
Nov	3	Fin	0,42	1,6	9,6	51,1	0	
					396,8	712,4	4,8	



Fuente: Resultados obtenidos con el CROPWAT
Elaboración: Propia.

Tabla 23
Requerimientos de agua del cultivo (RAC) MS

MS							
Mes	Dec.	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req. Riego mm/dec
Jun	1	Inic	0,3	0,97	9,7	89,8	0
Jun	2	Inic	0,3	0,95	9,5	91,4	0
Jun	3	Des	0,47	1,48	14,8	85,1	0
Jul	1	Des	0,77	2,44	24,4	78,4	0
Jul	2	Des	1,07	3,4	34	73,3	0
Jul	3	Med	1,2	4,06	44,6	65,8	0
Ago	1	Med	1,2	4,28	42,8	56,6	0
Ago	2	Fin	1,2	4,48	44,8	48,6	0
Ago	3	Fin	0,9	3,48	38,3	47,9	0
Sep	1	Fin	0,5	1,98	15,8	37,1	0
					278,9	674	0



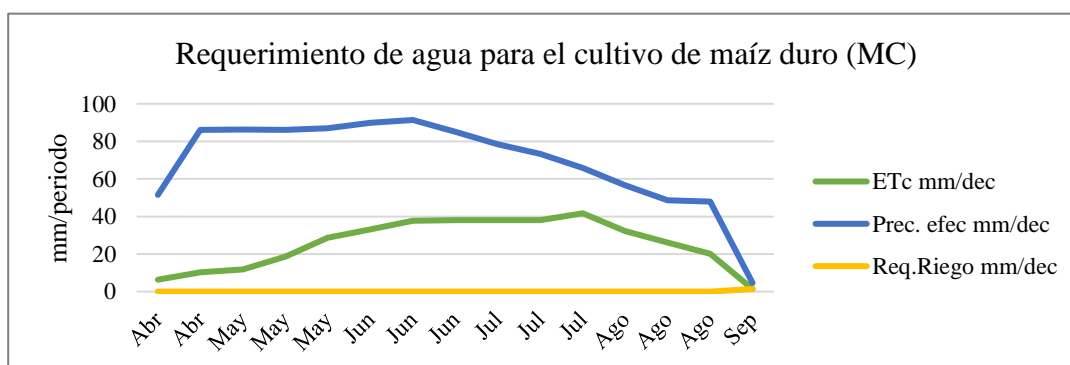
Fuente: Resultados obtenidos con el CROPWAT

Elaboración: Propia

Tabla 24

Requerimientos de agua del cultivo (RAC) MC

MC								
Mes	Dec.	Etapa	Kc coef	ETc mm/día	ETc mm/dec	Prec. efec mm/dec	Req. Riego mm/dec	
Abr	2	Inic	0.30	1.04		6,3	51,6	0
Abr	3	Inic	0.30	1.03		10,3	86,1	0
May	1	Des	0.35	1.18		11,8	86,3	0
May	2	Des	0.56	1.87		18,7	86,1	0
May	3	Des	0.79	2.61		28,7	87	0
Jun	1	Des	1.03	3.32		33,2	89,8	0
Jun	2	Med	1.19	3.77		37,7	91,4	0
Jun	3	Med	1.19	3.80		38	85,1	0
Jul	1	Med	1.19	3.80		38	78,4	0
Jul	2	Med	1.19	3.80		38	73,3	0
Jul	3	Fin	1.12	3.79		41,7	65,8	0
Ago	1	Fin	0.91	3.23		32,3	56,6	0
Ago	2	Fin	0.70	2.61		26,1	48,6	0
Ago	3	Fin	0.48	1.83		20,2	47,9	0
Sep	1	Fin	0.35	1.39		1,4	4,6	1,4
						382.1	1038.7	1.4



Fuente: Resultados obtenidos con el CROPWAT

Elaboración: Propia

4.5. HH verde

La HH_{verde} para el modelo tradicional fue de 1008,16 m^3/ton , mientras que para el modelo semi-convencional el consumo de agua lluvia fue mayor con 1153,75 m^3/ton ; finalmente, la huella verde para el modelo convencional fue menor que los dos modelos antes mencionados con 599,69 m^3/ton , este análisis se lo realiza en base al rendimiento, ya que, el MC presentó mayor rendimiento que los modelos MT y MS. (ver tabla 25 y gráfico 39).

Tabla 25
HHverde de cada modelo de producción agrícola de maíz duro.

HUELLA HÍDRICA VERDE				
Evapotranspiración para agua verde	min entre (requerimiento del cultivo, precipitación efectiva)			
VARIABLES	CANTIDAD			UNIDAD
	MT	MS	MC	
(Uso pot. De agua del cultivo)	395,2	276,9	380,7	mm
Precipitación Efectiva (Pf)	390,4	274,9	371,6	mm
Def. de hum. En cosecha (déficit)	4,8	2	9,2	mm
Rendimiento del cultivo de maíz	3,92	2,4	6,35	t/ha
Ev. De agua verde total (Pf + déficit)	395,2	276,9	380,8	mm
HH_{Verde}	3952	2769	3808	m^3/ha
	1008,16	1153,75	599,69	m^3/ton

Fuente: Tabulación en el CROPWAT 8.0- Excel

Elaboración: Propia

Un estudio realizado por Pérez (2012, 54) estimó que la HH verde del cultivo de maíz en Sucumbíos fue de 2073 m^3/ton , esta huella es mayor que la estimada en los tres modelos analizados en el presente estudio realizado en Shushufindi. Por otro lado, en el caso de cultivos de maíz en Colombia, se estimó que la HH verde promedio representa el 60 % de la Huella hídrica agrícola correspondiente a 820,24 m^3/ton (HH_{verde}) (Romero, Quintero, y Monserrate 2016, 38). En Shushufindi en el MC el 52% de la huella agrícola correspondió a la HH verde.

4.6. Huella azul

Los modelos no presentaron consumo de recursos de agua superficiales o subterráneas utilizadas para el riego de los cultivos de maíz, ya que, Shushufindi es un cantón que presenta precipitaciones significativas que suplen este componente.

4.7. Huella hídrica gris

Este componente de la HH gris del cultivo fue para el modelo semi-convencional de 48,10 m³/ton y para el modelo convencional una HHgris de 558,17 m³/ton (tabla 26), para el caso del modelo tradicional no se reportó valores de HH gris en vista de que no se aplica ningún tipo de fertilizante sintético ni fitosanitario. Para mayor visualización en el anexo 15 y 16 se presentan los resultados detallados de cada variable utilizada en el cálculo de la HHgris.

Pérez (2012, 54) estimó para la provincia de Sucumbios una HHgris de 330 m³/ton para el cultivo de maíz, por lo que esta huella es muy baja comparada con la huella que se reportó en la presente investigación para el modelo convencional, estos resultados muestran que para el caso de Shushufindi y de manera específica el modelo convencional, este posee alto consumo de insumos agrarios como fertilizantes y fitosanitarios que contribuyen a la HHgris.

Puntos críticos- hotspot

Se determinó que para el modelo MS el contaminante con mayor impacto es el Tejo (insecticida) con una HHgris de 33 m³/ton, en cuanto al NOSTOC aplicado tuvo un aporte a la HHgris de 14,25 m³/ton. La aplicación de fertilizantes con contenido de N y P tuvieron aportes de 0,23 y 0,28 m³/ton respectivamente para este modelo MS.

Para el modelo MC el quemante utilizado en la fase de preparación y control de cultivo para controlar las malezas es el compuesto químico que mayor aporta a la HHgris total con 213 m³/ton, el tejo tuvo un aporte de 47,24 m³/ton. Los nutrientes como el N y P la contribución fue mayor por el fosforo con 203,02 m³/ton seguido por el N con 94,34 m³/ton.

Tabla 26
HHgris por compuesto químico empleados por los modelos MC y MS

PLAGUICIDAS			NUTRIENTES		
			Nitrógeno		
Modelo	Producto químico	HH _{Gris} por la producción (m ³ /ton)	Modelo	Producto químico	HH _{Gris} por la producción (m ³ /ton)
MS	Nostoc	14,25	MS	10-30-10	0,23
	Tejo	33,33	MC	Nitrógeno	94,34
	TOTAL	47,59	Fosforo		
MC	Quemante	213,57	MS	10-30-10	0,28
	Tejo	47,24	MC	Fosforo	203,02
	TOTAL	260,81			

Fuente: Tabulación de datos en Excel

Elaboración: Propia

4.8. Huella hídrica del cultivo

La HHcultivo para cada modelo MT, MS y MC fueron de 1088,16, 1201,85 y 1157,86 m³/ton respectivamente (Tabla 27), y es notable el alto impacto dado por los modelos convencional y semi-convencional, ya que, el volumen de agua dulce utilizada directa o indirectamente para producir maíz es muy alto comparado con el modelo tradicional (gráfico 39).

Tabla 27
HH cultivo en m³/ton

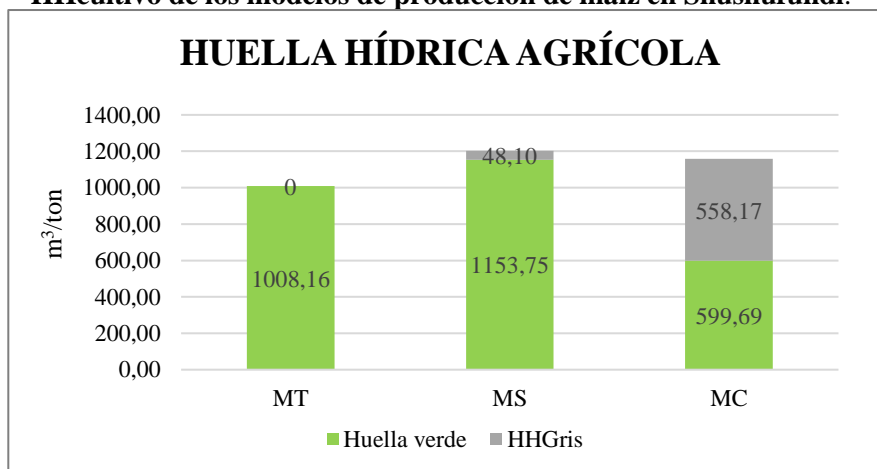
	MT	MS	MC
Huella verde	1008,16	1153,75	599,69
HHGris	0	48,10	558,17
HHcultivo	1008,16	1201,85	1157,86

Fuente: Tabulación de datos en Excel

Elaboración: Propia

Gráfico 39

HHcultivo de los modelos de producción de maíz en Shushufundi.



Fuente: Tabulación de datos en Excel

Elaboración: Propia

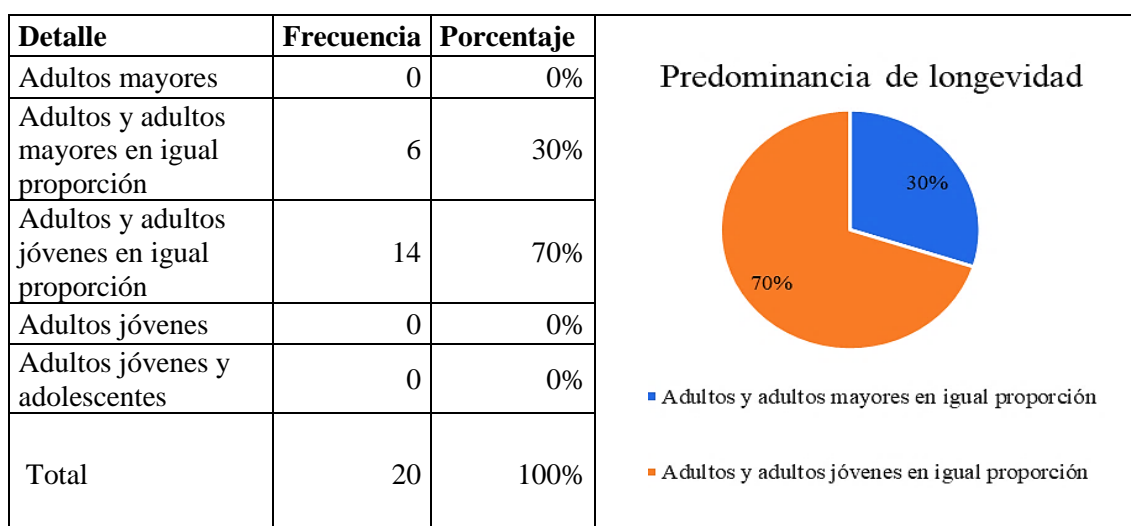
5. Factor social

5.1. Caracterización de los productores de maíz en Shushufindi.

Resultados de las entrevistas semiestructuradas aplicadas a los productores maiceros del cantón Shushufindi.

5.1.1. Predominancia de longevidad

1) Las labores del campo son realizadas por una predominancia de:



Fuente: Encuestas

Elaboración: Propia

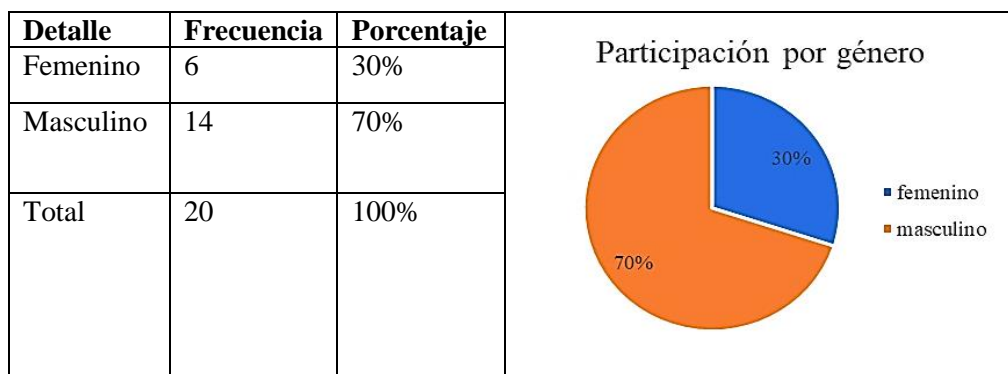
Análisis e interpretación:

De acuerdo con las encuestas realizadas a los productores maiceros de Shushufindi, en un 70% las actividades agrícolas son realizadas por personas adultas y jóvenes entre edades de 20-59 años, evidenciándose la existencia de participación de jóvenes en la agricultura, adicionalmente, no se encontró presencia solo de adultos mayores que realicen esta actividad agrícola, por lo que, no se observa que exista un predominio de productores maiceros longevos. De acuerdo con el MAG (2018b, 7) la edad promedio del productor maicero en el Ecuador se encuentra entre los 48 años. Es importante considerar que la mayor cantidad de los pobladores de Shushufindi, tanto hombres como mujeres se encuentran en el grupo de 15 a 65 años, con tendencia a grupos

de edad adulta, esto según los datos dados por el INEC citado en el PDyOT de Shushufindi (GAD Shushufindi 2015, 20).

5.1.2. Participación de género

2) Participación de mujeres y hombres en las labores de producción de maíz.



Fuente: Encuestas

Elaboración: Propia

Análisis e interpretación:

De acuerdo con los productores maiceros entrevistados, se encontró un 30% de participación femenina en las labores agrícolas, donde las principales actividades que realizan según los productores, es el desgranado de maíz, deshoje y la cosecha para los casos donde existe una agricultura tradicional y semi-convencional. En la producción convencional no se encontró presencia femenina, dado que este tipo de producción requiere menor demanda de mano de obra y las actividades que se realizan es para levantamiento y transporte de la producción, secado de maíz y manejo de la maquinaria agrícola. En las ilustraciones 3 y 4 se evidencia tanto la participación femenina como la masculina en las actividades agrícolas de maíz.

Ilustración 3

Presencia femenina en actividades agrícolas relacionadas a la producción de maíz.

Fuente: Fotografías tomadas en campo.

Ilustración 4

Presencia de hombres en actividades agrícolas relacionadas a la producción de maíz.

Fuente: Fotografías tomadas en campo

5.1.3. Grado de escolaridad

3) ¿Qué grado de escolaridad tienen los productores de maíz en Shushufindi?

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Primaria	6	30%
Secundaria	14	70%
Superior	0	0%
Posgrado	0	0%
Educación básica	0	0%
Educación media	0	0%
Analfabeto (no sabe leer ni escribir)	0	0%
Ninguna	0	0%
Total	20	100%

Grado de escolaridad

■ Primaria ■ Secundaria

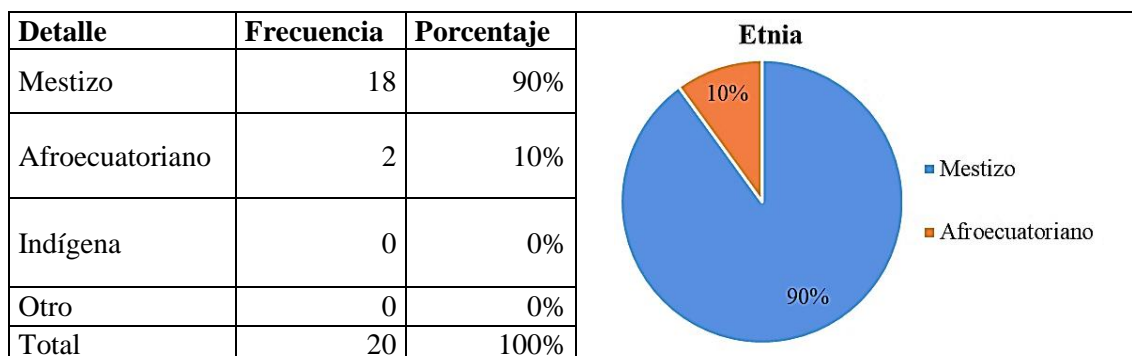
Fuente: Encuestas
Elaboración: Propia

Análisis e interpretación:

El 70% de los productores reportó tener un nivel de escolaridad secundaria, ninguno de los productores entrevistados tiene un título de tercer nivel. De igual manera de acuerdo con el MAG (2018b, 7) se describe que los productores maiceros en Ecuador tienen mínimo 6 años de escolaridad.

5.1.4. Etnicidad

4) Etnia que se identifica el productor maicero.



