

**EVALUACIÓN Y ANALISIS DE LA HUELLA DE CARBONO GENERADA EN
SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE TOMATE A CAMPO ABIERTO Y BAJO
INVERNADERO**

**TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERA EN
AGROECOLOGÍA**

AUTOR

ROSA MARÍA CORDERO AGUILERA

ESTUDIANTE INGENIERÍA AGROECOLÓGICA

DIRECTORA

KRYSTLE DANITZA GONZÁLEZ

DIRECTORA SEMILLERO GESTIÓN AMBIENTAL

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA MINUTO DE DIOS

FACULTAD DE INGENIERÍA

INGENIERÍA AGROECOLÓGICA

BOGOTÁ, COLOMBIA

2017

INDICE

Índice de Figuras	3
Índice de tablas	3
Índice de anexos	4
Capítulo I Introducción	5
1.1. Problemática.....	6
1.2. Justificación de la Investigación	8
1.3. Objetivos de la Investigación	9
1.3.1. Objetivo General	9
1.3.2. Objetivos Específicos.....	9
Capítulo II Marco Teórico	10
1.4. Marco de Antecedentes	10
1.4.1. Estudios adelantados a nivel mundial sobre huella de carbono	10
1.4.2. Estudios adelantados en Colombia sobre Huella de Carbono	13
2. Marco teórico	16
2.1. Cambios observados en el Clima y sus efectos a nivel Nacional.....	16
2.2. Emisiones de GEI en Colombia.....	16
2.3. Huella de carbono como indicador de desarrollo sostenible	18
2.3.1. Huella de Carbono - Sector AFOLU	19
2.4. Cool Farm Tool	22
2.5. Procesos de adaptación y mitigación ante los efectos del cambio climático	23
2.6. Aspectos generales sobre el Cultivo del Tomate.....	24
2.8. Situación del cultivo del Tomate.....	26
Capítulo III Metodología.....	27
3.1. Tipo de investigación	27
3.2. Localización.....	27
3.2.1. Marco geográfico Boyacá – Santa Sofía	27
Ubicación Geográfica del área de estudio Municipio de Santa Sofía.....	28
3.2.2. Marco geográfico Santander - Paramo	28
3.3. Fases de ejecución del proyecto	29
Fase 1. Identificación y cuantificación de las técnicas de producción agrícola empleadas en dos sistemas productivos de Tomate asociados a la generación de GEI.	30
Fase 2. Cuantificar las emisiones de GEI para cada una de las actividades asociadas a su generación acorde al ciclo productivo del tomate, por medio de la herramienta Cool Farm Tool. 36	

Fase 3. Análisis de procesos asociados a la producción de Tomate impactan de forma significativa la emisión de GEI y que posibles estrategias se podrían emplear para la reducción y compensación de la huella de carbono	37
Capítulo IV Resultados	39
4. Fase 1: Descripción detallada de los sistemas productivos.....	39
4.1. Finca BBI (Boyacá, Bajo Invernadero).....	39
4.1.1. FINCA SCA	48
4.2. Fase 2: Cuantificación de las emisiones de GEI para cada una de las actividades asociadas a su generación acorde al ciclo productivo del tomate, por medio de la herramienta Cool Farm Tool.	59
5. Conclusiones	74
7. Bibliografía	77

Índice de Figuras

Figura 1 Resultados de emisiones Netas de GEI para los años 1990, 1994, 2000, 2004, 2010,....	17
Figura 2 Principales fuentes de emisión y absorción de GEI.....	20
Figura 3 Etapas fenológicas del cultivo del tomate.....	25
Figura 4 Fases ordenadas para el desarrollo del proyecto. Fuente: Elaboración propia, 2017.	30
Figura 5 Diagrama del proceso productivo convencional del cultivo de Tomate ACV	30
Figura 6 Cultivo de Tomate Finca BBI.....	42
Figura 7 Cultivo de Tomate Finca SCA.....	51
Figura 8 Comparativo de Porcentaje Total de emisiones causadas por el manejo del cultivo por finca por tratamiento.	65

Índice de tablas

Tabla 2: Resultados Análisis de Suelos Fertilidad y Textura.....	39
Tabla 3 Sumatoria total de Kilogramos por planta de fertilizantes Finca BBI.	42
Tabla 4 Control de Plagas y enfermedades de manera química (Convencional).....	43
Tabla 5 Control de Residuos Biometrías Finca BBI.	44
Tabla 6 Consolidado de cosecha por tratamiento Finca BBI.	45
Tabla 7 Consumo energético BBI (Eléctrico).	46
Tabla 8 Consumo energético BJ. (Consumo fósil). (Autor)	47
Tabla 9: Resultados Análisis de Suelos Fertilidad y Textura.....	49
Tabla 10 Sumatoria total de Kilogramos por planta de fertilizantes Finca SCA.	50
Tabla 11 Control de Plagas y enfermedades de manera química Finca SCA (Convencional).	52
Tabla 12 Control de Residuos Biometrías Finca SCA.....	52
Tabla 13 Consolidado de cosecha por tratamiento Finca SCA.....	53
Tabla 14 Viajes de comercialización Finca SCA. Autor.....	53
Tabla 15 Consumo energético SC (Eléctrico).	54
Tabla 16 Consumo energético SC. (Consumo fósil). (Autor).....	55