Fuente: Encuestas

Elaboración: Propia

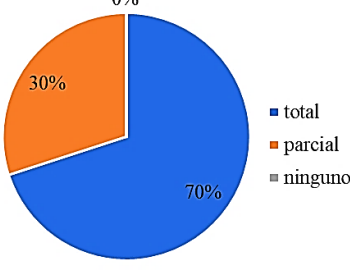
Análisis e interpretación:

Los productores maiceros de Shushufindi en un 90 % tiene una autodefinición étnica mestiza y el 10 % se autodefine como afroecuatoriano. A nivel cantonal la población tiene una autodefinición étnica en su mayoría mestiza (75,00%), seguida por indígenas (13,40%), afro-descendientes (5,90%) y blancos (4,50%) datos del INEC tomados del GAD Shushufindi (2015, 21).

5.1.5. Acceso a servicios básicos

5) ¿Cuentan los productores de maíz con todos los servicios básicos en Shushufindi?

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
total	14	70%
parcial	6	30%
ninguno	0	0%
Total	20	100%



Acceso a servicios básicos

- total
- parcial
- ninguno

Nota: Total: (agua, energía eléctrica, descarga de aguas, gas y recolección de desechos);
parcial: al menos 3 servicio

Fuente: Encuestas

Elaboración: Propia

Análisis e interpretación:

De acuerdo con la información dada por los productores el 70% de ellos cuentan con servicios básicos domiciliarios, es decir, con acceso al agua, energía eléctrica, descarga de agua, gas y recolección de basura, por otro lado, 30% de los entrevistados cuenta con servicios parciales de manera especial servicios como el agua, electricidad y gas.

Los servicios básicos domiciliarios disponibles para los productores no han sido catalogados de buena calidad, de acuerdo con la información dada por los entrevistados el abastecimiento de agua potable es ineficiente, por lo que han tenido que buscar alternativas de abastecimiento de agua, esto se lo ha logrado mediante captación de agua lluvia con posterior filtrado; por otra parte, el servicio de energía eléctrica no es continuo, sufren de apagones a causa de tormentas y fuertes vientos que existen en el cantón. Esta información se corrobora con los datos que presenta el GAD Shushufindi (2015, 56) presentados en la tabla 28. En cuanto al tratamiento de aguas servidas la mayoría de los productores lo realizan mediante fosa séptica y vertido directo al alcantarillado, existe un 5% de los entrevistados que están realizando un tratamiento de aguas grises mediante un

sistema denominado “círculo del banano¹⁷” el cual está presente en las fincas permaculturales de la zona.

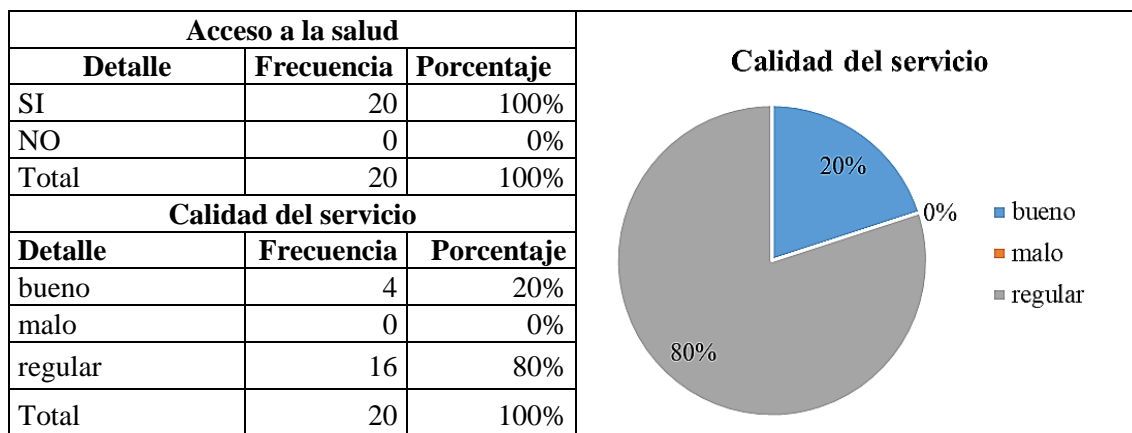
Tabla 28
Accesibilidad a Servicios básicos en Shushufindi

Cuadro CAS 8	Accesibilidad a Servicios (Proyecto emblemático Distritos y circuitos)		
	Servicios básicos	Cobertura	Déficit
Viviendas con abastecimiento de agua por tubería en su interior	29,07%	70,93%	Baja, debido a que no existe un tratamiento adecuado desde la captación.
Viviendas con eliminación de aguas servidas por red pública de alcantarillado	30,78%	69,22%	Baja, ya que no existe tratamiento de aguas servidas para reincorporarlas a los cursos de agua.
Vivienda con servicio de energía eléctrica	86,65%	13,35%	Media, el servicio no es continuo y hay varias interrupciones por las lluvias y vientos fuertes.
Telefonía	15,02%	84,98%	Baja, varias zonas no tienen cobertura telefónica móvil.
Eliminación de basura por carro recolector	56,58%	43,42%	Media, solo se da servicio en áreas urbanas.

Fuente: (GAD Shushufindi 2015, 56)

5.1.6. Acceso a la salud

1) ¿Los productores maiceros tienen acceso a la salud?



Fuente: Encuestas
Elaboración: Propia

¹⁷ Círculo del banano: Sistema de tratamiento de aguas grises que consiste en la excavación de aproximadamente de 1.50 m de profundidad y ancho en el suelo en forma circular, con conexión de tubos que direccionan las aguas servidas de la casa a la excavación, alrededor de este se siembra especies que tengan una alta capacidad de absorción de agua como el banano, finalmente debe ser tapado con broza, generando un ambiente de microclimas y un sistema drenado (Buckley 2014); (Instituto Mesoamericano de Permacultura [IMAP] 2012).

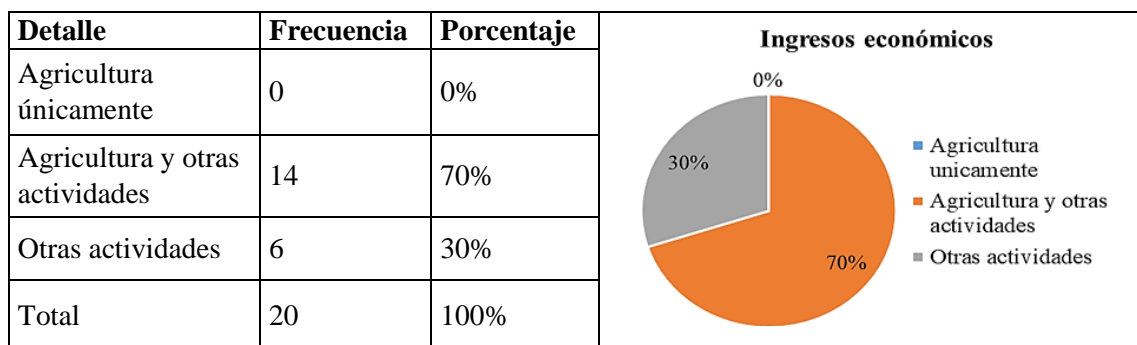
Análisis e interpretación:

En cuanto al acceso a la salud el 100 % de los productores entrevistados tienen acceso a este servicio, el 80 % lo categorizan como regular y el 20 % como un buen servicio. La irregularidad del acceso a este servicio se debe a varios factores como la falta de transporte público para movilización desde de los sectores rurales hasta los centros de salud, además de la poca disponibilidad de proveedores de cuidados médicos en los centros de salud (GAD Shushufindi 2015, 26). Es importante mencionar que en Shushufindi existen 15 centros de salud y 1 hospital que está a cargo del Ministerio de Salud (MSP) y el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS) (GAD Shushufindi 2015, 27) .

Adicionalmente, se les consultó a los productores si tenían algún tipo de problema de salud como resultado de las actividades propias del cultivo de maíz, por lo cual, expresaron que las principales afectaciones a la salud son a la piel por el exceso de sol y deshidratación, además de dolores lumbares por la limpieza de los terrenos de forma manual.

5.1.7. Ingresos económicos

- 2) ¿los ingresos económicos de los productores son netamente por la actividad agrícola?



Fuente: Encuestas
Elaboración: Propia

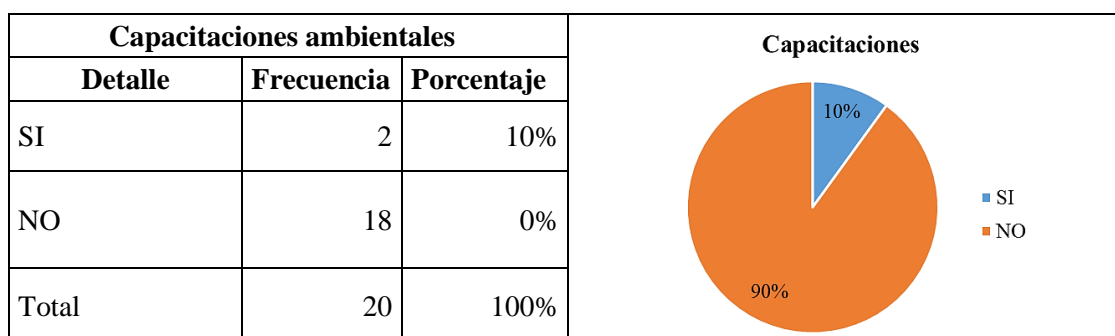
Análisis e interpretación:

El 70% de los productores obtienen ingresos combinando la agricultura con otras actividades como la carpintería, mecánica, son comercializadores de material pétreo,

operadores de maquinaria etc; el 30% no dependen de la agricultura únicamente como su fuente de ingreso, realizan otros tipos de actividades como las ya mencionadas anteriormente, además de empleos fijos y servicios profesionales. Cabe agregar que parte del sustento familiar es en base a la actividad agrícola a pequeña escala donde la mayoría tienen parcelas destinadas para el autoabastecimiento de alimentos básicos como yuca, limón, verde, especies frutales que les permiten sostener sus hogares, además de los ingresos generados por las otras actividades y productos agrícolas destinados para la venta.

5.1.8. Capacitaciones

- 3) ¿Los productores maiceros han sido capacitados en temas productivos y ambientales?



Fuente: Encuestas

Elaboración: Propia

Análisis e interpretación:

El 90 % de los productores maiceros expresaron que no han sido capacitados en temas ambientales ni productivos, el 10 % restante mencionaron que sí han recibido capacitaciones ambientales, ya que, sus fincas se encuentran bajo un proceso de permaculturización, por lo que reciben capacitaciones mediante la organización Clínica Ambiental¹⁸ basado en el proyecto de reparación socioambiental de la Amazonia, dentro de los temas de capacitación se encuentran, la agroecología, el desarrollo sostenible, el cuidado en la salud, dichos temas han sido impartidos en base a talleres, en los cuales se busca capacitar y ayudar a los productores de Shushufindi ligados a una producción

¹⁸Clínica Ambiental- Proyecto de Reparación Socioambiental, “es una asociación de hecho entre el Centro de Estudios y Asesoría Social (CEAS) y Acción Ecológica” 2019 <http://www.clinicambiental.org/>.

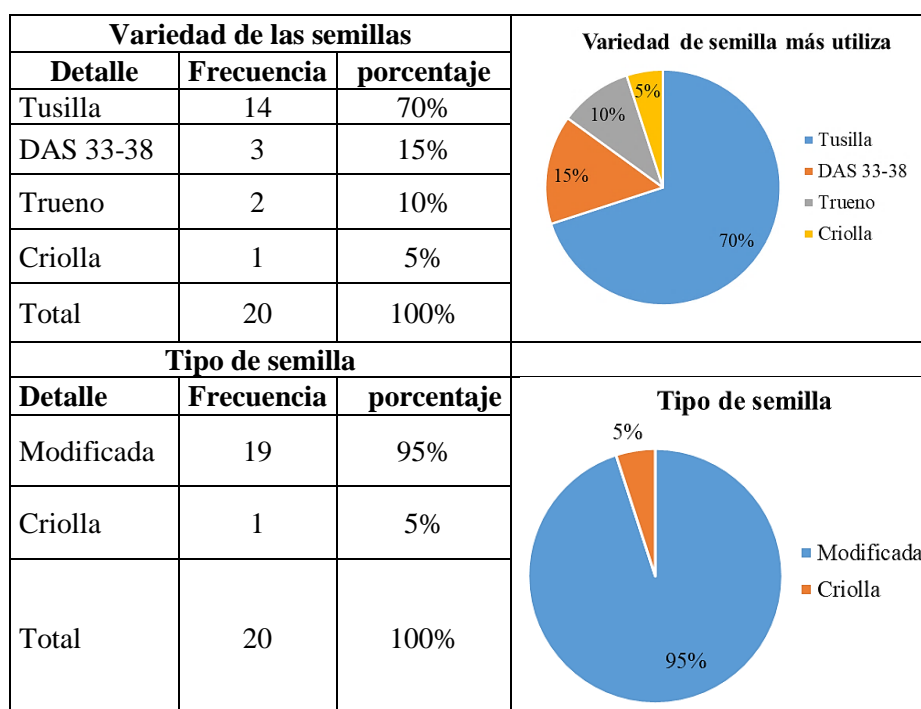
orgánica y permacultural, esto en vista de los graves impactos por los que atraviesa la Amazonía ecuatoriana por la extracción petrolera y el uso indiscriminado de productos agroquímicos, por lo que, esta organización surge como propuesta para “la reparación de suelos, plantas, los animales, y el tejido social, en definitiva los socioecosistemas” (Clinica Ambiental 2019).

A nivel nacional el 44% de los productores de maíz reciben capacitaciones en temas productivos donde son impartidas por el MAG, el mismo que les brinda asistencia técnica a la mayoría de ellos (MAG 2018b).

5.2. Caracterización de la producción de maíz en Shushufindi

5.2.1. Variedad de semilla

1) Variedad de semilla que más utiliza el productor en Shushufindi.



Fuente: Encuestas
Elaboración: Propia

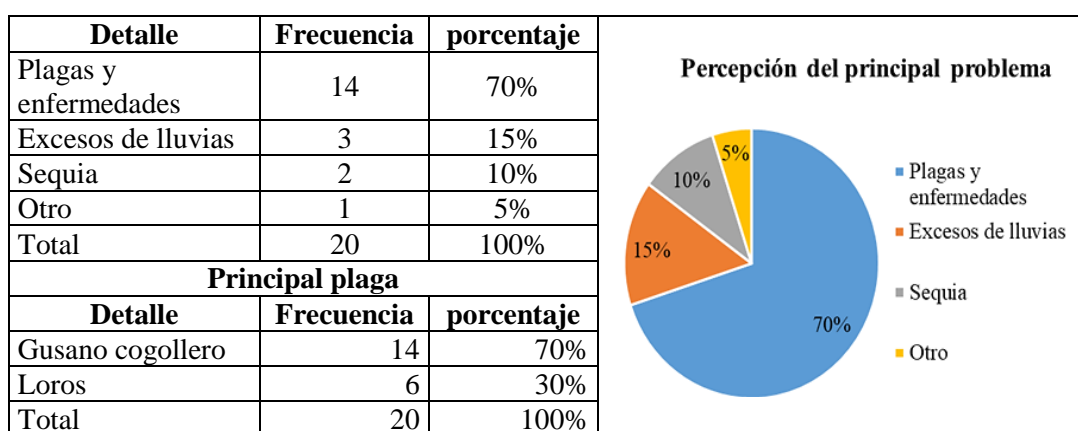
Análisis e interpretación:

De acuerdo con las entrevistas realizadas se evidenció que el 95% los productores compran semillas modificadas o curadas como los agricultores la denominan, está semilla

es adquirida en casas comerciales de insumos para el agro. Por otra parte, solo el 5% señaló que utiliza semilla criolla y que la preserva de la cosecha anterior, donde los productores escogen las mejores mazorcas para ser utilizadas en la siguiente siembra.

5.2.2. Percepción de los principales problemas

- 2) ¿Cuál es el principal problema que los productores maiceros identificaron en la producción de maíz?



Fuente: Encuestas
Elaboración: Propia

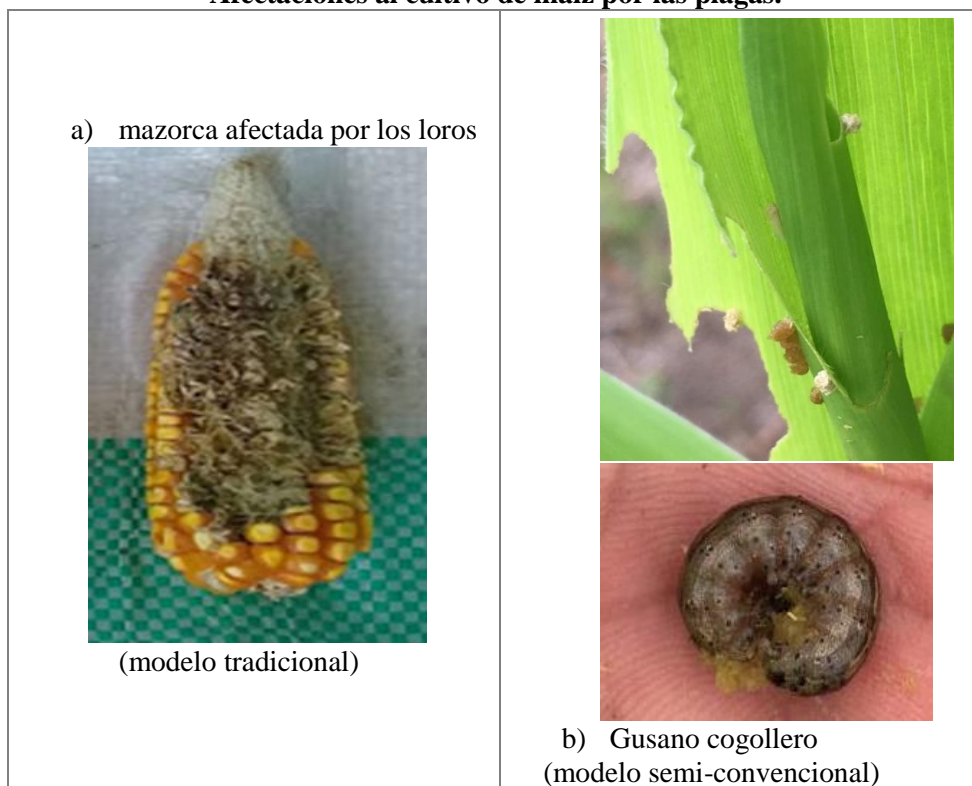
Análisis e interpretación:

De acuerdo con las entrevistas realizadas a los productores maiceros, se evidenció que los principales problemas presentes en la producción de maíz son la presencia de plagas y enfermedades, entre ellas se tiene al gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* y los loros, el gusano cogollero ataca a las hojas del maíz en las primeras etapas del cultivo y los loros se comen los granos de la mazorca de maíz en la fase previa a la cosecha. Ante esta problemática, los productores han optado por el uso de insumos agrarios como los fitosanitarios (plaguicidas) para combatir al gusano cogollero (ver ilustración 5).

Dentro de los principales fitosanitarios que mencionaron están el NOSTOC, GRAMOXONE, TEJO, SIAMAC y NICOSAN. Es importante considerar que para el control de los loros no tienen algún método de control eficaz, algunos productores mencionaron que doblar las plantas de maíz ayudaba a controlar esta plaga debido a que el loro no tiene un sitio firme de soporte para comer los granos, otros optan por los

espantapájaros o controlan el cultivo de manera personal mediante supervisiones frecuentes en la fase de maíz tierno (choclo) que es la fase más apetecible para los loros.

Ilustración 5
Afectaciones al cultivo de maíz por las plagas.



Fuente: Propia

Otras de las problemáticas que mencionaron los productores donde se ve afectada la producción de maíz son los factores climáticos, como el exceso de lluvias y sequias en algunos periodos; en el caso de periodos con muchas lluvias, estas hacen que se dañen las plantas de maíz y les llegue humedad a las mazorcas (ver imagen 6).

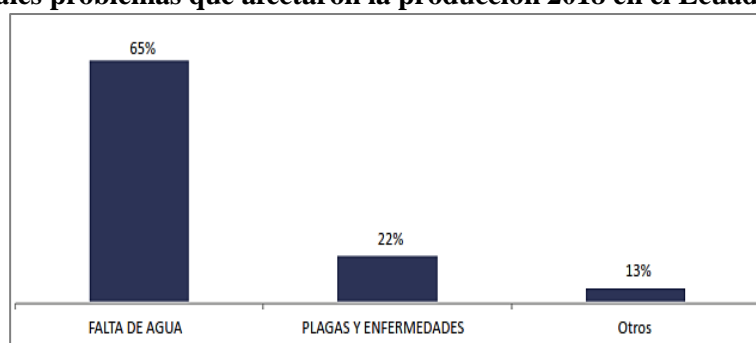
Ilustración 6
Mazorca de maíz duro afectado por la humedad por las altas precipitaciones



Fuente: Propia (modelo tradicional)

A nivel nacional se presenta otra realidad en cuanto a la percepción de los principales problemas que afectan al maíz, ya que, los factores externos que afectaron en mayor medida a la producción maicera ecuatoriana en el 2018 fue en un 65% por problemas de sequías, el 22% por las plagas y enfermedades (gusano cogollero, pudrición de mazorca y mancha foliar) y un 13% por otros factores como calidad de semillas y altas temperaturas (MAG 2018b, 6) (gráfico 40).

Gráfico 40
Principales problemas que afectaron la producción 2018 en el Ecuador



Fuente: (MAG 2018b, 6)

5.2.3. Fertilización en el cultivo de maíz

3) Tipo de fertilizantes que utilizan los productores maiceros

Detalle	Frecuencia	porcentaje
Fertilizantes sintéticos	14	70%
Urea	5	25%
Abonos orgánicos	1	5%
Total	20	100%

Tipos de fertilizantes

- Fertilizantes sintéticos
- Urea
- Abonos orgánicos

Fuente: Encuestas

Elaboración: Propia

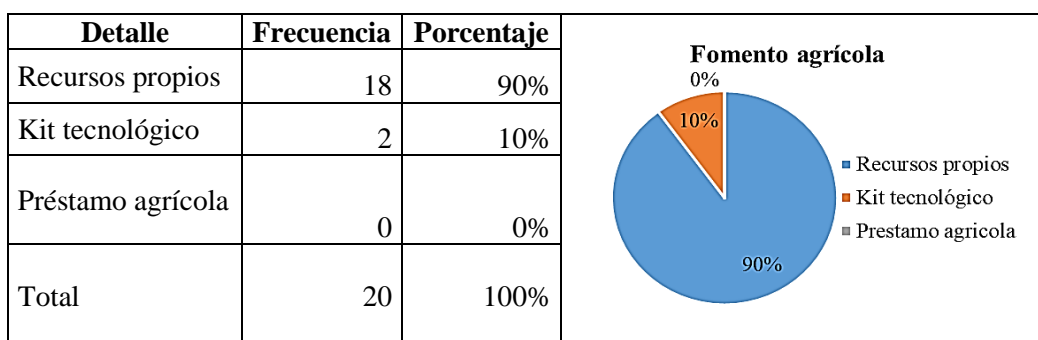
Análisis e interpretación:

De acuerdo con las entrevistas y las observaciones en campo, se pudo evidenciar que la mayoría de los agricultores son dependientes de fertilizantes sintéticos como el 10-30-10 que fue el más utilizado por los productores con el fin de incrementar la producción,

de igual manera, el 25 % de los productores optan por la aplicación de urea argumentando que es un compuesto con alto contenido en nitrógeno necesario para el desarrollo del maíz y para aumentar los rendimientos, esto se relaciona con la situación a nivel nacional, pues para el año 2018 existió una alta aplicación de fertilizantes nitrogenados en promedio 132,27 kg/ha de N; para tener una referencia en Shushufindi, en el modelo convencional se utilizó 96,38 kg/ha de N, por otra parte, el 5% de los entrevistados mencionaron usar abonos orgánicos para la fertilización de los suelos. Los productores expresaron que para fertilizar el suelo optan por dejar los residuos de las cosechas para que se genere materia orgánica. En las entrevistas se preguntó dónde adquirirían los fertilizantes y el 95% de los productores expresaron que estos son adquiridos en las casas comerciantes agrícolas presentes en el cantón.

5.2.4. Fomento agrícola

4) ¿Qué tipo de fomento agrícola tienen los productores maiceros en Shushufindi?



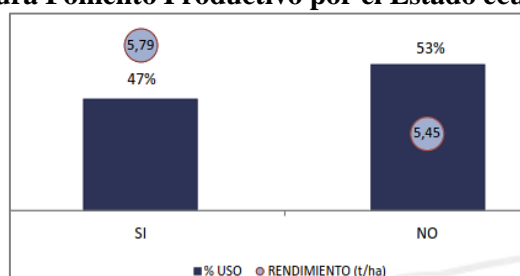
Fuente: Encuestas
Elaboración: Propia

Análisis e interpretación:

En cuanto al apoyo dado por parte del GAD de Shushufindi referente a los kits tecnológicos (herbicidas, plaguicidas, fertilizante, semillas modificadas, etc), el 90 % de los entrevistados manifestaron que no han adquirido este paquete tecnológico, el 10 % restante indicaron que lo adquirieron en anteriores años. En cuanto a la producción del año 2018, esta se la realizó con insumos adquiridos con los recursos de los mismos productores; es importante mencionar que ninguno de los productores accede a préstamos agrícolas, puesto que no ven necesario endeudarse para esta actividad.

En Ecuador existen programas de fomento productivo donde el 47 % de los productores maiceros a nivel nacional accedieron a estos programas subsidiados por el Estado (Ver gráfico 41), este fomento productivo incluye la entrega del kit tecnológico (semillas, fertilizantes, agroquímicos), además de proveer asistencia técnica a los productores (MAG 2018b, 5)

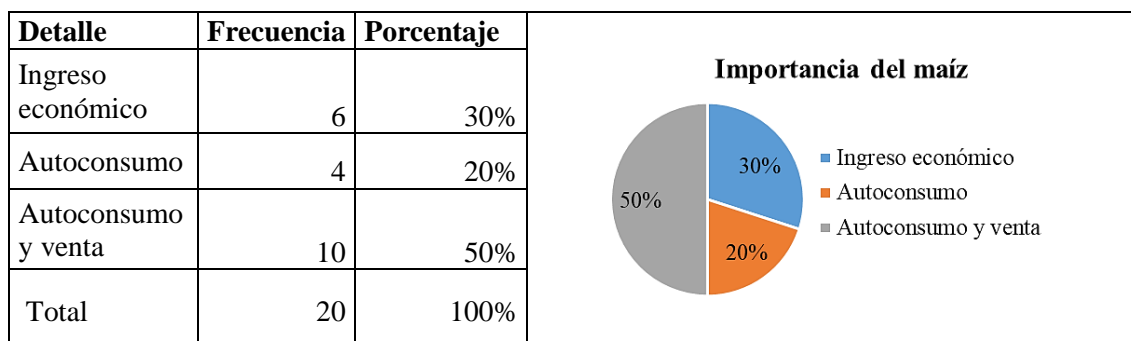
Gráfico 41
Cobertura Fomento Productivo por el Estado ecuatoriano



Fuente: (MAG 2018b, 5)

5.2.5. Importancia de la siembra del maíz para los productores.

5) ¿Por qué los productores se están dedicando a la siembra de maíz en Shushufindi?



Fuente: Encuestas
Elaboración: Propia

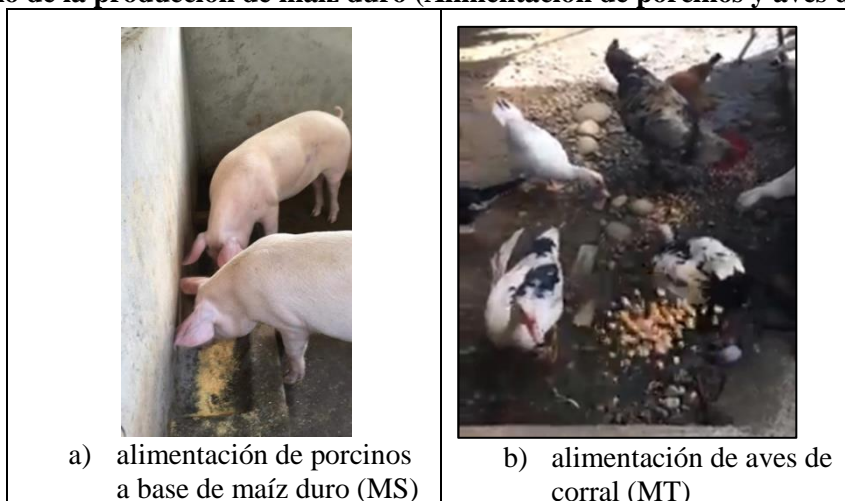
Análisis e interpretación:

El destino de la producción de maíz duro, en un 50 % es para el autoconsumo y venta, entendiéndose como autoconsumo, al consumo de maíz por parte de los productores para la alimentación de aves de corral, porcinos (ilustración 7) y para harina de tortillas. El procesamiento que le dan al maíz mediante la molienda en un 100 % de los entrevistados es de forma manual, ya sea con un molino de mano o una bici-molador construido artesanalmente por el productor (ver ilustración 8), la fase de molienda se consideró pertinente para indagar si los productores dan algún tipo de procesamiento al

maíz y lo destinan a la venta, pero en un 100% el procesamiento es netamente para el autoconsumo. Otro punto que destaca en el autoconsumo es la preparación de humitas, lo cual forma parte imprescindible del dinamismo que gira alrededor de la producción de maíz en Shushufindi. Por último, el 20% de los productores expresaron que el destino del maíz es netamente para consumo interno en la finca.

Otro aspecto importante identificado en el cantón, es que el capital comercial en base al maíz se encuentra ligado a la presencia de las casas comerciantes locales, que es hasta donde llega esta cadena alimentaria de maíz en Shushufindi, esto evidenciado en que el 30 % de los productores señalaron que la importancia del maíz está en vender su producción en las casas comerciales, de igual forma el 50 % de los productores mencionaron vender parte su producción a las casas comerciantes, vecinos y para el consumo interno.

Ilustración 7

Destino de la producción de maíz duro (Alimentación de porcinos y aves de corral)

Fuente: Fotografías en campo

Ilustración 8

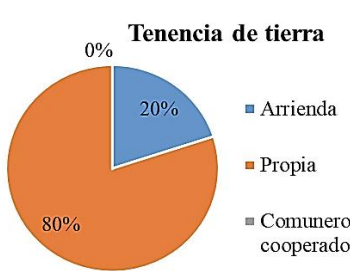
Moledores de maíz

Fuente: Fotografías en campo

5.2.6. Tenencia de tierras

- 4) ¿En los productores maiceros su condición de acceso a la tierra para siembra del maíz es arrenda, propia en comunero o cooperado?

Detalle	Frecuencia	Porcentaje
Arrenda	4	20%
Propia	16	80%
Comunero-cooperado	0	0%
Total	20	100%



Fuente: Encuestas
Elaboración: Propia

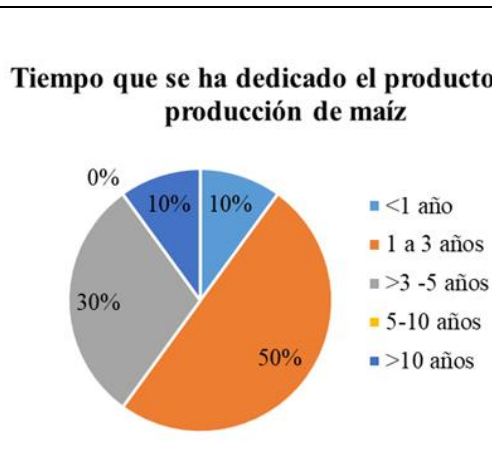
Análisis e interpretación:

Según las entrevistas realizadas, el 80 % de los terrenos dedicados para la siembra de maíz son terrenos propios y el 20 % restante son arrendados. Los terrenos que son arrendados son principalmente dedicados para la siembra de maíz con método convencional y semiconvencional, ya que, de acuerdo a lo que manifestaron los productores necesitan superficies mayores a 1 ha para poder obtener el rendimiento deseado y generar mayores ingresos económicos.

5.2.7. Superficie y tiempo promedio para la siembra de maíz.

- 5) ¿Qué tiempo llevan dedicándose los productores a la siembra del maíz y cuanta superficie destinan para sembrar?

Tiempo (años)		
Detalle	Frecuencia	Porcentaje
<1 año	2	10%
1 a 3 años	10	50%
>3 -5 años	6	30%
5-10 años	0	0%
>10 años	2	10%
Total	20	100%
Superficie		
Detalle	Frecuencia	Porcentaje
<500 m ²	0	0%
500-1000 m ²	4	20%
1000-5000 m ²	2	10%
0,5 ha -1 ha	8	40%
>1 ha	6	30%
Total	20	100%



Fuente: Encuestas

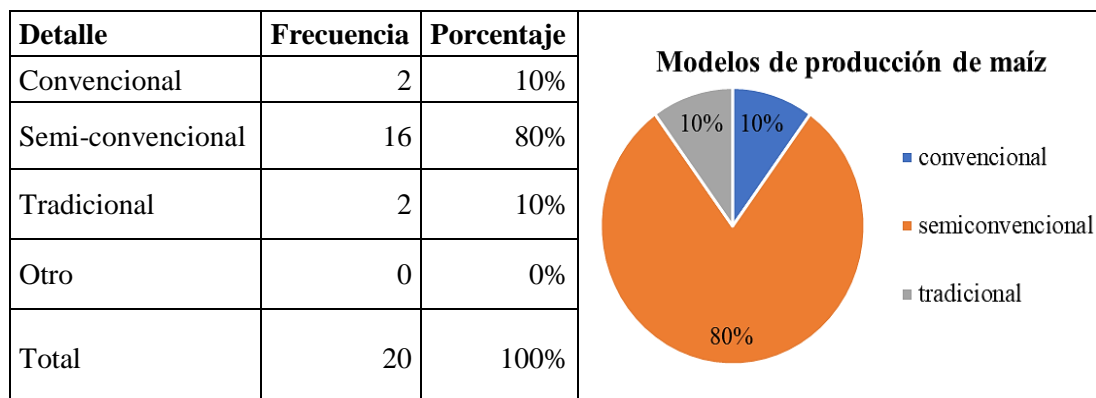
Análisis e interpretación:

Según los resultados de las encuestas, el 50% de los productores se vienen dedicando a la producción de maíz duro hace 3 años, el 30 % entre los 3 a 5 años atrás, y el 10% se ha dedicado al maíz desde hace más de 10 años. En cuanto a la superficie utilizada por los productores para la siembra de maíz, en un 40 % se utiliza en un rango entre 0,5 a 1 ha, el 30% la superficie es mayor a 1 ha, el 20 % entre los 500-1000 m² y el 10 % los terrenos van entre los 1000-5000 m² estas dos últimas categorías son parcelas manejadas como chacras por parte de los productores.

La relación del tamaño de la superficie destinada para el cultivo de maíz varía de acuerdo a la necesidad del productor, ejemplo de esto es que si el destino de la producción es con fines comerciales los productores buscan superficies >1ha para generar más rendimiento, si es para la subsistencia familiar los productores sólo siembran en sus chacras que son <1ha puesto que son parcelas que pueden ser más manejables y sostenibles.

5.2.8. Modelo de producción de maíz

6) Modelos de producción agrícola de maíz presentes en Shushufindi.