Tabla 16 Resumen de Información general comparativa de cada sistema productivo por ítem analizado.....	57
Tabla 18: Comparativo de emisiones causadas por el manejo del cultivo por finca por hectárea.	60
Tabla 19 Perdida y Secuestro de Carbono.	62
Tabla 20 Emisiones de CO ₂ Eq por el uso de Energía en MJ.	63
Tabla 21 Emisiones de CO ₂ asociadas al transporte por comercialización resultados recuperados de CFT. Autor.	64

Índice de anexos

Anexo 1: Cuestionario Agricultor Productor de Tomate
Anexo 2: Riego por planta
Anexo 3: Control de aplicaciones de fertilizantes
Anexo 4: Control de aplicaciones de pesticidas
Anexo 5: Control y Manejo de Residuos
Anexo 6: Cosecha Kg por planta
Anexo 7: Control periódico del Transporte
Anexo 8: Control periódico del uso de energía por actividad
Anexo 9: Guía de Software Cool Farm Tool
Anexo 10: Software Cool Farm Tool
Anexo 11: Análisis de suelo Finca BBI
Anexo 12: Análisis de suelo finca BY
Anexo 13: Análisis de suelo finca SJ
Anexo 14: Análisis de suelo Finca SCA
Anexo 15: Comparativo de fertilización por tratamientos elegidos
Anexo 16: Calculadoras Cool Farm Tool diligenciadas

Capítulo I Introducción

Las actividades humanas tales como el uso de combustibles fósiles para la producción de energía y los procesos derivados del cambio del uso del suelo y silvicultura están generando grandes cantidades de emisiones de gases efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), clorofluorocarbonos (CFC's), óxidos de nitrógeno (NO_x) y metano (CH₄), principalmente, siendo el CO₂ uno de los GEI más importantes por las grandes cantidades en las que se emite (Masera & Benjamín , 2001).

En este contexto de producción de GEI la agricultura de corte industrial es una de las actividades que en su mayoría aporta grandes emisiones contaminantes al medio ambiente teniendo en cuenta que, si la deforestación se incluye, esta contribuye en total un aproximado del 30 % del total de las emisiones de GEI globales que con el paso del tiempo aumentara (Rikxoort, 2011).

En el caso del cultivo del Tomate, las emisiones de GEI representan un reto y una oportunidad de cambio en la medida en que conocer de dónde y de que actividades provienen las emisiones permite tomar decisiones respecto a los manejos convencionales con la finalidad de proponer a largo plazo transiciones sostenibles y ecológicas amigables con el medio ambiente. Sin embargo, para emprender acciones es importante tener como punto partida una medición de GEI que para el caso de esta investigación permite evidenciar un balance de carbono generado en fincas de producción activa de Tomate para lo cual se analizó la viabilidad de softwares o calculadoras de fácil aplicación y comprensión de las cuales fue seleccionado el Software o calculadora Cool Farm Tool desarrollado por Sustainable Food Lab, University of Aberdeen y Unilever plc. (Cool Farm Alliance., 2015), esta calculadora permite realizar una medición de huella o balance de carbono a grandes rasgos de una producción agrícola para definir la cantidad de gases de efecto invernadero (GEI) emitidos a lo largo del proceso productivo. Se espera además entender e identificar diferencias significativas entre los sistemas productivos, en este caso sistemas a campo abierto y bajo invernadero para establecer que procesos puntuales de estos son los que generan mayor emisión de GEI, lo cual permitirá proponer estrategias de cambio que disminuyan el impacto ambiental generado, incentivando el uso de estrategias de producción sustentable bajo los principios de la agroecología.

1.1. Problemática

El cambio climático se considera el principal reto ambiental de este siglo por los efectos que tiene sobre el clima a nivel global. Aumentos en las temperaturas de hasta 0.6°C a lo largo del siglo 20 (Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático., 2001), han generado inundaciones a causa del crecimiento de los océanos por el deshielo de los polos, cambios en los vientos por movimientos bruscos causados por altas temperaturas en el ambiente, aumento de lluvias, sequías y aridez de suelos, mortandad animal, desaparición de arrecifes, reservas de agua dulce, y disminución de la producción agrícola entre otros (Masera & Benjamín , 2001). Estos aumentos de temperatura se deben principalmente al aumento de la emisión de gases como el dióxido de carbono, metano y óxido nitroso que se deben principalmente a la utilización de combustibles de origen fósil, a los cambios de uso de la tierra entre otros recursos ambientales u actividades humanas intensivas destructivas que promueven el deterioro progresivo del medio ambiente (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2008).