Fuente: Encuestas
Elaboración: Propia

Análisis e interpretación:

En base a las encuestas y los atributos para diferenciar un modelo de otro (apartado 3.1.3.1 tabla 7). Se encontró que el 80% de los productores entrevistados están optando por un modelo semi-convencional, el cual es un modelo que entra en el sistema productivo

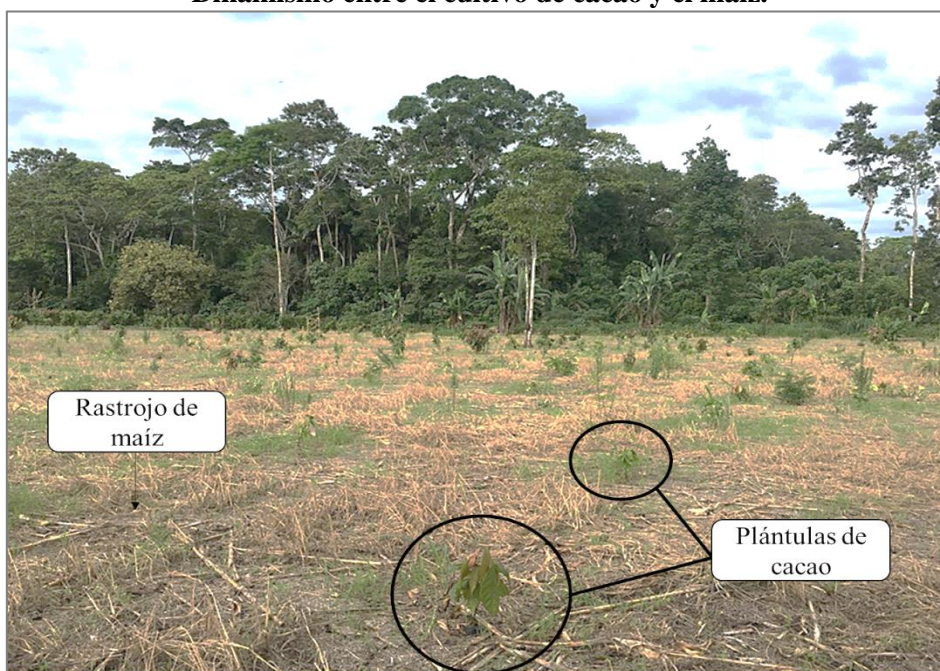
mercantil que se encuentra con mayor presencia en el cantón Shushufindi; el modelo semi-convencional es un modelo en transición del modelo tradicional a un convencional no consolidado y se encuentra más arraigado en los productores maiceros por la dinámica que este representa, es un modelo que opta por técnicas tradicionales y semi-tecnificadas, entre las prácticas semitécnificadas se tiene al desgranado mecanizado (artesanal), el cual tiene un costo de alquiler de alrededor \$70/ha año⁻¹ a diferencia de una cosechadora-desgranadora industrial que el alquiler cuesta \$150/ha año⁻¹, es decir el doble.

Este modelo semi-convencional demanda menos mano de obra que un modelo tradicional, ya que, se apoya de maquinaria como guadañas, bombas de mano para fumigar y aún mantienen la tradición de mingas para la cosecha y siembra, por lo que le permite disminuir el gasto en jornales, además pueden optar por mejorar los rendimientos con insumos como fertilizantes sintéticos y los fitosanitarios.

Otro aspecto que justifica la elección del modelo MS por parte de los productores es que la producción la pueden destinar tanto para su consumo interno (alimentación de aves-porcinos y consumo familiar tortillas-humitas) o para la venta; que es la realidad más evidente en el cantón. Los productores expresaron que se encuentran en la búsqueda de aumentar sus rendimientos e ingresos por esta actividad, argumentando que para que esta actividad sea rentable necesitarían una superficie mayor para la siembra, uso de agroquímicos para mejorar los rendimientos, adicional, darle un procesamiento posterior al maíz para generar un valor agregado como es el secado del maíz y llegar a la humedad recomendada y adicionalmente ser entregados en costales transparentes.

Finalmente, cabe mencionar que la presencia del modelo MS en el cantón, se debe al dinamismo que tienen los productores en asociar los cultivos transitorios para establecer cultivos perennes más representativos económicamente como el cacao, por lo que hacen que no opten por maquinaria más robusta que pueda dañar las plántulas de cacao que ya se encuentran dentro de las parcelas (ver imagen 9).

Ilustración 9
Dinamismo entre el cultivo de cacao y el maíz.



Fuente: Fotografía en campo- área >1 ha

En cuanto al modelo convencional, se registró que el 10% de los productores están optando por este modelo para generar ingresos económicos, ya que, según lo expresado por los productores, disponen de un área óptima para producir este tipo de cultivo >1ha, dado que en su mayoría son terrenos que originalmente estaban destinados para el cultivo de palma africana y en vista de que terminó su vida útil actualmente fueron desmontados, quedando estos terrenos disponibles para empezar a ser dinamizados, mediante la producción de maíz en forma mecanizada, la misma que demande menor mano de obra y que genere altos rendimientos, por lo que se ven en la necesidad de usar insumos agrarios como fertilizantes y fitosanitarios.

En cuanto al modelo tradicional, es el modelo menos representativo en el cantón, puesto que es un modelo que demanda mayor mano de obra; además, los productores consideran que este tipo de modelo tiene menor rendimiento, es un modelo que se está perdiendo puesto que los productores están optando por el uso de fitosanitarios y fertilizantes sintéticos para el control de plagas. También se observó que aún existe el manejo de chacras por parte de los productores tradicionales, ya que, los terrenos son destinados para cultivar diferentes productos para la finca familiar como cacao, papaya, aguate, coco, yuca, plátano etc. y convergen con cultivos transitorios como el maíz y arroz, además este tamaño de parcelas <1ha son más manejables por la familia y les demanda menor uso de insumos agrarios.

6. Factor económico

A continuación, se desglosa en la tabla 29 los resultados para el factor económico por cada modelo de producción agrícola de maíz.

Tabla 29

Balance de costos por la producción de maíz por modelo estudiado.

Modelo	MT	MS	MC
	(\$/ha año ⁻¹)		
Ingresos	863,00	756,00	2100,00
Costos	312,95	521,21	1712,85
Semilla	0,00	100,00	176
Combustibles	23,45	27,71	12,35
Fertilizantes	0,00	8,00	286,00
Fitosanitarios	0,00	64,00	84,00
Jornales	270,00	240,00	540
Insumos	9,50	12,50	34,50
Alquiler maquinaria	10,00	69,00	580,00
Rentabilidad	550,05	234,79	387,15

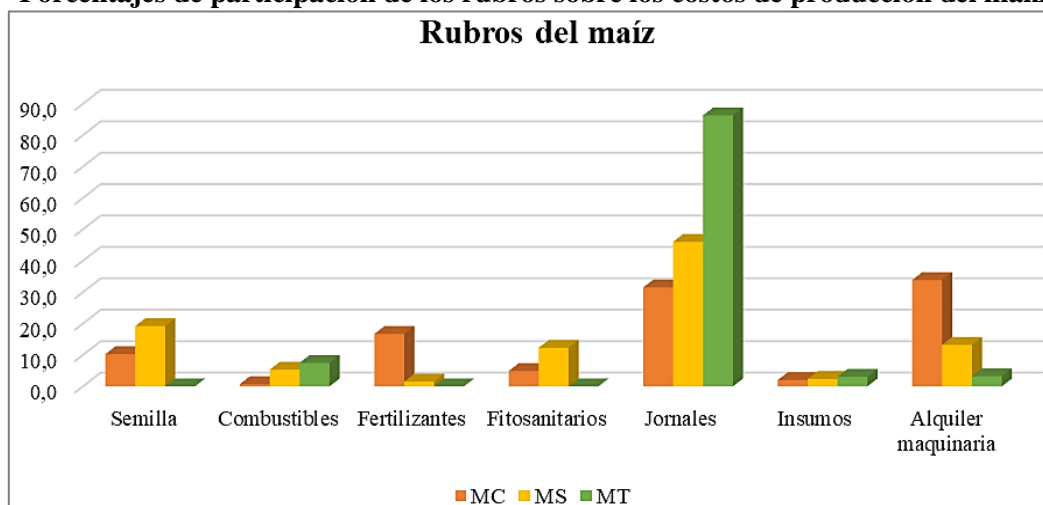
Fuente: Tabulación de datos dados por los agricultores

Elaboración: Propia

Análisis de la rentabilidad

Se obtuvo que los costos por hectárea fueron para el modelo tradicional \$312,95, para el caso del modelo semi-convencional fue de \$521,1, mientras que en el modelo convencional el costo por ha fue de \$1712,85; donde los gastos en actividades mecanizadas son el rubro principal que acapara el 33% en promedio de los costos totales, esto para del modelo convencional. En el caso del modelo semi-convencional el rubro que le está generando un alto costo, es la mano de obra pagada (jornales) con el 46%, de igual forma se evidenció que en el modelo tradicional el rubro de los jornales genera el 86% de sus costos (gráfico 42).

Gráfico 42

Porcentajes de participación de los rubros sobre los costos de producción del maíz

Fuente: Recolección de datos

Elaboración: Propia

Con respecto a la rentabilidad de los modelos, se evidencia que existe una ganancia de \$ 550,05, \$234,79 y \$387,15 para los modelos MT, MS y MC respectivamente, donde esta rentabilidad se ve influenciada tanto por el costo de la actividad y los rendimientos de cada modelo, asimismo, los productores mencionaron que el principal factor en el que se ven afectados, es por el precio bajo que tiene el maíz, los agricultores manifestaron que el mejor precio es de 15 dólares, pero que solo pagan este valor cuando el maíz se encuentra seco, venteado y en saco transparente; la mayoría de los productores vendieron su producción entre los \$ 13,00 dólares, dado que el precio referencial establecido por el MAG (2018a) fue entre los \$13,50 y los \$ 15,75 dólares el quintal.

Se puede concluir que la caída de la rentabilidad en la producción de maíz en Shushufindi es a consecuencia del aumento de costos productivos, la baja de los precios de venta y la baja productividad, la cual está ligada a la transformación tecnológica que presiona a los productores de manera poco sostenida a mantener el maíz con técnicas convencionales para poder competir con el mercado de dicho producto.

Otro aspecto que mencionaron los productores de la baja rentabilidad del maíz es que los insumos y los químicos suben de precio y no existe un apoyo para adquirir parte de los insumos que se utilizan para la producción de este tipo de cultivo y necesitan de los mismos, puesto que el control del cultivo es exigente en cuanto al control de plagas y enfermedades que hacen que se vea afectado el rendimiento.

De igual modo, los productores de maíz en un 80 % dicen que esta actividad no es rentable por sí sola y sus ingresos no son suficientes para dedicarse solo al maíz, por lo que el 70 % de los productores combinan la labor agrícola con otras actividades y el 30 % no dependen de la agricultura como fuente principal de ingresos.

Adicionalmente, esta baja rentabilidad que tiene el maíz se ve influenciado por diversos factores limitantes como la carencia de aspectos tecnológicos y asesoría técnica como el uso adecuado de fertilizantes e insumos para mejorar los rendimientos, así como los factores climáticos de manera especial las altas precipitaciones. Se debe agregar también, que los productores argumentaron que en el cantón no existe un apoyo de programas y proyectos para esta actividad por parte de las entidades de gobernanza, ni intervención directa en el mercado para los precios del maíz, ya que, existe una falta de canales adecuados de comercialización justa, por lo que, los productores optan en preservar y almacenar el maíz hasta que el precio en el mercado les genere una mayor ganancia.

Por otra parte, los productores maiceros encuestados mencionaron que su producción no es comercializada por intermediarios, ellos solo dependen de la oferta y la demanda en la que se esté comercializando el maíz en las casas comerciantes, y adicionalmente y de acuerdo con los productores, la producción que obtienen no la destinan netamente a la venta, puesto que la producción también es utilizada para el autoconsumo.

7. Ecoeficiencia

La programación no lineal permitió encontrar los pesos por cada categoría de impacto, donde se determinó que la huella gris obtuvo un peso de 1 a diferencia de las otras dos categorías analizadas huella verde 0,41 y GEIs 0,92 (tabla 30). Mediante estos pesos, se determinó que el modelo tradicional es más ecoeficiente que el modelo semi-convencional y convencional con un índice de ecoeficiencia de 0,99, cabe mencionar que la ecoeficiencia va de 0 a 1 entre más cercano a 1 presenta mejor ecoeficiencia.

Tabla 30

Ecoeficiencia de los modelos de producción de maíz			
Categorías de impacto (Z)	HHgris	HHverde	Emisiones de GEIs
Peso (W)	W_1	W_2	W_3
	1	0,41	0,92
máx. EE	0,999999617		
Ecoeficiencia de los modelos de producción agrícola			
EE_{MS}	0,24		
EE_{MC}	0,32		
EE_{MT}	0,99		

Fuente: Tabulación de datos -Resolución de programación no lineal en Excel
Elaboración: Propia

La ecoeficiencia está influenciada por los *hotspot/puntos críticos* que tiene cada categoría de impacto (HHgris, HHverde y GEIs) es por esto, que la HH gris influyó en gran medida en la determinación de la ecoeficiencia de los modelos, esta influencia se debe al alto uso de fertilizantes sintéticos y fitosanitarios utilizados por los modelos MS y MC. Cabe destacar, que la huella gris para el modelo convencional es 48 % de toda la huella y se atribuye en parte al Quemante (herbicida) utilizado en la fase de control de cultivo para atacar la maleza. De igual manera, la alta aplicación de nitrógeno y fósforo en el suelo dadas en el modelo MC tienen una alta influencia a la huella gris de alrededor de 94,34 y 203,02 m³/ton respectivamente.

Las emisiones de GEIs también es una categoría de impacto muy influyente en la determinación de la ecoeficiencia, donde esta influencia se debe al alto consumo de fertilizantes nitrogenados, que por los procesos de nitrificación-desnitrificación, lixiviación-volatilización y escurrimiento terminan en emisiones de N₂O; por otro lado, el uso de combustibles fósiles por la maquinaria agrícola (cosechadora, canguro agrícola, desgranadora y la guadaña) es un segundo *hotspot/punto crítico* de aporte dentro de las emisiones de GEIs. En cuanto el modelo semi-convencional se identificó que el punto más crítico es la quema de residuos agrícola posterior al uso de la desgranadora.

La construcción de este tipo de índices para modelos ecoeficientes constituye una frontera de mejora de prácticas agrícolas para disminuir los impactos ambientales asociados a la producción de maíz, manteniendo el valor añadido constante, por lo que permite que cada modelo tenga la capacidad de mejorar por lo menos en una categoría de impacto, es importante tener en cuenta la consideración dado por Ribal et al. (2009, 130) en la cual se plantea que las ecoeficiencias determinadas son relativas respecto a los modelos analizados, lo que no implica que puedan existir modelos con mayor

eficiencia como lo fue el caso estudiado por Ribal et al. donde se determinó de igual forma que los escenarios basados en una agricultura ecológica llegaban a una eficiencia entre 0,93 a 1 y que en base a estos escenarios eficientes es posible determinar las características que presentan mayor influencia para lograr un índice de eficiencia igual 1.

Con la determinación de este tipo de índice se pudo conocer el impacto ambiental individual que tiene un modelo del otro, incluyendo las categorías como el calentamiento global expresado en emisiones de GEIs y con esto a su vez, determinar la influencia que está teniendo cada modelo al CC.

De igual manera, la eficiencia está dada bajo la relación que tiene el valor del producto por la influencia o los impactos ambientales que está teniendo un escenario o un modelo, con este análisis se puede considerar que la reducción de los insumos (inputs) sin disminuir el rendimiento del maíz de manera significativa o viceversa, aumentar los rendimientos de maíz sin aumentar los insumos proporcionalmente son formas útiles para mejorar la eficiencia ecológica de la producción de maíz, puesto que, como se evidenció a lo largo de la estimación de cada categoría impacto, estas categorías están influenciadas por el tipo y cantidad de los insumos agrarios utilizados para la producción de maíz.

Para el caso del maíz se evidenció que los aportes de N por los fertilizantes nitrogenados son el input que influye en cada categoría de impacto ambiental, por lo tanto, podría ser el insumo que los productores deberían considerar dar una mejor gestión y reducción para que mejore la eficiencia en el caso de los modelos MC y MS. Teniendo en cuenta de igual cada *hotspot/ puntos críticos* identificados a lo largo de la evaluación ambiental, se puede tomar medidas de mitigación para mejorar la eficiencia de los modelos.

Capítulo cuarto

Conclusiones y recomendaciones

1. Conclusiones

Se estimaron las emisiones de GEIs procedentes por los modelos caracterizados en Shushufindi, Modelo Convencional MC, Modelo Semi-convencional MS y el Modelo Tradicional MT y se determinó que el modelo con mayor aporte de emisiones de GEIs a la atmósfera fue el modelo MC con 2926,92 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹, seguidas por las emisiones del modelo MS que fueron de 1209,45 kg CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹, mientras que las aportaciones por el modelo MT fueron de 570 kg CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹ siendo estas menores que las aportadas por los otros dos modelos.

Los resultados mostraron que la mayoría de las emisiones de GEIs provienen del N₂O de los suelos gestionados procedentes de la fertilización y de la reincorporación de los residuos agrícolas al suelo, siendo esta una fuente antropogénica importante de emisiones de GEIs, con aportes de 443,93, 234,72 y 1279,81 kg de CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹ para los modelos MT, MS y MC respectivamente.

Se determinó a su vez, que la producción de maíz duro presenta un consumo alto de combustibles fósiles como la gasolina y diésel utilizados en la maquinaria agrícola como la guadaña (limpieza del terreno), desgranadora y la cosechadora, además el transporte para la distribución del maíz contribuye con emisiones de CO₂ a la atmósfera que son considerables. Los aportes por esta fuente fueron para el MC 406,49 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹, seguido por el modelo MS con 196,30 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹, mientras que el modelo MT presentó un aporte de emisiones de 54,88 kg de CO₂eq ha⁻¹ año⁻¹.

En cuanto al uso de fitosanitarios las emisiones por esta fuente fueron de 9,48 y 60,34 kg de CO₂ eq ha⁻¹ año⁻¹ para el modelo MS y MC respectivamente, no se reportó emisiones por parte del modelo tradicional, ya que, este modelo no utiliza este tipo de insumos.

El stock de carbono estimado para cada modelo evidenció la importancia de la presencia de asociación de otras especies con el cultivo del maíz, ya que, ayudan a la captura de CO₂ y con esto minimizar la huella de carbono. Las absorciones de CO₂ fueron

de 5,71, 0,85 y 0,20 ton CO₂/ha para los modelos MT, MS y MC respectivamente, observando que el modelo tradicional tiene mayor capacidad de absorción de CO₂

La HH del cultivo para cada modelo MT, MS y MC fueron de 1088,16, 2268,99 y 30919,25 m³/ton respectivamente, en esta categoría de impacto se percibió el alto impacto dado por los modelos MC y MS al utilizar fitosanitarios y fertilizantes sintéticos que son los contaminantes que influyeron de manera significativa en la HHgris.

El modelo tradicional, ha sido poco utilizado por parte de los agricultores maiceros, porque demanda mayor laboriosidad de horas hombre trabajadas (683,33 h/ha MT y 60 h/ha MC) y bajo rendimiento comparado con un modelo convencional (1,96 ton/ha MT - 3,18 ton/ha MC) lo cual, no satisface una demanda económica, sin embargo es el más amigable con el medio ambiente, se caracteriza por ser un modelo no dependiente del paquete tecnológico, utiliza una semilla criolla (no modificada), ya que, la preserva de la cosecha anterior, no existe la aplicación de fitosanitarios y fertilizantes sintéticos, además, este modelo preserva tradiciones familiares, como es el cultivo de productos para la dieta diaria-familiar, rotación de cultivos y una visión más a la permacultura.