A nivel mundial las emisiones de Gases efecto invernadero (GEI) han incrementado considerablemente, entre los años 1970 y 2010 presentando un aumento anual de 1,0 giga toneladas de dióxido de carbono equivalente (GtCO_2eq) es decir 2,2% el cual fue uno de los más altos en la historia de la humanidad. Del total de emisiones de GEI a nivel mundial la agricultura contribuyó con $680\pm 300 \text{ GtCO}_2\text{eq}$ para el año 2010 siendo el segundo sector de mayor contribución ante el total de las emisiones de GEI globales oscilando entre el 13 y 15% de la generación de gases gracias al uso de fuentes de energía fósil (IPCC - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático., 2015). Colombia a su vez del total de las emisiones de GEI genera el 0,37%, donde el 38.1% corresponden a actividades de la agricultura, asociadas a la vocación del país (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM, 2009). Estas cifras a nivel nacional y mundial reflejan la importancia y trascendencia que juega la agricultura frente al cambio climático, siendo un sector sensible a cambios en el clima, que también genera un porcentaje amplio de emisiones, lo que conduce a buscar estrategias que promuevan la gestión eficiente de carbono.

Surge entonces la huella de carbono como un indicador de cuantificación que representa la cantidad de CO_2 emitido a la atmósfera derivado de las actividades de producción o consumo de bienes y servicios, considerada una de las más importantes herramientas para cuantificar las emisiones de CO_2 (Espíndola & Valderrama , 2012) ya que sus resultados permiten evaluar la

gestión frente a un proceso o un producto en términos de mejorar sus efectos ambientales y reducir las emisiones de CO₂. Este indicador ha sido ampliamente usado a nivel empresarial, en Colombia se ha aplicado principalmente en Entidades Públicas del Distrito Capital (Secretaría Distrital del Medio Ambiente - PIGA, 2013), pero a nivel agrícola aún son limitados los estudios orientados a cuantificar la huella de carbono generada en un sistema productivo, lo que representa una limitante al momento de tomar decisiones y proponer estrategias, y más en el caso de Colombia, por su vocación agrícola.

Dentro de los productos agrícolas representativos de Colombia, el tomate es una de las siete hortalizas de mayor importancia para el territorio nacional, debido a su amplio consumo ya que, según el Plan Hortícola Nacional realizado por la Corporación Colombiana Internacional CCI, 2014, el país cosecha anualmente 242.000 toneladas de tomate en un área de 8.700 Ha, rango que indica una variedad de sistemas de producción, desde los muy tradicionales hasta los que incorporan tecnologías que contribuyen a producciones bajo condiciones semicontroladas (invernaderos), dado que este cultivo es muy vulnerable a enfermedades causadas por virus, ataques por plagas y deficiencias nutricionales marcadas, lo anterior representa el uso de plaguicidas, insumos nutricionales y fertilización de síntesis química que generan cambios sustanciales en el ambiente y recursos naturales empleados para su sostenimiento, actividades que además de generar dependencia y deterioro en los ecosistemas, generan emisiones de CO₂.

Por la importancia del tomate en la económica nacional, en la canasta familiar, y por su sensibilidad a cambios climáticos, la presente investigación se centra en cuantificar el balance de las emisiones de carbono en cuatro sistemas de producción convencional de tomate, ubicados en los departamentos de Boyacá y Santander, 1 bajo Invernadero y 1 a campo abierto utilizando la calculadora de CO₂ para sistemas de producción agrícola Cool Farm Tool, de forma que sea posible estimar la huella de carbono asociada a las actividades ejecutadas desde el inicio del sistema productivo hasta la cadena de suministro y así establecer una línea base que permita proponer y reorientar los sistemas de producción convencionales hacia sistemas sustentables donde se haga una gestión eficiente del carbono.

1.2. Justificación de la Investigación

La presente investigación pretende cuantificar las emisiones de dióxido de carbono generadas en sistemas productivos de tomate a campo abierto y bajo invernadero ubicados en los departamentos Boyacá y Santander, con el fin de que sus resultados permitan proponer estrategias que promuevan la sustentabilidad agrícola, mejoren la eficiencia energética de los sistemas, y promuevan la protección del medio ambiente reduciendo gradualmente las emisiones de CO₂ de los cultivos.

La Huella de Carbono es una estrategia que pueden usar los productores como punto partida para comprender cuales son los impactos que genera la agricultura convencional sobre los recursos naturales, identificar dentro de las actividades productivas cuales con las más críticas en términos ambientales y así mismo tomar decisiones y acciones enfocadas en la sostenibilidad y resiliencia del sistema productivo. Esta investigación busca promover sistemas agrícolas sustentables, donde se mantengan las sinergias y se reduzca sustancialmente el uso de insumos externos que generalmente no son renovables y cuentan con un alto potencial de daño al medio ambiente y a la salud de los productores.

La herramienta Cool Farm Tool permite cuantificar los gases de efecto invernadero generados en las diferentes etapas productivas, desde la preparación de suelos hasta la distribución de un producto terminado, por lo que su aplicación permite dar seguimiento y evaluar la mejora continua de los sistemas, lo que permite apoyar a los agricultores en sus decisiones (Cool Farm Alliance., 2015). La huella de carbono que se pretende cuantificar es para el cultivo tomate, por ser uno de los productos que más se consumen en la canasta familiar Colombiana ya que según estadísticas de la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Agronet en el 2013 conto con 14.320.9 Ha dedicadas a la producción de Tomate de las cuales se obtuvo una producción de 412.351.2 toneladas ocupando el lugar número 32 a nivel mundial en cuanto a producción de Tomate de mesa fresco en áreas descubiertas y protegidas (Invernadero). Se espera además entender e identificar diferencias significativas entre los sistemas productivos, en este caso sistemas a campo abierto y bajo invernadero para establecer que procesos puntuales de estos son los que generan mayor emisión de Gases Efecto Invernadero, lo cual permitirá proponer estrategias de cambio que disminuyan el impacto ambiental generado, incentivando el uso de estrategias de producción sustentable bajo los principios de la agroecológica.

Se espera además que esta investigación pueda servir como base para que se haga este tipo de análisis en otros sistemas productivos, ya que se conocen muy pocos casos de la aplicación de esta herramienta en Colombia, y como se mencionó anteriormente, en el sector agrícola, por ser una de las principales fuentes de generación de GEI son necesarias estrategias encaminadas a la adaptación, compensación y mitigación ante la emisión de estos gases.

1.3.Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo General

Evaluar la huella de carbono generada en dos sistemas convencionales de producción de tomate a campo abierto y bajo invernadero en Boyacá y Santander mediante el software Cool Farm Tool, con el fin de cuantificar el impacto ambiental generado en los procesos de producción de tomate.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar y cuantificar las técnicas de producción agrícola empleadas en dos sistemas productivos de Tomate a campo abierto y bajo invernadero ubicados en Boyacá y Santander diferenciando entre ambos sistemas productivos la generación de GEI.
- Cuantificar las emisiones de GEI para cada una de las técnicas de producción acorde al ciclo productivo del tomate, por medio de la herramienta Cool Farm Tool.
- Analizar que procesos asociados a la producción de Tomate impactan de forma significativa la emisión de GEI y que posibles estrategias se podrían emplear para la reducción y compensación de la huella de carbono.

Capítulo II Marco Teórico

1.4.Marco de Antecedentes

1.4.1. Estudios adelantados a nivel mundial sobre huella de carbono

Dentro de los trabajos e investigaciones realizadas en torno al tema de la huella de carbono, donde esta actúa como una herramienta de mejora Lizarral de Torre & Broto, en 2013, realizan un estudio en el que se observa la HC de productos de madera como una herramienta de competitividad para la industria en el que se concluyó que la HC se muestra como una potente herramienta para el posicionamiento de los productos y que a pesar de que hasta la fecha no existe una obligatoriedad de su aplicación, las señales dadas por distintas administraciones se encaminan hacia normativas que exigen el cálculo de la huella de productos para favorecer la elección de los consumidores con criterios ambientales.

Así mismo, Yoshikawa, Ikeda, Amano, & Shimada, en 2010, realizaron un estudio en el que estimaron la HC por medio del método de muestreo de datos, en el estudio de caso de la producción de arroz cultivado ecológicamente en Japón en donde concluyeron que las emisiones de metano hicieron importantes contribuciones a las emisiones totales de GEI del cultivo. Aunque en el estudio no se podía aplicar la estimación detallada por la restricción de los datos, fue necesario llevar a cabo la evaluación en detalle, incluyendo modelos de mediciones de las emisiones para aumentar los esfuerzos de reducción de estas.

Por otro lado, Ayala en 2012, realizó el análisis de la HC del cultivo de la palma africana en el Ecuador donde los Impactos sobre la calidad de agua, biodiversidad, calidad de aire, servicios ambientales, poblaciones vulnerables, salud y seguridad ocupacional, entre otros deben formar parte de un análisis cuidadoso y holístico para determinar la viabilidad del cultivo y del sector palmicultor, en relación con la expansión a futuro del cultivo de palma en el Ecuador, se observa la importancia de identificar y cuantificar la HC para lo cual es necesario realizar un análisis comparativo con las zonas identificadas como apropiadas de acuerdo a los criterios agroecológicos y ambientales sostenibles descritos por el autor, así mismo Olmos en 2012, realizó un estudio de la HC en el comercio internacional para el caso de las viñas chilenas como consecuencia de las reiteradas consultas de sus importadores, se puede afirmar que hoy prácticamente el 70% de las exportaciones de vino chileno realizan algún tipo de medición de sus emisiones de GEI, estas

mediciones no son exclusivas de los grandes exportadores, sino que se han podido verificar en empresas de todos los tamaños, incluso en aquellas que hoy sólo representan el 0,1% de los montos exportados por el país. El autor concluye que es más fácil comunicar que el producto ha neutralizado sus emisiones (cualesquiera que ellas sean) a señalar la cantidad de CO₂ que contiene el mismo vino en su proceso de elaboración.