Se encontró que los principales impactos socioeconómicos que presentan los productores maiceros en Shushufindi son los bajos rendimientos agrícolas que tiene la producción de maíz, debido principalmente por la presencia de plagas como el gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* y los loros. Otro de los factores que afecta a este rendimiento según los productores maiceros entrevistados son las variaciones climáticas, de manera especial las altas precipitaciones que hacen que les llegue humedad a las mazorcas.

El factor económico se ve afectado por la baja del precio del maíz en el mercado, la mayoría de los productores vendieron su producción en un valor de \$13/qq, con lo cual recuperan la inversión y les queda muy poco de ganancia, por lo que hace que sea una actividad poco rentable. Además, los productores mencionaron que para que esta actividad sea rentable, necesitarían una superficie mayor para la siembra y el uso de agroquímicos para que de buenos rendimientos, por lo que estarían entrando de esta manera en modelos semi-convencionales y convencionales.

En cuanto a los cambios de uso de suelo en Shushufindi no se presenta cambios de bosque a cultivo, debido a que el uso de suelos para la siembra de cultivos de maíz se remontan a cambios desde hace más de 20 años, cabe mencionar que los suelos que están siendo utilizados para la siembra de maíz por los modelos convencional y semi-

convencional, son suelos que ocupó el cultivo de la palma africana y que se dejó de cosechar debido a que el tiempo de vida útil se terminó. Es importante mencionar, que estos suelos se siembran cultivos transitorios para generar materia orgánica en el suelo y puedan pasar a cultivos perennes que son más representativos económicamente para los productores como los cultivos de cacao.

Finalmente, se determinó que el modelo MT es el modelo más ecoeficiente comparado con los modelos MC y MS con una ecoeficiencia de 0,99, esto debido a que la categoría de impacto HHgris tuvo un peso significativo por el alto consumo de agroquímicos (fertilizantes, fitosanitarios) utilizados por los modelos MC y MS. Asimismo, la categoría de impacto de GEIs influyó en gran medida a la ecoeficiencia, presentando varios puntos críticos como emisiones procedentes por el uso de fertilizantes sintéticos que resultan en emisiones de N_2O y CO_2 . Un segundo punto crítico analizado fue el uso de combustibles fósiles por parte de la maquinaria agrícola, además de la inadecuada gestión de los residuos agrícolas que a la final terminan quemándose y son fuentes de GEIs como CO_2 , N_2O CH_4 .

Determinar este tipo de índices de ecoeficiencia permiten constituir una frontera de mejora de prácticas agrícolas, para así disminuir los impactos ambientales asociados a la producción de maíz, manteniendo el valor añadido constante siendo de esta manera modelos más sostenibles.

Es importante mencionar que el reporte de emisiones y ecoeficiencia por la agricultura, de manera especial por cultivos transitorios como el maíz no se reportan en las estadísticas nacionales; por lo tanto, este estudio adquiere gran importancia, ya que, permite generar una política eficiente y una gestión sustentable para afrontar el CC.

2. Recomendaciones

Como se dio a conocer el modelo tradicional fue el que presentó menor huella e impactos al medio ambiente, además una baja influencia al cambio climático comparado con el modelo convencional, ya que, el primero tenía prácticas agrícolas más sostenibles que los modelos convencional y semi-convencional. Se recomienda estrategias como la gestión adecuada de los residuos agrícolas evitando la quema, como se evidenció para el modelo semi-convencional, que es el modelo que se encuentra con mayor presencia en el cantón y las emisiones por la quema de residuos hace que este modelo influya de manera significativa con emisiones de GEIs, por lo que sí en este tipo de modelos los residuos

agrícolas se les da una adecuada gestión como disponerlos para otro uso, sea como insumo para biocombustibles, o compost, puede llegar a disminuir su huella en un 50%.

Se recomienda la minimización de uso de fertilizantes nitrogenados sintéticos que son responsables de cantidades considerables de N_2O y CO_2 , esta minimización puede darse por el cambio de insumos menos contaminantes como los bioles, compots, abonos orgánicos entre otros.

Como se evidenció en este estudio existe una influencia al CC considerable por los modelos de producción agrícola que se están implementando en el cantón Shushufindi, modelos que se basan principalmente por los lineamientos de una revolución verde, además que estos están bajo proyectos dados por el mismo gobierno local con el fin de incentivar el desarrollo agrario para aumentar la economía de este cantón. Por lo tanto es uno de los desafíos, para que los responsables políticos piensen mejor en aumentar la seguridad y la soberanía alimentaria en el cantón, ayudando de esta manera a reducir las emisiones de GEI con prácticas agrícolas más sostenibles como la conversión a una agricultura orgánica, agroecológica o permacultural.

El maíz es un cereal muy importante para las familias de Shushufindi, ya que, es un alimento base para los animales como aves de corral y cerdos, por lo que los productores tienden a la siembra de este cultivo, por esto se recomienda sembrar en superficies manejables en terrenos ya destinados para la agricultura, donde no se tenga que deforestar bosques primarios y secundarios, los cuales son reservorios de carbono y ayudan a regular el clima y los flujos hídricos.

Otras de las recomendaciones que se pueden tomar en cuenta es proporcionar variedad de productos por unidad de tierra, ya que, se realizaría un mejor control natural de plagas y enfermedades y se evitaría el uso excesivo de fitosanitarios.

Finalmente, es importante también considerar la adopción de una agricultura inteligente para aumentar la eficiencia, reduciría los insumos de combustibles fósiles, fertilizantes, fitosanitarios, además que se disminuiría la huella ambiental dada por los cultivos y, por ende, se reduciría las emisiones de GEIs, minimizando de esta forma el impacto de la agricultura en el cambio climático.

Se recomienda por último, capacitaciones en desarrollo sostenible entre los productores, con temáticas de conservación de bosques, producción limpia, cuidado ambiental y cambio climático.

Lista de referencias

- Abrahão, Raphael, Monica Carvalho, y Jesús Causapé. 2016. “Carbon and water footprints of irrigated corn and non-irrigated wheat in Northeast Spain”. *Environmental Science and Pollution Research* 24 (6): 5647–53. <https://doi.org/10.1007/s11356-016-8322-5>.
- Agrar-PROJEKT. 2018. “suelo en Maíz”. Quito, Ecuador: Consultancy & Laboratory Services. <http://ow.ly/hItz30p5VgH>.
- Altieri, M, y V Toledo. 2011. “La revolución agroecológica de América Latina : Rescatar la naturaleza, asegurar la soberanía alimentaria y empoderar al campesino”. *Sociedad Científica Latinoamericana de Agroecología (SOCLA)*, 1–41. <http://ow.ly/CuMs30p64An>.
- Altuna, Amaia, Lafarga Intia, Oscar Hierro, Olatz Unamunzaga, Besga Neiker, y Fermín Domench Ucan. 2012. “Huella de carbono de los cereales análisis de la emisión de gases de efecto invernadero en el sector agroalimentario”. En , 31–38. Navarra Agraria. <http://ow.ly/vKuf30p64GF>.
- Arango, Alejandro, Luis Gabriel Carmona, y Saida Alejandra Romero. 2014. “Análisis de ciclo de vida en el sector agrícola:el caso del municipio de Viotá, Cundinamarca(Colombia)”. *Ambiente y Desarrollo* 18 (35): 117–31. <https://doi.org/10.11144/Javeriana.AyD18-35.acvs>.
- Ayala-Garay, Alma V., Rita Schwentesius-Rindermann, Micaela De la O-Olán, Pablo Preciado-Rangel, Gustavo Almaguer-Vargas, y Patricia Rivas-Valencia. 2013. “Análisis de rentabilidad de la producción de maíz en la región de Tulancingo, Hidalgo, México.” *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 10 (4): 381–95. <https://doi.org/10.22231/asyd.v10i4.132>.
- Baca, Luis. 2016. “La producción de maíz amarillo en el Ecuador y su relación con la soberanía alimentaria”. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR FACULTAD DE ECONOMÍA.
- Bahamonde, L. 2014. “LA INFLUENCIA DE LAS TENDENCIAS GLOBALES DE LOS BIOCOMBUSTIBLES EN EL SECTOR AGRÍCOLA DEL ECUADOR”. UNIVERSIDAD ANDINA SIMÓN BOLÍVAR.
- BioGrace. 2011. “BioGrace complete list of standard values version Public”. 2011.

- <http://www.biograce.net/content/ghgcalculationtools/standardvalues>.
- Buckley, Jan. 2014. “Círculo de Bananos (Tratamiento de aguas grises) | Colectivo Sustan”. [permaculturenews.org-Colectivo Sustan](http://permaculturenews.org-Colectivo-Sustan). 2014. <https://csaranjuez.wordpress.com/2012/11/22/circulo-de-bananos-tratamiento-de-aguas-grises/>.
- Calderon, Marco, Fernando Andrade, Lorena Lizarzaburu, y Mauricio Masache. 2017. “Valoración económica de los cobeneficios del aprovechamiento energético de los residuos agrícolas en el Ecuador”. Naciones Unidas.
- Campana, Florencia. 2008. “Explotación campesina y formas de agricultura de contrato: la producción del maíz”. En *Formas de explotación y condiciones de reproducción de las economías campesinas en el Ecuador.*, editado por Margarita Andrade, 8. Ecuador.
- Castro, Miguel. 2011. “Reflexiones en torno al desarrollo de los biocombustibles en Ecuador”. *Centro Ecuatoriano de Derecho Ambiental*, 1–6. <http://revistas.uncu.edu.ar/ojs/index.php/mel/article/view/9>.
- Centro de Comercio Internacional [ITC]. 2012. “NORMAS DE LA HUELLA DE CARBONO DE PRODUCTOS AGRÍCOLAS”. Ginebra.
- Clinica Ambiental. 2019. “Clinica Ambiental proyecto de reparación socioambiental”. 2019. http://www.clinicambiental.org/index.php?option=com_content&view=article&id=1&Itemid=2.
- Danilo, Mejía. 2003. “Maize:Post-harvest Operations”. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* 1: 99.
- Dirección General de Aviación Civil [DGAC]. 2017. “DATOS METEREOLÓGICOS HISTÓRICO NUEVA LOJA 1981-2017”. Quito-Ecuador.
- Durlinger, Bart, Elena Koukouna, Roline Broekema, Mike van Paassen, y Jasper Scholten. 2017. “Agri-footprint 4.0 Part 2: Description of data”. <http://ow.ly/mLwt30p64PY>.
- Eranki, Pragnya L., Jay Devkota, y Amy E. Landis. 2018. “Carbon footprint of corn-soy-oats rotations in the US Midwest using data from real biological farm management practices”. *Journal of Cleaner Production* 210: 170–80. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.002>.
- FAO. 2008. *Guide to laboratory establishment for plant nutrient analysis*. Editado por M.R Motsara y R.N Roy. Roma. <http://www.fao.org>.

- . 2015. *Estimación de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en la Agricultura Un Manual para Abordar los Requisitos de los Datos para los Países en Desarrollo*. Roma. <https://doi.org/978-92-5-308674-0>.
- Franke, N.A, H. Boyacioglu, y A.Y. Hoekstra. 2013. “GREY WATER FOOTPRINT ACCOUNTING TIER 1 SUPPORTING GUIDELINES VALUE”. The Netherlands.
- GAD Parroquial Siete de Julio. 2017. *Rendición de cuentas del GADPR Siete de Julio 2017 - YouTube*. https://www.youtube.com/watch?v=jfmh2cewj_g.
- GAD PROVINCIAL SUCUMBOS. 2015. “AGRICULTORES DE LA PARROQUIA SAN ROQUE ESTRENAN MAQUINARIA AGRÍCOLA”. 2015. <http://www.sucumbios.gob.ec/index.php/editar/113-noticias-obras-publicas/1785-agricultores-de-la-parroquia-san-roque-estrenan-maquinaria-agricola>.
- GAD Shushufindi. 2015. “Actualización del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Cantón Shushufindi”.
- GADP Limoncocha. 2015. “Plan De Desarrollo Y Ordenamiento Territorial De La Parroquia Rural De Limoncocha”, 1–132.
- GADP Rural San Roque. 2015. “Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial parroquial de San Roque Actualización 2014-2019”. San Roque-Shushufindi. <http://sni.gob.ec/planes-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>.
- GADP Rural Siete de Julio. 2015. “PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL ACTUALIZACION 2014-2019 SIETE DE JULIO”. Siete de Julio-Shushufindi.
- GADP San Pedro de los Cofanes. 2015. “PLAN DE DESARROLLO Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL DE LA PARROQUIA SAN PEDRO DE LOS COFANES”. San pedro de los Cofanes-Shushufindi.
- GADPR Siete de Julio. 2018. “Cosechadora de maíz y arroz en la parroquia Siete de Julio en Shushufindi.” GAD SIETE DE JULIO. 2018. <http://gadprsietedejulio.gob.ec/?p=1968>.
- Gazulla. 2018. “ISO 14001:2015: del enfoque al análisis de Ciclo de Vida en las organizaciones - Lavola”. lavola Anthesis. 2018. <https://www.lavola.com/es/2018/01/18/iso-140012015-del-enfoque-al-analisis-de-ciclo-de-vida-en-las-organizaciones/>.
- GIZ, y MAG. 2016. “Agroforestería ‘Los árboles son mi jubilación’”.
- Greenhouse Gas Protocol. 2016. “Global Warming Potential Values”. *Greenhouse Gas*

Protocol. Greenhouse Gas *Protocol.*
<http://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Global-Warming-Potential-Values>
 (Feb 16 2016).pdf.

- IHOBE. 2009. *Análisis de Ciclo de Vida y Huella de Carbono. Dos maneras de medir el Impacto Ambiental de un producto*. Editado por IHOBE S.A. Sociedad Pública de Gestión Ambiental. *Ihobe*. Vasco.
- INEC. 2016. “Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua”. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. Ecuador.
- . 2017. “Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua”. *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. <https://doi.org/10.4206/agrosur.1974.v2n2-09>.
- INEGEI. 2006. “Inventario Nacional de gases de Efecto Invernadero 1990-2002”. *Ine*. Vol. 2002.
- INIAP. 2012. “Toma de muestra para análisis de suelo (Estación Experimental Central de la Amazonía)”.
- Instituto Mesoamericano de Permacultura [IMAP]. 2012. “Círculo de bananos”. [imapermacultura](http://imapermacultura.com). 2012. <https://imapermacultura.wordpress.com/2012/06/28/circulo-de-bananos/>.
- IPCC. 2006a. “Capítulo 1: Introducción”. En *Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra.*, editado por Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kioto Miwa, Todd Ngara, y Kiyoto Tanabe, 1–25. Japón: IGES.
- . 2006b. “Capítulo 1: Introducción”. En *Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 2. Energía*, 1–30. Japón: IGES.
- . 2006c. “Capítulo 11: Emisiones de N₂O de los suelos gestionados y emisiones de CO₂ derivadas de la aplicación de cal y urea”. En *Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra.*, editado por Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kioto Miwa, Todd Ngara, y Kiyoto Tanabe, 1–56. Japón: IGES.
- . 2006d. “CAPITULO 2. METODOLOGÍAS GENÉRICAS APLICABLES A MÚLTIPLES CATEGORÍAS DE USO DE LA TIERRA”. En *Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra.*, 1–66. Japón: IGES.
- . 2006e. “Capítulo 3: Combustión Móvil”. En *Directrices del IPCC de 2006 para*

- los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 2. Energía*, editado por Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kioto Miwa, Todd Ngara, y Kiyoto Tanabe, 1–78. Japón: IGES.
- . 2006f. *Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 4 Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra*. Editado por Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kioto Miwa, Todd Ngara, y Kiyoto Tanabe. Japón: IGES.
- . 2006g. *Directrices del IPCC de 2006 para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero Volumen 2. Energía*. Editado por Simon Eggleston, Leandro Buendia, Kioto Miwa, Todd Ngara, y Kiyoto Tanabe. Vol. 2. Japón: IGES.
- . 2006h. “USO DE PRODUCTOS NO ENERGÉTICOS DE COMBUSTIBLES Y SOLVENTES”. En *Directrices del IPCC 2006 para los Inventarios Nacionales de Gases de Efecto Invernadero Volumen 3 Procesos Industriales y*, editado por S Eggleston, L Buendia, K Miwa, T Ngara, y K Tanabe, 1–21. Japón. <http://ow.ly/DC7430p653T>.
- . 2007. “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. <https://doi.org/10.1038/446727a>.
- . 2015a. “CAMBIO CLIMÁTICO 2014 INFORME DE SÍNTESIS”.
- . 2015b. “CAMBIO CLIMÁTICO 2014 Informe de síntesis.” Suiza.
- Jiménez-Velázquez, Mercedes A., José L. García-Cué, Julio Sánchez-Escudero, Apolinar Mejía-Contreras, Tomás Martínez-Saldaña, y Edgar Magdaleno-Hernández. 2017. “Selección tradicional de semilla de maíz criollo.” *Agricultura Sociedad y Desarrollo* 13 (3): 437. <https://doi.org/10.22231/asyd.v13i3.405>.
- Jumbo, Carlos, Carla Arévalo, y Lenin Ramírez. 2018. “MEDICIÓN DE CARBONO DEL ESTRATO ARBÓREO DEL BOSQUE NATURAL TINAJILLAS -LIMÓN INDANZA , ECUADOR” 27 (1): 51–63.
- Larrazabal, Mariano. 2018. “Tipos de Agricultura”. Agrobialar. 2018. <http://ow.ly/iiKf30p65dr>.
- Lasso, Geovanna. 2017. “Territorios en disputa: un análisis de la Soberanía alimentaria en el Ecuador”. *EL FUTURO DE LA ALIMENTACIÓN Y RETOS DE LA AGRICULTURA PARA EL SIGLO XXI* 40: 32.
- León, Xavier, y María Yumbla. 2010. *El Agronegocio en Ecuador el caso del maíz*.