A su vez, se hizo un estudio de las emisiones de CO₂ de temporada bajo diferentes sistemas de cultivo en Histosols en el sur de Suecia ya que los suelos orgánicos drenados y cultivados contribuyen una proporción sustancial de las emisiones de GEI antropogénico. La variación de las emisiones entre los cultivos probados fue baja en comparación con las emisiones totales de CO₂ desde el suelo y las diferencias entre los cultivos no fueron consistentes. Esto muestra que el crecimiento de un cultivo en particular no puede recomendarse como una opción de mitigación para limitar las emisiones de CO₂ procedentes de suelos orgánicos cultivados (Nosberg, Berglund, & Berglund, 2016).

Así mismo, Segura & Andrade, 2012 realizaron un estudio en el que se estima la HC en cadenas productivas de café (*Coffea arabica* L.) con diferentes estándares de certificación donde se encontró que la cadena productiva de café en Costa Rica es amigable con el medio ambiente, en términos de mitigación frente al cambio climático, dado que fija en promedio 7,6 kg CO₂e/kg de café verde (8,1 t CO₂e/ha/año). No se encontró un impacto del estándar de certificación en la HC, pero sí en el componente arbóreo, pues cada esquema de certificación tenía sus propias normas en cuanto a este tipo de vegetación en las plantaciones de café, de igual manera Oyhantcabal, Becoña, Astigarraga, Roel, & Saizar, en 2011, realizaron el primer estudio de la HC de tres de los principales rubros de agro exportación de Uruguay: Carne vacuna, lácteos, arroceras; en donde tuvieron como resultados que el metano es el principal gas de efecto invernadero en las tres cadenas, en los vacunos de carne y leche la principal fuente es la fermentación entérica, en el arroz es la condición de inundación (anaerobiosis), el óxido nitroso es el segundo gas en importancia y la principal fuente es el estiércol vacuno (heces y orina); y para las tres cadenas estudiadas, la industrialización, y el transporte nacional e internacional, realizan aportes relativamente reducidos a las emisiones por kilo producido

Por otra parte, Blanquer, en 2012 realizó una aproximación metodológica al cálculo de HC y huella ecológica en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid donde los resultados fueron obtenidos a través de un análisis minucioso de la actividad económica, la realización de un inventario de uso del suelo y la cuantificación de la generación de residuos, lo cual permitió evaluar la posición medioambiental de dicho centro respecto a su nivel de consumo de recursos lo que arrojó interesantes resultados que cifran en 2.724 toneladas de CO₂eq por su HC y en 948 hectáreas globales su H Ecológica referidas ambas al año 2010, estas cifras revelaron que la posición medioambiental de la Escuela está en línea con la de otros centros universitarios lo cual define el autor como primer fase dentro de la búsqueda de sostenibilidad en el entorno universitario, lo cual también fue realizado de manera similar por Arguedas Marín, 2011 quien evaluó la HC del Instituto Tecnológico de Costa Rica, donde concluyó que el instituto emitió en promedio 2540 t/año de CO₂ eq, durante el período 2007 – 2009 para lo cual también selecciono las fuentes de emisión evaluadas en toda la institución concluyendo porcentualmente la cantidad de la siguiente manera: fermentación entérica (40%), gestión del estiércol (36%), flotilla vehicular (11%), viajes aéreos (4%), planta de matanza (4%), electricidad (4%), gasolina/diesel institucional (1%) y gas LP institucional (0,1%). La gestión del hato ganadero fue la actividad con más incidencia en el total de las emisiones GEI institucionales, principalmente por la fermentación entérica. Estas emisiones llegan a representar un 76% del total de las emisiones institucionales.

Neef , Eichler, Deecke, & Fehse, en 2007 realizaron la actualización sobre los mercados de las compensaciones forestales para la mitigación del cambio climático y disminución de emisiones de CO₂ en donde se busca guiar a los desarrolladores de proyectos hacia un acercamiento a los créditos de carbono de proyectos forestales, en países en desarrollo. El énfasis está puesto en los mercados de compensaciones provenientes de países en desarrollo, y no en las compensaciones domésticas originadas en los países desarrollados ya que estos como su nombre lo indica son quienes más generan HC y es por esto que los países en desarrollo generan mayores expectativas para los mercados compensatorios de carbono, así entonces Campos, Méndez, & Salas, motivados por la importancia de la cuantificación de la HC realizaron un calculador de HC para edificaciones o viviendas llamado calculadora de huella de carbono (CHC) para edificaciones y viviendas, la cual es una herramienta importante en la estrategia para alcanzar la carbono neutralidad de un país ya que con ésta herramienta se logra medir, verificar y reportar las disminuciones que se realicen

a través de la planificación, diseño, y construcción de una edificación o vivienda; decisiones que son vitales para la fase de operación o uso de la estructura y su final demolición, lo que también se evidencio con alta importancia en el estudio de los aportes para la estimación de la HC en los grandes asentamientos urbanos de Argentina realizado por Ferraro en 2013, en donde según los resultados obtenidos, en valores totales los sectores que presentaron la mayor demanda de energía eléctrica durante el 2010 fueron el residencial (38,8%), el industrial (29,8%) y el comercial (21,6%), mientras que el porcentaje restante (23,3%) fue destinado a cubrir la demanda de los otros sectores (servicios sanitarios, alumbrado público, oficial y otros). Sin duda como lo define la autora, las grandes ciudades o grandes aglomerados urbanos definen el nivel de emisiones de un país ya que estos espacios concentran el mayor número de personas y consumo per cápita de recursos naturales tanto renovables como no renovables.

1.4.2. Estudios adelantados en Colombia sobre Huella de Carbono

Umaña en 2012, realizo su investigación en la huella de carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falán, Tolima, en donde se obtuvo como resultados incluir medidas o estrategias para aprovechar diferentes usos del suelo en la captación y secuestro de carbono presente en la atmosfera, en este análisis no fue posible determinar el pago por servicios ambientales dado que tocaría pagarles a los productores con el fin de asumir el cambio a los cultivos más amigables con el medio ambiente siendo esto poco factible con los precios del carbono y los costos tan altos de producción.

Así mismo Moreno en 2013, realizo una estimación de la HC en una planta extractora de aceite de palma en Colombia. Se estima que, durante el 2011, la HC Corporativa de Guaicaramo S.A. fue de 115.352 t CO₂e, lo que equivale a una emisión de 660 kg de CO₂eq por cada tonelada de aceite crudo de palma procesado. De ahí que la industria de procesamiento de aceite de palma ha tenido un importante crecimiento en los mercados nacionales e internacionales, posicionándose como un sector de talla mundial dentro de la economía colombiana, sin embargo, muy pocas investigaciones se han centrado en aplicar modelos puntuales para estimar la eficiencia ambiental de este tipo de procesos, a su vez Andrade, Campo, & Segura en 2014, cuantificaron y analizaron la HC del sistema de producción de arroz (*Oryza Sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia, donde la HC para el cultivo de arroz en promedio fue de 163,3 kg CO₂ e/t, la cual involucra las actividades de maquinaria, transporte, fertilización y aplicaciones de pesticidas. En

esta huella, la principal actividad emisora es la fertilización nitrogenada (65% del total de emisiones). A pesar de ser un cultivo netamente emisor de GEI, los arrozales podrían convertirse en sistemas productivos carbonos neutrales si sus emisiones se compensan con sistemas de leñosas perennes, como cafetales o cacaotales, cercas vivas o bosques riparios en las mismas fincas. Las emisiones de CO₂ y el rendimiento del cultivo no necesariamente están relacionados, si aumentan las primeras no se incrementa el rendimiento o viceversa, esto es debido a que las emisiones dependen de las actividades del manejo del cultivo y probablemente estas actividades adicionales apunten a la eficiencia ambiental o producción menos contaminante es decir baja en carbono disminuyendo la cantidad de emisiones de GEI del sistema.

Así mismo Andrade, Segura, & Varona en 2015, realizaron la estimación de HC del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia, teniendo como resultados que la HC para el cultivo de caña de azúcar fue de 1,3 t CO₂e/ha/año (10,1 kg CO₂e/t caña), lo cual involucra el uso de fertilizantes nitrogenados, uso de energía eléctrica y combustibles fósiles. En esta huella la principal fuente de GEI fue la fertilización nitrogenada (68% del total de emisiones). A pesar de ser un cultivo emisor de GEI, los autores recomiendan realizar la evaluación de la HC en todos los procesos de la producción para determinar cuáles actividades son las que generan grandes cantidades de CO₂ y de esta manera buscar alternativas de disminución y control de emisiones.

A su vez, Isaza en 2014 realizó el estudio del análisis de oportunidades para la gestión eficiente del carbono en un sistema de producción de café en el departamento de Caldas en la finca la Unión de la vereda La Cabaña en el municipio de Manizales con el objetivo de identificar el balance de carbono que se presenta en el sistema de producción. Para hacer la evaluación, se utilizó la herramienta *Cool Farm Tool*, en un sistema a libre exposición solar el cual genera emisiones de 41.869,74 kg CO₂ eq, donde el 93,7 % de las emisiones provienen del uso de fertilizantes obteniendo 118.265,14 kg CO₂ eq, mientras que las emisiones inducidas por la producción del fertilizante usado fue de 27.157,14 kg CO₂ eq sabiendo que la única reserva de carbono es el mismo cultivo de café con un valor de -190.717,98 kg CO₂ eq., para lo que el autor propone que la principal practica para mejorar el balance de carbono y pasar en un año, de tener emisiones, a generar almacenamiento de carbono, es la incorporación de árboles en el sistema de producción.