- Editado por Elizabeth Bravo, Cecilia Cherrez, y Soledad Vagliano. Quito, Ecuador.
- Lopez, Magdalena, Free de koning, Hugo Pafredes, y Pablo Benítez. 2002. “Estimación de carbono en biomasa de bosques secundarios y plantaciones forestales en el Noroccidente de Ecuador Begleitprogramm”. Alemania: Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH Postfach 5180.
- Madrid, Andrea. 2009. “La agricultura orgánica y la agricultura tradicional: una alternativa intercultural”. *Letras Verdes*, núm. 4: 24–26.
- MAE. 2017. “Tercera Comunicación Nacional del Ecuador a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”.
- MAG. 2017. “MAGAP y GADs de Pañacocha y Shushufindi entregaron kits de insumos de arroz y maíz – Ministerio de Agricultura y Ganadería”. 2017. <http://www.agricultura.gob.ec/magap-y-gads-de-panacocha-y-shushufindi-entregaron-kits-de-insumos-de-arroz-y-maiz/>.
- . 2018a. “Acuerdo Ministerial No. 057”. Quito-Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganadería. <http://ow.ly/zBdc30p65hv>.
- . 2018b. “RENDIMIENTOS OBJETIVOS DE MAÍZ DURO ÉPOCA DE INVIERNO 2018 (Enero - Junio)”. Quito, Ecuador. http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/maiz/rendimiento_maiz_duro_invierno_2018.pdf.
- MAGAP. 2015. “CANTÓN SHUSHUFINDI / BLOQUE 1 . 6 PROYECTO: ‘ LEVANTAMIENTO DE CARTOGRAFÍA TEMÁTICA ESCALA 1:25 000, LOTE 1’ COBERTURA Y USO DE LA TIERRA SISTEMAS PRODUCTIVOS ZONAS HOMOGÉNEAS DE CULTIVO”.
- Martínez, Róger. 2008. “Agricultura tradicional campesina : características ecológicas”. *Tecnología en Marcha* 21: 3–13.
- Maza, Oswaldo. 2015. “DE LA PRODUCCIÓN COMUNITARIA A LA PRODUCCIÓN MECANIZADA E INDUSTRIAL EN LIMONCOCHA |”. Gobierno Autónomo descentralizado municipal de Shushufindi. 2015. <http://shushufindi.gob.ec/portal/de-la-produccion-comunitaria-a-la-produccion-mecanizada-e-industrial-en-limoncocha/>.
- Ministerio del Ambiente. 2015. “Registro Oficial N° 387. Reforma del Libro IX del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente”, 1–184. [http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO_OFICIAL_387 - AM 140.pdf](http://gis.uazuay.edu.ec/ierse/links_doc_contaminantes/REGISTRO_OFICIAL_387_-_AM_140.pdf).


- Morales A., Rodrigo A., Percy Zorogastúa C., Felipe De Mendiburu, y Roberto Quiroz. 2018. “Producción mecanizada de maíz, camote y yuca en la Costa Desértica Peruana: Estimación de la huella de carbono y propuestas de mitigación”. *Ecología Aplicada* 17 (1): 13. <https://doi.org/10.21704/rea.v17i1.1169>.
- Naciones Unidas. 1992. “Convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático”. *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el ...*. Vol. 62301.
- . 1998. “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático”. *Protocolo de Kyoto* 61702: 20.
- OCTA. 2014. “El Cambio Climático en la Región Amazónica”. *Programa Regional Amazonía BMZ-DGIS-GIZ*, 24.
- Oliveral, Andrés, Stella Cristobal, y Carlos Saizar. 2016. “Análisis de ciclo de vida ambiental, económico y social”. *Innotec* 7: 20–27.
- OMM. 2017. “BOLETÍN DE LA OMM SOBRE LOS GASES DE EFECTO INVERNADERO- Estado de los gases de efecto invernadero en la atmósfera según las observaciones mundiales realizadas en 2016”. <https://doi.org/2078-0818>.
- Otzen, Tamara, y Carlos Manterola. 2017. “Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio”. *Int. J. Morphol* 35 (1): 227–32.
- Pérez, Solange. 2012. “Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador Evaluación y análisis de la huella hídrica y agua virtual de la producción agrícola en el Ecuador”.
- Picone, Liliana, Calypso Picaud, y Cecilia Videla. 2014. “Emisiones de gases efecto invernadero desde el suelo en el cultivo de maíz , en Argentina”. *ResearchGae*, núm. April. <http://ow.ly/m6l630p65qz>.
- Prüssmann, J, C Suárez, y M Chaves. 2017. *Atlas de oportunidades de conservación en el bioma amazónico bajo consideraciones de cambio climático Iniciativa Visión Amazónica*. Cali (Colombia): Redparques, WWF, FAO, UICN, PNUMA.
- Quintero, Margarito, y Andrés Moncada. 2008. “Contaminación y control de las quemas agrícolas en Imperial, California, y Mexicali, Baja California”. *Región Y Sociedad* 20 (43): 24. <https://doi.org/10.22198/rys.2008.43.a494>.
- Ramírez, Lenin, y Paolo Spugnoli. 2016. “A REVIEW OF LIFE CYCLE ASSESSMENT: AGROPRODUCTS MODELING”. *La Granja* 24 (2): 5–15. <https://doi.org/10.17163/lgr.n24.2016.01>.
- Ramírez, Lenin, Richard Vilches, Ronnie Lizano, Ingrid Pinzón, y Erika Lizbeth Sandoval. 2017. “Estimación de la Huella Hídrica y de Carbono en los cultivos

- comunitarios de Quínoa (*Chenopodium quinoa wild*) correspondientes a la zona central de los andes ecuatorianos”. *Anales Científicos* 78 (2): 10. <https://doi.org/10.21704/ac.v78i2.1054>.
- Ribal, Javier, Neus Sanjuan, Gabriela Clemente, y M Loreto Fenollosa. 2009. “Medición de la ecoeficiencia en procesos productivos en el sector agrario . Caso de estudio sobre producción de cítricos”. *Economía Agraria y Recursos Naturales* 9: 125–48.
- Rincón, Eric, y Ann Wellens. 2011. “CÁLCULO DE INDICADORES DE ECOEFICIENCIA PARA DOS EMPRESAS LADRILLERAS MEXICANAS”. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 27: 333–45.
- Romero, Miguel, Marcela Quintero, y Fredy Monserrate. 2016. *Elementos Técnicos para la Medición de Huella Hídrica en Sistemas Agrícolas*. Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) –.
- Rubio, Blanca. 2014. *El dominio del hambre: crisis de hegemonía y alimentos*. Editado por Universidad Autónoma Chapingo-Colegio de, Postgraduados, Universidad Autónoma de Zacatecas, y Juan Pablos Editor. 1a ed. México.
- Sabourin, Eric, Maria Mercedes Patrouilleau, Jean Le Coq, Luis Vásquez, y Paulo Niederle. 2017. *POLÍTICAS PÚBLICAS A FAVOR AMÉRICA LATINA Y EL CARIBE*. Editado por Rafael Marczal de Lima. 1ra. Porto Alegre: FAO-Red Políticas Públicas y Desarrollo Rural en América Latina.
- Sagarna, J, S Rivera, E Torres, F Domench, J Tello, M Fernández, S Maldonado, P Alabort, P Roures, y M Gallego. 2012. “Análisis de ciclo de vida GEIs en producto agroalimentario sobre casos prácticos en cooperativas agroalimentarias españolas”. España. <http://ow.ly/y7Y330p9pNO>.
- Sampieri, Roberto Hernandez, Carlos Fernandez Collado, y Pilar Baptista Lucio. 2006. *Metodología de la Investigación*. Editado por Mc Graw Hill. 4aed. México.
- SINAGAP. 2018. “Alianza entre junta parroquial de Sucumbíos y Ecuaquímica”. 2018. <http://sinagap.agricultura.gob.ec/infoproductor/maiz/index.php/noticias/112-alianza-entre-junta-parroquial-de-sucumbios-y-ecuaquimica>.
- Sumba, Lusero. 2014. “Producción Histórica de Maíz Duro Seco”. *MAGAP*. <http://fliphtml5.com/ijia/rekj/basic>.
- Suquilanda, Manuel. 2016. “Análisis comparativo de los modelos de producción agroalimentaria del Ecuador”. En *TEORÍA Y PRÁCTICA DE LA SOBERANÍA ALIMENTARIA*, 68. Conferencia Plurinacional e Intercultural de Soberanía Alimentaria.

- UNEP. 2009. *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products*.
- Viguera, Bárbara, M. R Martínez-Rodríguez, Camila Donatti, Celia A. Harvey, y Francisco Alpízar. 2017. “El clima , el cambio climático , la vulnerabilidad y acciones contra el cambio climático: Conceptos básicos . Materiales de fortalecimiento de capacidades técnicas del proyecto CASCADA.” Conservación Internacional - CATIE Soluciones para el ambiente y desarrollo.
- Viteri, Oswaldo. 2013. “EVALUACIÓN DE LA SOSTENIBILIDAD DE LOS CULTIVOS DE CAFÉ Y CACAO EN LAS PROVINCIAS DE ORELLANA Y SUCUMBÍOS – ECUADOR”. INSTITUT DE CIÈNCIA I TECNOLOGIA AMBIENTALS (ICTA) UNIVERSITAT AUTÒNOMA DE BARCELONA.
- Walker, W, M Baccini, N Nepstad, D Horning, y E Knight. 2011. “Guía de campo para la Estimación de Biomasa y Carbono Forestal”. Falmouth, Massachusetts, USA.: Woods Hole Research Center.
- WRI & WBCSD. 2011. *Greenhouse Gas Protocol. Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard. World Resources Institute, Washington DC, USA*. Greenhouse Gas Protocol.
- Yumbla, María. 2011. “Encadenamiento agroalimentario: ¿solución sustentable de desarrollo rural o consolidación del poder agroindustrial?” *Eutopía-2 Revista de Desarrollo Económico Territorial* 2: 115–34.

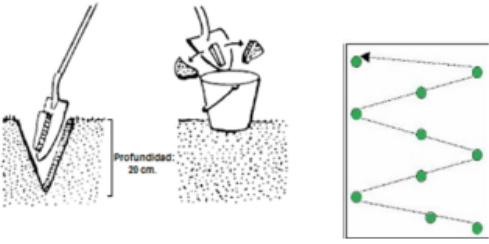


Anexos

Anexo 1: Formato de cuestionario utilizado para la investigación.

		Recopilación de datos de Inventario para el ACV del maíz- Shushufindi-Ecuador			
I. DATOS GENERALES					
Nombre del productor:					
Nombre de la finca:					
Ubicación de la parcela:		Cantón:	Shushufindi	Parroquia:	
Coordenada de referencia					
X:		Y:		Altitud:	
INVENTARIO-SOCIO-ECONÓMICO					
DATOS DEL PRODUCTOR					
Edad					
Sexo		Hombre ()		Mujer ()	
		Otro ()			
		Blanco		()	
Etnia		Mestizo		()	
		Negro		()	
		Indígena		()	
		Otro		()	
Grado de educación		Primaria		()	
		Secundaria		()	
		Superior		()	
		Posgrado		()	
		Educación básica		()	
		Educación media		()	
		Analfabeto (no sabe leer ni escribir)		()	
Ninguna		()			
Cuántos hombres son productores de maíz					
Cuántas mujeres son productores de maíz					
las labores del campo predominantemente son realizadas por		Adultos mayores		()	
		Adultos y adultos mayores en igual proporción		()	
		Adultos y adultos jóvenes en igual proporción		()	
		Adultos jóvenes		()	
		Adultos jóvenes y adolescentes		()	
Cuenta con servicios básicos		Agua potable ()	Entubada ()	lluvia ()	
		Luz ()	Alcantarillado	()	
		Recolección de basura ()	Teléfono	()	
Cuanta superficie está dedicados al cultivo de maíz					
Tiempo que se ha dedicado a sembrar maíz					
Tenencia de la tierra		Arrenda ()	Comunero-cooperado ()	Propios ()	
Es beneficiario del seguro agrícola para cultivos		SI () NO ()			
Cuanta con algún préstamo agropecuario		SI () NO () Alguna vez opto por el crédito ()			
En qué actividades agropecuarias se invierte más el crédito		Maquinaria agropecuaria		()	
		Sistemas de riego		()	
		Estructuras		()	
		Equipos de procesamiento		()	
		Producción de cultivos compra de insumos		()	
Ingreso económico		Salario () Publico () Privado ()			
		Agricultura ()			
		Trabajo ocasional ()			
Cuenta con seguro salud		SI () NO ()			
como califica el servicio de salud en Shushufindi		Bueno () Malo () Regular ()			
Tiene acceso a los centros de salud		SI () NO ()			
Recibe el kit-agropecuario por parte del GAD:		SI () NO () Alguna vez accedio al kit ()			
Que contiene el kit:					
Les dan alguna facilidad para adquisición de maquinaria agrícola		SI () NO ()			
Recibe capacitaciones agrícolas y ambientales por parte de alguna entidad, organización		SI () NO ()			
Temas en los que ha tenido capacitaciones:					
Qué entidad da la capacitación					
Pertenece alguna organización		SI () NO () cual?			
Por qué decidió dedicarse al cultivo de maíz:					
¿Depende solo de los ingresos del maíz?		SI () NO ()			
Cree usted que el maíz es un producto esencial para		Economía ()			
		consumo interno Animal ()			
		Familiar ()			

INVENTARIO-ACV-					
Numero de parcelas dedicadas al maíz					
Tiempo que el terreno está dedicado para cultivo de maíz					
Duración del ciclo del maíz					
Siembras al año del maíz					
Tamaño de la parcela	ha:		m ² :		
Está recientemente convertido de bosque a cultivo	SI <input type="checkbox"/>	NO <input type="checkbox"/>	<20 <input type="checkbox"/> años	>20 <input type="checkbox"/> años	Cuanto:
Realiza rotación de cultivos	SI () NO () ¿con qué cultivo rota ?				
Desbroce	SI ()		NO ()		
	Maquinaria agropecuaria	() Marca_____	Manual	()	
	Combustible	Cantidad			
	Duración de la actividad				
Arado	SI ()		NO ()		
	Maquinaria agropecuaria	() Marca_____	Manual	()	
	Combustible	Cantidad			
	Duración de la actividad				
Limpieza o deshirbe	SI ()		NO ()		
	Maquinaria agropecuaria	() Marca_____	Manual	()	
	Combustible	Cantidad			
	Duración de la actividad				
¿Qué variedad de semilla siembra?:					
Tipo de la Semilla	modificada ()	no modificada ()	desconoce ()	()	
Cantidad de semilla que utiliza:	unidad ()				
metodo para sembrar	Maquinaria agropecuaria	() Marca_____	Manual	()	
	Combustible	Cantidad			
	Duración con maquina				
metodo para cosechar	Maquinaria agropecuaria	() Marca_____	Manual	()	
	Combustible	Cantidad			
	Duración con maquina				
Rendimiento de la cosecha	cantidad	unidad ()			
metodo para desgranar	Maquinaria agropecuaria	() Marca_____	Manual	()	
	Combustible	Cantidad			
	Duración con maquina				
El secado del maíz lo realiza mediante:	Tendal ()	Marquesina ()			
	En la planta ()				
Gestión de los residuos agrícolas	Quema	SI () NO ()			
	Reincorporación	SI () NO ()			
	Recolector de basura	SI () NO ()			
	Compost	SI () NO ()			
	Biocombustible	SI () NO ()			
Realiza algun proceso adicional que el secado del maíz	SI ()		NO ()		
	Harina ()	Balanceado ()			
principales problemas que le afecta al rendimiento del maíz	Exceso de humedad	()	Fuertes vientos	()	
	Falta de agua	()	Inundaciones	()	
	Malezas	()			
	Plagas/ enfermedades	Gusano cogollero		()	
		Mancha foliar		()	
		Complejo mancha de asfalto		()	
		Tizón foliar		()	
		Barrenador de tallo		()	
Otro		()			
Destino del maíz	venta ()	precio	\$	/()	
	consumo interno	Animal ()	Familiar ()		
Uso de insumos					
Tipo.	Nombre	Cantidad	Unidad	Fase de aplicación	
N° Trabajadores/hora					
Fase de producción	Nª personas	horas trabajadas	jornales		

Anexo 2: Metodología para toma de muestra de suelo

Muestreo de suelo	
<ul style="list-style-type: none"> - Remoción de la cobertura vegetal - Cavar un hoyo en corte en V con el machete eliminar los extremos laterales dejando la muestra en forma rectangular - Tomar alrededor de 20 a 25 submuestras por lote (relación-5 ha) en trayectoria zig-zag y colocar en un balde limpio 	
<ul style="list-style-type: none"> -homogenizar las submuestras método del cuarteo para obtener una muestra compuesta de 1 kg. 	
<ul style="list-style-type: none"> - Colocar las muestra en fundas Ziploc esterilizadas 	
<ul style="list-style-type: none"> -Etiquetar las muestras: 	<p>Formato de etiqueta utilizada</p> <p>Fecha: ___/___/___ Hora: _____</p> <p>Modelo de maíz: _____</p> <p>Productor: _____</p> <p>Ubicación: _____</p> <p>X: _____ Y: _____</p> <p>Altitud: _____</p> <p>Responsable de la toma de la muestra:</p> <p>_____</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tipo de muestra: _____ - Tipo de análisis requerido: _____
<p>Almacenamiento:</p> <p>Preservar las muestras a 4 °C (cooler)</p>	<p>Envío al laboratorio</p>

Fuente: (INIAP 2012), (Agrar-PROJEKT 2018)

Elaboración: Propia

Anexo 3: Transformaciones y factores de emisión (Combustibles-lubricantes)

Transformación de galones a kg de combustible

Ecuación de la densidad

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

Donde:

∂	= densidad del combustible	(kg/m ³)
m	= masa del combustible	(kg)
V	= Volumen del combustible	(m ³)

Densidad del diésel y la gasolina

DIÉSEL	GASOLINA	ACEITE 2T
Densidad 832 kg/m ³	Densidad 745 kg/m ³	Densidad 870 kg/m ³

Fuente: (BioGrace 2011).

Equivalencias utilizadas:

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

Obtención de TJ combustible a partir de la masa del combustible

Ecuación:

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

Donde: VCN: Valor Calorífico Neto en TJ/Gg

TIPO DE COMBUSTIBLE	VCN TJ/Gg
Gasolina para motores	42,3
Diésel	43
Lubricantes	40,2

Fuente: (IPCC 2006b, 1.19)

Ecuación para obtener los kg del gas (CO₂, NO₂, CH₄)

$$kg \text{ del Gas} = Tj \text{ de combustible} * EF \text{ de cada gas}$$

Factores de emisión por defecto para la maquinaria todo terreno y transporte terrestre.