Por otro lado Arango & Camargo en 2015, determinaron la HC de una empresa forestal productora de guadua en Colombia, en donde si bien se argumenta que los procesos productivos

de las empresas forestales que trabajan con guadua no muestran emisiones muy altas, siempre es necesario hacer una adecuada gestión de la HC como meta de la política ambiental de la empresa, la guadua puede mitigar en poco tiempo las emisiones derivadas de su aprovechamiento si se le da un manejo adecuado y por lo tanto es necesario como insiste el autor conocer la HC del sistema productivo para así mitigar y buscar la sostenibilidad del sistema cumpliendo con los parámetros ambientales exigidos para este tipo de empresas mitigando su impacto ambiental.

2. Marco teórico

2.1. Cambios observados en el Clima y sus efectos a nivel Nacional

Según el IDEAM en el Informe del Estado del Medio Ambiente y los Recursos Renovables, publicado en el 2011, el comportamiento de las precipitaciones osciló variando los fenómenos ENOS (Oscilación del Sur, fenómeno del Niño y de la Niña) en la región Andina para los periodos de 2007-2008, 2010-2011 y 2011-2012 periodos de mayor intensidad que tras su paso dejaron cerca del 7% de la población nacional damnificada, dando lugar al Niño en el periodo de 2009-2010, lo que se traduce en una disminución de lluvias y aumento del secano que no se detiene con impactos ya que en el periodo 2014 – 2015 resulto ser el periodo más fuerte de la historia colombiana presentando más de 3985 incendios forestales, que afectaron más de 150.000 hectáreas de bosque donde 318 municipios experimentaron escases de recursos como el agua y la comida por lo que se impactaron más de 260.000 hectáreas agrícolas (García Arbelaez, Vallejo Lopez , Higgins , & Escobar, 2016). Por otro lado la región Caribe como caso contrario a la región Andina fue afectada por el fenómeno del Niño en el periodo de 2009-2010 el cual genero disminución de lluvias, que se contrarresto con el periodo subsiguiente de la Niña 2010-2011, mientras tanto en el oriente del país, Orinoquia y amazonia no se presentaron grandes afectaciones por estos fenómenos, a diferencia de la región Pacífica que durante el segundo semestre de 2009 tuvo deficiencias en los regímenes de precipitaciones gracias al Niño, sin embargo la llegada de la Niña en el 2010 y 2011 al igual que en la región Andina produjo fuertes lluvias en más de la mitad de la región (IDEAM - Instituto de Hidrología, Meteorología, y Estudios Ambientales, 2011).

2.2. Emisiones de GEI en Colombia

Colombia adelanto un proceso de análisis de información para obtener un inventario de GEI del cual le corresponde el 0.37% de las emisiones totales globales, numero bajo pero que no alivia los impactos ambientales que ya se han evidenciado (Costa, 2007), sin embargo, esta información fue reevaluada por el Primer Informe Bienal de Actualización de Colombia donde se presentan 5 sectores productivos el Minero Energético, Manufacturero y Construcción, Transporte, Agropecuario forestal y Residuos (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA., 2015), los cuales son caracterizados en 4 categorías de emisión de GEI:

- Categoría Energética (Se incluye todo lo relacionado a las industrias de energía, manufactureras y de construcción, transporte, y a las emisiones fugitivas provenientes de la fabricación de combustibles)
- Categoría de Procesos Industriales (Incluye todas las industrias de transformación de los minerales, industrias químicas, de metales, solventes, uso de productos sustitutos de las sustancias que agotan la capa de ozono, y otras como industrias alimenticias y de bebidas)
- Categoría de Agricultura, silvicultura y otros usos de la tierra (Incluye las tierras, pastizales, humedales, asentamientos, quema de biomasa, aplicación de fertilizantes, cultivos entre otros)
- Categoría de Residuos (Incluye la eliminación, incineración, de residuos sólidos y tratamiento de aguas residuales)

En este informe se cuantifican las emisiones de GEI producidas en el país, los resultados históricos de las emisiones GEI en Colombia fueron las siguientes:

Categorías	Emisiones totales (sin tierras forestales) en Gg de CO ₂ eq					
	1990	1994	2000	2004	2010	2012
Total nacional	165.041	176.017	183.044	199.209	223.949	178.258
1 - Energía	50.331	57.094	63.640	62.660	71.210	77.784
2 - Procesos Industriales y Uso de Productos	4.656	5.877	5.156	6.541	8.692	9.865
3 - Agricultura, Silvicultura y Otros Usos de la Tierra	102.737	104.139	103.669	118.354	130.341	76.312
4 - Residuos	7.317	8.907	10.578	11.654	13.706	14.297

Figura 1 Resultados de emisiones Netas de GEI para los años 1990, 1994, 2000, 2004, 2010, Fuente: (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA., 2015).