Fuente todo terreno	Factores de Emisión		
	CO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)	N ₂ O (kg/TJ)
Diésel			
Agricultura	74 100	4,15	28,6
Motor 2 tiempos a gasolina (caso de la Guadaña para el MT y MS)			
Agricultura	69 300	140	0,4

Fuente: Cuadro 3.3.1 del IPCC (2006e, 3.36)

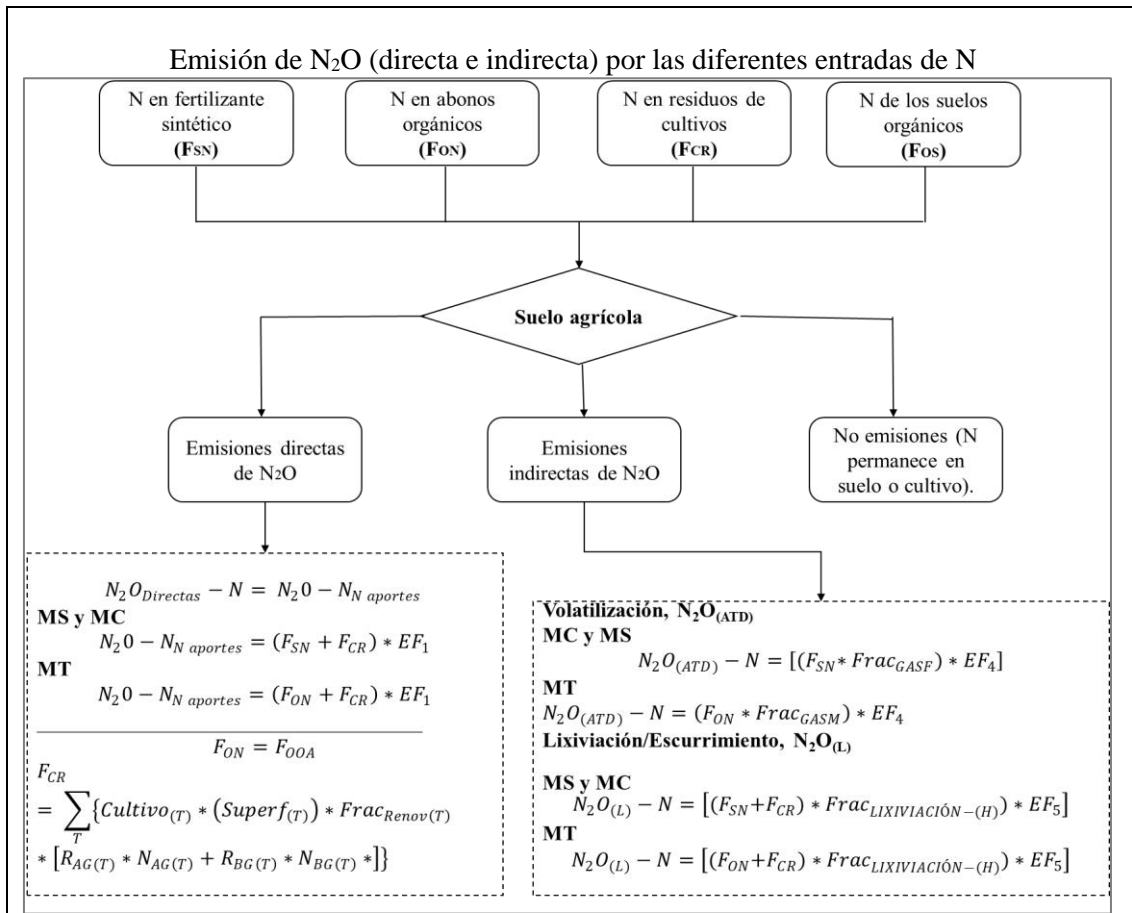
Factores de emisión para el transporte terrestre.

Transporte Terrestre	Factores de Emisión		
	CO ₂ (kg/TJ)	NO ₂ (kg/TJ)	CH ₄ (kg/TJ)
Motor a Gasolina	69300	8	25
Motor a Diésel	74100	3,9	3,9

Fuente: (IPCC 2006e)

Combustibles fósiles	Lubricantes																					
$Emisión = \sum_{\alpha} \{Combustible_{\alpha} * EF_{\alpha}\} \quad (5)$	$CO_2Emisiones = LC * CC_{Lubricante} * ODU_{Lubricante} * 44/12 \quad (6)$																					
Donde:	Donde:																					
<table border="1"> <tr> <td>$Combustible_{\alpha}$</td> <td>=cantidad de combustible usado</td> </tr> <tr> <td>EF_{α}</td> <td>= Factor de emisión $\left(\frac{kg}{TJ}\right)$</td> </tr> <tr> <td>$\alpha$</td> <td>= tipo de combustible (gasolina- diésel)</td> </tr> </table>	$Combustible_{\alpha}$	=cantidad de combustible usado	EF_{α}	= Factor de emisión $\left(\frac{kg}{TJ}\right)$	α	= tipo de combustible (gasolina- diésel)	<table border="1"> <tr> <td>$CO_2Emisiones$</td> <td>Emisiones de CO₂ generadas por los lubricantes</td> <td>Ton de CO₂</td> </tr> <tr> <td>LC</td> <td>Consumo total de lubricantes</td> <td>TJ</td> </tr> <tr> <td>$CC_{Lubricante}$</td> <td>Contenido de carbono de los lubricantes (por defecto) <i>Valor = 20 kg. de C/GJ</i></td> <td>Ton de C/TJ (kg. de C/GJ)</td> </tr> <tr> <td>$ODU_{Lubricante}$</td> <td>Valor para aceite= 0,20</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>44/12</td> <td>Cociente de masa del CO₂/C</td> <td>-</td> </tr> </table>	$CO_2Emisiones$	Emisiones de CO ₂ generadas por los lubricantes	Ton de CO ₂	LC	Consumo total de lubricantes	TJ	$CC_{Lubricante}$	Contenido de carbono de los lubricantes (por defecto) <i>Valor = 20 kg. de C/GJ</i>	Ton de C/TJ (kg. de C/GJ)	$ODU_{Lubricante}$	Valor para aceite= 0,20	-	44/12	Cociente de masa del CO ₂ /C	-
$Combustible_{\alpha}$	=cantidad de combustible usado																					
EF_{α}	= Factor de emisión $\left(\frac{kg}{TJ}\right)$																					
α	= tipo de combustible (gasolina- diésel)																					
$CO_2Emisiones$	Emisiones de CO ₂ generadas por los lubricantes	Ton de CO ₂																				
LC	Consumo total de lubricantes	TJ																				
$CC_{Lubricante}$	Contenido de carbono de los lubricantes (por defecto) <i>Valor = 20 kg. de C/GJ</i>	Ton de C/TJ (kg. de C/GJ)																				
$ODU_{Lubricante}$	Valor para aceite= 0,20	-																				
44/12	Cociente de masa del CO ₂ /C	-																				
Nota: en el anexo 3 se encuentran las transformaciones de unidades utilizadas tanto para los combustibles y los lubricantes. Así como los factores de emisión utilizados.																						
Fuente: combustibles:(IPCC 2006e, 10–39) - Lubricantes: (IPCC 2006h, 5.6-10)																						
kg de CO₂eq																						
Se utilizaron los potenciales de calentamiento GWP para obtener los kg de CO ₂ eq de cada gas utilizando la siguiente ecuación:																						
$kg \text{ de } CO_2 \text{ eq de cada gas} = kg \text{ del Gas} * GWP \quad (7)$																						

Anexo 4: Esquema dado por Durlinger et al. (2017, 12) adaptado para cada modelo de producción de agrícola de maíz duro en Shushufindi.



Nota: la descripción de cada variable y los factores de emisiones se encuentran en el anexo 4

Fuente: (Durlinger et al. 2017, 12), (IPCC 2006c, 11.7).

Elaboración: Propia.

Transformación de kg de N₂O a kg de CO₂.eq

Para transformar el total de N₂O directas e indirectas a kg de CO₂.eq se utilizó el potencial de calentamiento global GWP del nitrógeno como se muestra en la ecuación 8.

$$kg \text{ de } CO_2eq = kg \text{ de } N_2O * 298 \text{ (8)}$$

Anexo 5: Descripción de las variables y factores de emisión por emisiones Directas e indirectas de N₂O de suelos gestionados por diferentes aportes de N.

Emisiones directas de N₂O

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

Variable	Descripción	Unidad
N ₂ O _{directas} - N	=Emisiones directas anuales de N ₂ O-N producidas a partir de suelos gestionados.	kg N ₂ O-N año ⁻¹
N ₂ O - N _{N aportes}	=Emisiones directas anuales de N ₂ O-N producidas por aportes de N a suelos gestionados	kg N ₂ O-N año ⁻¹

Fuente: (IPCC 2006c, 11.7)

N₂O-N (N aportes)

Ecuación para los modelos MC y MS

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

Ecuación para el modelo MT

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

Descripción de las variables para estimación de N₂O-N_{aportes} y factores para el caso del maíz.

Variable	Descripción	Unidad
F _{SN}	Cantidad de N aportado por la aplicación de fertilizante sintético aplicado a los suelos	kg N año ⁻¹
F _{ON}	Cantidad de N proveniente de estiércol animal, compost, lodos cloacales otros abonos orgánicos y otros aportes de N aplicada a los suelos	kg N año ⁻¹
F _{CR}	Cantidad anual de N en los residuos agrícolas generados y se incluyen a los cultivos fijadores de N, renovación de forraje-pastura que retornan a los suelos	kg N año ⁻¹
F _{SOM}	Cantidad anual de N en suelos mineralizados por la pérdida de carbón por el cambio de uso del suelo o la gestión de la tierra	kg N año ⁻¹
EF ₁	Factor de emisión: 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 Valor por defecto: 0,01 Rango de incertidumbre: 0,003-0,03	kg N ₂ O-N (kg N) ⁻¹

Fuente: Directrices del (IPCC 2006c, 11.11, 11.12) Cap. 11

N de residuos agrícolas y renovación de forraje/pasturas (F_{CR})

$$F_{CR} = \sum_T \{ Cultivo_{(T)} * (Superf_{(T)}) * Frac_{Renov(T)} * [R_{AG(T)} * N_{AG(T)} + R_{BG(T)} * N_{BG(T)} *] \}$$

Fuente: IPCC (2006c, 11.15)

Variables y factores para el cálculo de Fcr (N en residuos agrícolas) caso maíz										
Variable	Descripción	Unidad								
$F_{CR} =$	Cantidad anual de N en los residuos agrícolas (aéreos y subterráneos), incluyendo los cultivos fijadores de N y de la renovación de forraje/pastura, devueltos a los suelos anualmente	kg N año ⁻¹								
$Cultivo_{(T)}$	Rendimiento anual de materia seca cosechada para el cultivo T	kg d.m. há ⁻¹								
$(Superf_{(T)})$	Total de superficie anual de cosecha del cultivo T	há año ⁻¹								
$Frac_{Renov(T)}$	Fracción de la superficie total dedicada al cultivo T que se renueva anualmente Valor tomado en cuenta: Para cultivos anuales, $Frac_{Renov} = 1$	-								
$R_{AG(T)}$	Relación entre la materia seca de los residuos aéreos ($AG_{DM(T)}$) y el rendimiento de cosecha del cultivo T ($Cultivo_{(T)}$) Ecuación: $R_{AG(T)} = AGDM(T) * 1000 / Cultivo(T)$ $AG_{DM(T)} = Cultivo_{(T)} * declive_{(T)} + intercept_{(T)}$	kg d.m. (kg d.m.) ⁻¹								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Variable</th> <th>Descripción</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>$AG_{DM(T)}$</td> <td>(materia seca de los residuos aéreos (Mg/ha)</td> </tr> <tr> <td>Declive</td> <td>Maíz= 1,03</td> </tr> <tr> <td>Intercept (Intercepción)</td> <td>Maíz= 0,61</td> </tr> </tbody> </table>			Variable	Descripción	$AG_{DM(T)}$	(materia seca de los residuos aéreos (Mg/ha)	Declive	Maíz= 1,03	Intercept (Intercepción)	Maíz= 0,61
Variable	Descripción									
$AG_{DM(T)}$	(materia seca de los residuos aéreos (Mg/ha)									
Declive	Maíz= 1,03									
Intercept (Intercepción)	Maíz= 0,61									
$N_{AG(T)}$	Contenido de N de los residuos aéreos del cultivo T <i>Valor para el Maíz= 0,006</i>	kg N (kg d.m.) ⁻¹								
$R_{BG(T)}$	Relación residuos subterráneos /biomasa aérea <i>Valor para el Maíz= 0,22</i>	kg d.m. (kg d.m.) ⁻¹								
$N_{BG(T)}$	Contenido de N de los residuos subterráneos del cultivo T <i>Valor para el Maíz= 0,007</i>	kg N (kg d.m.) ⁻¹								
Nota: Los valores de las variables fueron tomados del cuadro 11.2 de las directrices del IPCC (2006c, 11.19). para el cultivo del maíz.										
N de agregados de N orgánico aplicado a los suelos (F_{ON})										
Ecuación para el modelo tradicional										
$F_{ON} = F_{OOA}$										
Donde:										
Variable	Descripción	Unidad								
F_{ON}	Cantidad total anual de fertilizante de N orgánico aplicado a los suelos	kg N año ⁻¹								
F_{AM}	Cantidad anual de N de estiércol animal aplicada a los suelos	kg N año ⁻¹								
F_{SEW}	cantidad anual de N total de barros cloacales	kg N año ⁻¹								
F_{COMP}	Cantidad anual del total de N de <i>compost</i> aplicada a los suelos	kg N año ⁻¹								
F_{OOA}	Cantidad anual de otros abonos orgánicos utilizados como fertilizantes	kg N año ⁻¹								
Fuente: Directrices del (IPCC 2006c, 11.13) Cap. 11										
Corrección de peso en seco de los rendimientos de cosecha declarados										
$Cultivo_{(T)} = RendimFresco_{(T)} * SECO$										

Donde:		
Variable	Descripción	Unidad
$Cultivo_{(T)}$	Rendimiento de materia seca cosechada para el cultivo T	kg d.m. há ⁻¹
$RendimFresco_{(T)}$	Rendimiento en fresco cosechado para el cultivo T	kg peso fresco há ⁻¹
$SECO$	Fracción de materia seca del cultivo cosechado T. Caso maíz= 0,87	kg d.m. (kg peso fresco)-1

Fuente: (IPCC 2006c, 11.16)

Estimación de GEI por emisiones indirectas de N₂O.
Volatilización, N₂O_(ATD) (deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados)

MC y MS

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

MT

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

Variables y factores utilizados para determinar N₂O_(ATD) para el caso del maíz

Variable	Descripción	Unidad
$N_2O_{(ATD)} - N$	Cantidad anual de N ₂ O-N producida por deposición atmosférica de N volatilizado de suelos gestionados	kg N ₂ O-N año ⁻¹
$Frac_{GASF}$	Volatilización de fertilizante sintético Valor por defecto= 0,10	(kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N aplicado) ⁻¹
$Frac_{GASM}$	Volatilización de todos los fertilizantes de N orgánicos aplicados, y de estiércol y orina depositados por animales en pastoreo Valor por defecto= 0,20	(kg NH ₃ -N + NO _x -N) (kg N aplicado o depositado) ⁻¹
EF_4	factor de emisión correspondiente a las emisiones de N ₂ O de la deposición atmosférica de N en los suelos Valor por defecto= 0,01	-

Fuente: (IPCC 2006c, 11.23)

Lixiviación/Escurrecimiento, N₂O_(L)

MS y MC

$$N_2O_{(L)} - N = [(F_{SN} + F_{CR}) * Frac_{LIXIVIACIÓN-(H)} * EF_5]$$

MT

$$N_2O_{(L)} - N = [(F_{ON} + F_{CR}) * Frac_{LIXIVIACIÓN-(H)} * EF_5]$$

variables y factores utilizados para determinar N₂O_(ATD) para el caso del maíz

Variable	Descripción	Unidad
$N_2O_{(L)}$	Cantidad anual de N ₂ O-N producida por lixiviación y escurrecimiento de agregados de N a suelos gestionados en regiones donde se producen estos fenómenos	kg N ₂ O-N año ⁻¹
$Frac_{LIXIVIACIÓN-(H)}$	Fracción de todo el N agregado a/mineralizado en suelos gestionados en regiones donde se produce lixiviación/escurrecimiento P < EV = Frac LIXIVIACIÓN 0 Si P > EV = Frac LIXIVIACIÓN 0,3	kg N (kg de agregados de N) ⁻¹
EF_5	factor de emisión para emisiones de N ₂ O por lixiviación y escurrecimiento de N valor= 0,0075 (cuadro 11.3 del (IPCC 2006c, 11.26)	kg N ₂ O-N (kg N por lixiviación y escurrecido)-1

Fuente: (IPCC 2006c, 11.23)- Elaboración propia

Transformación

$$N_2O_{(L)} = N_2O_{(L)-N} \cdot 44/28$$

Fuente: (IPCC 2006c, 11.24)

Conversión de emisiones de N_2O-N a emisiones de N_2O

Para convertir de emisiones de $N_2O - N$ a emisiones de N_2O se utilizó la ecuación siguiente ecuación:

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

Para convertir de emisiones de $N_2O_{(ATD)} - N$ a emisiones de $N_2O_{(ATD)}$ se utilizó la siguiente ecuación:

Conversión

$$N_2O_{(ATD)} = N_2O_{(ATD)} - N * \frac{44}{28}$$

Fuente: (IPCC 2006c)

Anexo 6: DA y FE de la producción de fertilizantes.

Datos de actividad y factores de emisión por la producción de fertilizantes

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

DA (kg/ha)	FE (gCO ₂ eq/kg)	FE (kgCO ₂ eq/kg)
N _{fertilizante}	5880,6	5,88
P ₂ O ₅	1010,7	1,01
K ₂ O	576,1	0,57

Fuente: (BioGrace 2011)

Anexo 7: Cálculo de emisiones anuales de CO₂ por aplicación de urea

Emisiones anuales de CO₂ por aplicación de urea

$$CO_2 - C Emisión = M * EF$$

Fuente: (IPCC 2006c, 11.34)

Donde:

Variable	Descripción	Unidad
$CO_2 - C Emisión$	=Emisiones anuales de C por aplicación de urea	ton C año ⁻¹
M	=Cantidad anual de fertilización con urea	ton urea año ⁻¹
FE	=Factor de emisión <i>Valor por defecto=0,20</i>	ton de C (ton de urea)

Fuente: (IPCC 2006c, 11.34)

Conversión:

Al final se multiplicó por 44/12 para convertir de CO₂-C en CO₂.

Anexo 8: Emisiones por input de semilla.**Emisiones por input de semilla.**

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

Donde:

DA (kg/ha)	FE (gCO ₂ eq/kg)	FE (kgCO ₂ eq/kg)
Semilla de maíz	350	0,35

Fuente: (BioGrace 2011)

Anexo 9: Emisiones por input de fitosanitarios.**Emisiones por input de fitosanitarios.**

DA (kg/ha)	FE (gCO ₂ eq/kg)	FE (kgCO ₂ eq/kg)
Pesticidas	10971,3	10,97

Fuente: (BioGrace 2011)

Anexo 10: Cálculo de E. por la quema de residuos agrícolas de maíz duro del MS**Emisiones por la quema de residuos agrícolas de maíz duro del MS**

$$L_{fuego} = A * M_B * C_f * G_{ef} * 10^{-3}$$

Variables y FE para la estimación de GEIs por la quema del rastrojo

Variable	Descripción	Unidad								
L_{fuego}	Cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero provocada por el fuego	ton de cada GEI (CH ₄ , N ₂ O, etc)								
A	Superficie quemada	ha								
M_B	Masa de combustible disponible para la combustión (biomasa, hojarasca molida y madera muerta)	ton/ha								
G_{ef}	Factor de combustión <i>valor por defecto tomado del cuadro 2.6 del IPCC (2006d, 2.53)</i>	g/kg de materia seca quemada								
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Categoría</th> <th>CO₂</th> <th>CH₄</th> <th>N₂O</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Residuos agrícolas</td> <td>1515 ±95</td> <td>2,7 ±0,9</td> <td>0,007 ± 0,10</td> </tr> </tbody> </table>	Categoría	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	Residuos agrícolas	1515 ±95	2,7 ±0,9	0,007 ± 0,10	
Categoría	CO ₂	CH ₄	N ₂ O							
Residuos agrícolas	1515 ±95	2,7 ±0,9	0,007 ± 0,10							
C_f	Factor de emisión <i>valor por defecto tomado del cuadro 2.5 del IPCC (2006d, 2.55)</i> <i>Maíz= 0,80</i>	-								
Nota	Se debe repetir la ecuación para cada uno de los gases de efecto invernadero.									

Fuente: (IPCC 2006d, 48–55)

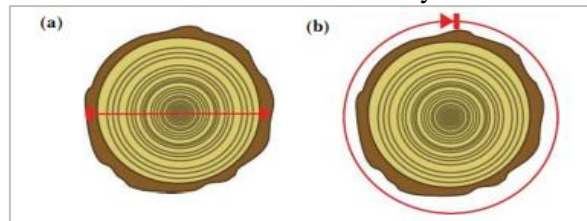
Anexo 11: Medición del diámetro a la altura del pecho DAP

Altura 1,30 para medir el DAP de un árbol típico



Fuente: (Walker et al. 2011, 44)

Diferenciación entre DAP y CAP



a) Diámetro b) Circunferencia de un árbol típico

Fuente: (Walker et al. 2011, 46)

Ecuación para la conversión de CAP a DAP

$$DAP = \frac{CAP}{\pi}$$

Donde:

DAP=Diámetro a la altura del pecho

CAP= Circunferencia a la altura del pecho

π =pi=3,1416.

Anexo 12: Cálculo del stock de carbono

Ecuaciones para el cálculo del área basal, volumen, biomasa forestal, carbón y CO ₂ almacenado en el bosque.	
<p>a) Estimación del área basal</p> $AB = \frac{\pi}{4} * DAP^2$ <p>Donde:</p> <p>AB = Área basal m²</p> <p>$\frac{\pi}{4}$ = constante - equivalente a 0,7854</p> <p>DAP² = Diámetro a la altura de pecho m</p>	<p>b) Estimación del volumen</p> $Volumen = AB * H * ff$ <p>Donde:</p> <p>AB = Área basal m²</p> <p>H = Altura total del árbol m</p> <p>ff = Factor de forma (0,5 latifoliadas)</p> <p>Nota: la altura de los arboles se lo realizó mediante un hipsómetro.</p>
<p>c) Estimación de la biomasa forestal</p> $Bf = Volumen * GE * FEBa * FEBs$ <p>Donde:</p> <p>Bf = biomasa forestal m²</p> <p>GE = Densidad de la madera (0,5) * Densidad de la madera (0,65) para la especie pambil (Lopez et al. 2002)</p> <p>FEBa = factor de expansión de biomasa aérea (ramas, hojas) (1,20).</p> <p>FEBs = factor de expansión de biomasa subterránea (raíces) (1,20).</p>	<p>d) Estimación del carbono almacenado en el bosque</p> $C = B * Fc$ <p>Donde:</p> <p>C = Cantidad de Carbón ton</p> <p>B = Biomasa</p> <p>Fc = Fracción de Carbono (0,5)</p>
<p>e) Estimación del CO₂ almacenado en el bosque</p> <p>Equivalencia: Una tonelada de carbono equivale al secuestro de 3,67 de CO₂.</p> <p>Ecuación:</p> $CO_2 = C * 3,67$ <p>Donde: CO₂ = cantidad de dióxido de carbono capturado, toneladas de CO₂ 3,67 = equivalencia para convertir el carbono en toneladas de CO₂ C = Carbono almacenado</p>	
Fuente: (Jumbo, Arévalo, y Ramírez 2018, 54–55)	

Anexo 13: Cálculo de la Huella Hídrica Agrícola

Huella Hídrica Verde: (atribuida al agua lluvia-precipitación)

$$HH_{Verde} = \frac{UAC_{verde}}{Y} \left(\frac{m^3}{ton} \right)$$

Donde:

Y = Rendimiento del cultivo (ton/ha)

UAC= Uso del agua del cultivo (m³/ha) – de la precipitación

Huella Hídrica Azul: (Agua superficial y subterránea-Riego).

$$HH_{Azul} = \frac{UAC_{azul}}{Y} \left(\frac{m^3}{ton} \right)$$

Y = Rendimiento del cultivo (ton/ha)

UAC= Uso del agua del cultivo (m³/ha) – del riego

Requerimientos de agua del cultivo UAC

$$UAC_{Verde} = 10 * \sum_{d=1}^{Lgp} ET_{Verde} \left(\frac{volumen}{area} \right) = \left(\frac{m^3}{ha} \right)$$

$$UAC_{Azul} = 10 * \sum_{d=1}^{Lgp} ET_{Azul} \left(\frac{volumen}{\acute{a}rea} \right) = \left(\frac{m^3}{ha} \right)$$

Donde:

Σ = Sumatoria del ciclo de crecimiento completo del cultivo, desde la siembra (día 1) hasta la cosecha

Lgp Se refiere a la longitud o los días que corresponden al ciclo del cultivo.

ET = Representa la evapotranspiración del cultivo (mm/día)

Huella Hídrica Gris (contaminación de agua dulce)

En el presente estudio se estimó la HH gris mediante las siguientes ecuaciones 19-22, dadas por las directrices Franke, Boyacioglu, y Hoekstra (2013) para los diferentes contaminantes (nutrientes, metales, pesticidas),

$$HH_{Gris} = \frac{L}{c_{max}-c_{nat}} \left(\frac{m^3}{ton} \right) \quad y \quad L = \alpha * Appl \text{ (kg)}$$

$$Appl = AR * \acute{A}rea$$

$$\alpha = \alpha_{min} + \left(\frac{\sum_i S_i * W_i}{W_i} \right) x (\alpha_{max} - \alpha_{min})$$

$$HH_{Gris} = \frac{(\alpha * AR)}{c_{max}-c_{nat}} \left(\frac{m^3}{ton} \right)$$

Variables para determinar HHgris por el cultivo de maíz

Variable	Descripción	Unidad
L	=Capacidad de contaminantes	(masa/tiempo).
Cmax	=Concentración máxima aceptable del contaminante (normativa vigente) Valor= 0,1mg/l (plaguicidas)* = 10 mg/l (fosforo)* = 50 mg/l (nitrógeno)*	(ton/m ³)
Cnat	= Concentración natural del contaminante. Se refiere a la concentración en el cuerpo de agua que podría ocurrir sin intervención humana. Valor=0 µg	(ton/m ³).
A	= Fracción de Lixiviación y escorrentía	-
α_{max}	= Fracción mínima de lixiviación-escorrentía**	-
α_{min}	= Fracción máxima de lixiviación-escorrentía**	-
Appl	= Cantidad de producto químico aplicado por área	ton
AR	= Cantidad de producto químico	ton/ha
Área	= Superficie del cultivo	ha
Si	=Puntuación para el potencial de escorrentía de lixiviación***	-
Wi	= Peso del factor***	-
Y	= Rendimiento del cultivo	ton/ha

Nota:

* valor tomado de la normativa ambiental vigente en Ecuador (Ministerio del Ambiente 2015, 14)

**valores tomados de la tabla 1 de las fracciones de lixiviación y escorrentía mínima, media, máxima para nutrientes, metales y pesticidas (Franke, Boyacioglu, y Hoekstra 2013, 17). Cálculo efectuado en se puede ver en los anexos 15 y 16 del presente estudio.

*** valores determinados por las tablas de la 3 a la 6 dadas por (Franke, Boyacioglu, y Hoekstra 2013, 20–26).

Fuente: (Franke, Boyacioglu, y Hoekstra 2013)

Elaboración: Propia

Finalmente, la HH de un cultivo se obtiene con la siguiente ecuación

$$HH_{cultivo} = HH_{Verde} + HH_{Azul} + HH_{Gris} \left(\frac{m^3}{ton} \right) \quad (23)$$

Fuente: (Pérez 2012, 5)

Datos y ecuaciones tomados en cuenta para el cálculo de la HH

Para el cálculo de la huella hídrica fue necesario recopilar una serie de datos, y cálculos previos en el CROPWAT 8.0, por lo que se presenta la recopilación de datos y ecuaciones utilizadas.

Variable	Formula	Datos utilizados
Evapotranspiración de referencia (ET_o)	Fórmula utilizada Penman-Monteith Disponible en el Software CropWat 8.0	Variables utilizadas: Temperatura promedio (°C) Humedad (%) Viento (m/s) Insolación (horas)
Precipitación efectiva	Fórmula FAO/ AGLW Disponible en el Software CropWat 8.0	Datos de la estación meteorológica del Nueva Loja (Dirección General de Aviación Civil [DGAC] 2017)
Evapotranspiración del cultivo ET_c	$ET_c = K_c * ET_o \left(\frac{mm}{día} \right)$ K _c : coeficiente de cultivo (adimensional) (da a conocer cómo la planta extrae agua del suelo a medida que esta se va desarrollando desde la siembra hasta la cosecha)	Duración del periodo del cultivo de maíz y consideración del estrés hídrico
Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar ET_{c aj}	$ET_{c aj} = K_s * K_c * ET_o \left(\frac{mm}{día} \right)$ K _s = coeficiente de estrés hídrico (adimensional)	- Tipo de suelo - Profundidad de raíces - Valores de Agua Disponible Total (ADT) - Agua Fácilmente Aprovechable (AFA) - Nivel de agua en la zona de las raíces (Dr)
DATOS DEL TIPO DE SUELO		
Variable	Unidad	
Textura del suelo	% de arena } % de Limo } Tipo de suelo % de arcilla }	
Humedad del suelo disponible total	mm/m	
Tasa máxima de infiltración de precipitación	mm/día	
Profundidad radicular máxima Z _r	cm	
Fuente: (Ramírez et al. 2017)		
Elaboración: Propia		

Anexo 14: Resultados del Stock de carbono por cada modelo evaluado

STOCK DE CARBONO DEL SISTEMA TRADICIONAL										
COD	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	DAP (cm)	DAP (m)	ALTURA (m)	Área basal (AB) (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa forestal (Bf)	Carbon almacenado C	CO ₂ almacenado (ton)
MT1	<i>M. americana</i>	Mamey	17,5	0,18	6	0,024	0,072	0,052	0,026	0,09
MT2	<i>M. americana</i>	Mamey	8,6	0,09	1,5	0,006	0,004	0,003	0,002	0,00
MT3	<i>Psidium guajava</i>	Guayabo	21,3	0,21	8	0,036	0,143	0,103	0,051	0,18
MT4	<i>Ceibo trichstandra</i>	Ceibo	25,14	0,25	12	0,050	0,298	0,214	0,107	0,39
MT5	<i>Ceibo trichstandra</i>	Ceibo	18,8	0,19	4	0,028	0,056	0,040	0,020	0,07
MT6	<i>Baccharis salicifolia</i>	Chilca	13,7	0,14	9	0,015	0,066	0,048	0,024	0,08
MT7	<i>Vochysia ferruginea</i>	dormilona	4,8	0,05	10	0,002	0,009	0,007	0,003	0,01
Total del MT									0,23	0,8
STOCK DE CARBONO SISTEMA SEMI-CONVENCIONAL										
COD	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	DAP (cm)	DAP (m)	ALTURA (m)	Área basal (AB) (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa forestal (Bf)	Carbon almacenado C (ton)	CO ₂ almacenado (ton)
SSC1			20	0,2	8	0,031	0,126	0,090	0,045	0,16
SSC1.1	<i>Laurus nobilis</i>	Laurel	14	0,14	8	0,015	0,062	0,044	0,022	0,08
SSC2	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	7	0,07	6	0,004	0,012	0,008	0,004	0,01
SSC2.1			10	0,1	6	0,008	0,024	0,017	0,008	0,03
SSC2.2			8	0,08	6	0,005	0,015	0,011	0,005	0,02
SSC2.3			10	0,1	6	0,008	0,024	0,017	0,008	0,03
SSC3	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	12	0,12	5	0,011	0,028	0,020	0,010	0,03
SSC4	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	13	0,13	5	0,013	0,033	0,024	0,012	0,04
Total del MS									0,12	0,4
STOCK DE CARBONO DEL SISTEMA CONVENCIONAL										
COD	ESPECIE	NOMBRE COMÚN	DAP (cm)	DAP (m)	ALTURA (m)	Área basal (AB) (m ²)	Volumen (m ³)	Biomasa forestal (Bf)	Carbon almacenado C	CO ₂ almacenado (ton)
MC1	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	8	0,08	0,8	0,005	0,002	0,001	0,001	0,003
MC2	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	18	0,18	8	0,025	0,102	0,073	0,037	0,134
MC3	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	20	0,20	9	0,031	0,141	0,102	0,051	0,187
MC4	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	17	0,17	8	0,023	0,091	0,065	0,033	0,120
MC5	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	18	0,18	8	0,025	0,102	0,073	0,037	0,134
MC6	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	16	0,16	7	0,020	0,070	0,051	0,025	0,093
MC7	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	17	0,17	7	0,023	0,079	0,057	0,029	0,105
MC8	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	10	0,10	5	0,008	0,020	0,014	0,007	0,026
MC9	<i>Baccharis latifolia</i>	Chilca	10	0,10	2	0,008	0,008	0,006	0,003	0,010
MC8	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	6	0,06	7	0,003	0,010	0,009	0,005	0,017
MC9	<i>Iriartea deltoidea</i>	Pambil	6	0,06	8	0,003	0,011	0,011	0,005	0,019
Total del MC									0,22	0,80

Fuente: Inventario en campo-resultados de tabulaciones .
Elaboración: Propia.

Anexo 15: Valores y cálculo de α para determinar la HHgris procedentes de los nutrientes (N) aplicados de los modelos de producción agrícola

CALCULO HHgris																
Modelo Producto α min α max		Factores ambientales								Practicas agrícolas				α Fracción de Liviación-Escorrentia		
		Entrada atmosférica	Suelo				Clima									
		Deposición-N (g N m ⁻² año ⁻¹)	Textura (Lixiviación)	Textura (Escorrentía)	Drenaje natural (Lixiviación)	Drenaje natural (Escorrentía)	Precipitación (mm)	Fijación N (kg/ha)	dosis de aplicación	captación de la planta	practica de gestión					
MS	10-30-10	0,01	0,25	S	<0,5	CLAY	CLAY	buen drenaje	buen drenaje	282,5	-	bajo	-	promedio	Σ SxW	50,85
					0	0	1	0,67	0,33	0	0,5	0,33	0,5	0,67	Σ Wtotal	95
			W		10	15	10	10	5	10	10	10	5	10	α	0,14
	10-30-10				<0,5	CLAY	CLAY	buen drenaje	buen drenaje	282,5	-	alto	-	peor	Σ SxW	57,55
	13-40-13	0,01	0,25	S	0	0	1	0,67	0,33	0	0,5	0,67	0,5	1	Σ Wtotal	95
MC	urea		W		10	15	10	10	5	10	10	10	5	10	α	0,16

Fuente: (Franke, Boyacioglu, y Hoekstra 2013, 26)

Elaboración: Propia

Anexo 16: Valores para la estimación de la fracción de lixiviación-escorrentía (α) por la aplicación de fitosanitarios

Modelo	Producto	α min	α max	Propiedades química			Factores ambientales					Prácticas agrícolas de gestión	α Fracción de Lixiviación- Escorrentía	
				Koc	Persistencia (Lixiviación)	Persistencia (Escorrentía)	Suelo		Clima					
							Textura (Lixiviación)	Textura (Escorrentía)	MO	Intensidad de lluvia	Precipitación (mm)			
MS	Nostoc (nicosulforon)	1E-04	0,1	30	26	26	clay	clay	21-40	0,5	282,5	promedio	Σ SxW	53,4
	Score S			1	0,3	0,3	0	1	0,67	0,5	0	0,67	Wtotal	100
	peso W			20	15	10	15	10	10	5	5	10	α	0,053
	Tejo (Benzoato de emamectina)			fracción lixiviación-escorrentía para plaguicidas en general								α	0,01	
MC	Quemante (Paraquat)	1E-04	0,1	1000000	3000	3000	clay	clay	21-40	0,5	282,5	peor	Σ SxW	54,2
	Score S			0	1	1	0	1	0,67	0,5	0	1	Wtotal	100
	peso W			20	15	10	15	10	10	5	5	10	α	0,054
	Tejo (Benzoato de emamectina)			fracción lixiviación-escorrentía para plaguicidas en general								α	0,01	

Koc= Coeficiente de reparto de CO* del suelo Koc (L/kg) fuente: (AERU 2018)

precipitación fuente Datos de la DAG

MO= materia organica

Fuente: (Franke, Boyacioglu, y Hoekstra 2013, 26)

Elaboración: Propia