En esta Figura comparativa se presentan las emisiones de GEI totales de acuerdo a las 4 categorías mencionadas y se observa como en los años 1990 y 2010 la tendencia de emisión de GEI fue creciente con un aumento de 58.908 Giga gramos de CO₂ mientras que el año 2012 tuvo una tendencia decreciente presentando una disminución de 45.691 Giga gramos de CO₂ debido a

la disminución de emisiones de la categoría AFOLU o categoría 3 Agricultura silvicultura y otros usos del suelo (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA., 2015).

Por lo anterior y como es claro evidenciar el sector que más genera emisiones de GEI en Colombia es el Agrícola ya que es el potencial productivo del país, determinado por variables como el incremento en las cabezas de ganado, fermentación de estiércoles, uso del suelo, y uso de fertilizantes; no obstante, es importante señalar que se ha evidenciado una reducción de la deforestación en el país desde el año 2000, pasando de un promedio anual de 315 mil ha/año entre el año 2000 y 2005 a un promedio de 166 mil ha/año entre 2010 y 2012, lo que se ha reflejado en el total de las emisiones del sector, cuya participación en el total de las emisiones nacionales fue del 58% de los cuales el 67% corresponden a emisiones de CO₂, el 19% son emisiones de CH₄ principalmente por la fermentación de estiércol de todas las especies pecuarias del país, y el restante corresponde al 14% N₂O generado en su mayoría por la gestión de suelos agrícolas (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA., 2015).

2.3.Huella de carbono como indicador de desarrollo sostenible

La huella de carbono constituye un componente importante de la huella ecológica para ser más exactos aproximadamente el 50 % (Schneider & Samadiego, 2009) esta huella adquiere importancia cuando la sociedad se da cuenta de que las emisiones de GEI causadas por las actividades productivas antropogénicas del hombre tenían un impacto creciente sobre la degradación del medio ambiente ante estos eventos surge el indicador de Huella de carbono como una medida de cuantificación de emisiones directas e indirectas de GEI expresado en equivalentes de CO₂ expulsados a la atmosfera como resultado de las actividades antropogénicas de uno o varios individuos y que al igual que la HE la HC se puede enfocar a organizaciones, actividades productivas, productos entre otros objetos de estudio (Wiedmann & Minx, 2007).

Según Frohmann & Olmos, 2013 para comprender las aplicaciones del indicador de sostenibilidad HC es necesario diferenciar los tipos de emisiones que son cuantificadas por este, bien sean directas o indirectas. Las emisiones directas son aquellas que provienen de fuentes que son propiedad de la entidad de estudio ya sea una empresa, una institución entre otras como por ejemplo el consumo eléctrico, consumo de combustibles, consumo de agua, entre otros, mientras que por otro lado las emisiones indirectas son aquellas que ocurren como consecuencia de la actividad de la entidad que reporta, como por ejemplo los empaques de los productos vendidos a

un consumidor, el transporte, entre otros lo que argumentan (Schneider & Samadiego, 2009) afirmando que es necesario para una completa cuantificación de HC relacionar el ciclo de vida completo de producción y consumo de los bienes y/o servicios a analizar, por lo tanto en la actualidad la HC se basa en la metodología ACV (Análisis del Ciclo de vida) de un producto o servicio que apunta a diagnosticar procesos complejos para transformarlos teniendo en cuenta que los recursos tienen capacidad limitada y que es necesario sustituirlos o usarlos de manera más eficiente (Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL, 2004), no obstante la HC no solo contempla las emisiones directas e indirectas de GEI si no que estas a su vez se enfocan también en poblaciones, actividades, productos u organizaciones lo que permite dar un uso muy amplio a este indicador en el que se establecen tres alcances de profundidad del análisis el alcance 1, que atañe al cálculo de las emisiones directas asociadas al consumo de combustibles fósiles; el alcance 2, que cuantifica las emisiones indirectas ligadas al consumo de energía eléctrica; y finalmente, el alcance 3, que mide las emisiones indirectas asociadas a bienes y servicios adquiridos por el objeto en estudio (Blanquer, 2012).

2.3.1. Huella de Carbono - Sector AFOLU

El sector AFOLU es una categoría a la que se le da prioridad en los sistemas de inventarios de GEI dado que su influencia es significativa en todos los países (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, 2006). Según las Directrices del IPCC 2006 para los inventarios de GEI Volumen 4: Agricultura Silvicultura y otros usos de la tierra en la actualidad la orientación y los métodos para estimar las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero para el Sector AFOLU mencionan que los GEI más nocivos que contemplan un mayor motivo de preocupación son el Dióxido de Carbono (CO_2), el Óxido Nitroso (N_2O), y el Metano (CH_4) los cuales se presentan a continuación en la Figura 2 (IPCC - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático., 2015), donde las principales fuentes de emisión de GEI para el sector AFOLU son resultado de los flujos naturales de CO_2 entre la atmósfera y los ecosistemas los cuales son controlados fundamentalmente por captación, mediante la fotosíntesis de las plantas, y por liberación, a través de la respiración, la descomposición y la combustión de materia orgánica (IPCC - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático., 2015).

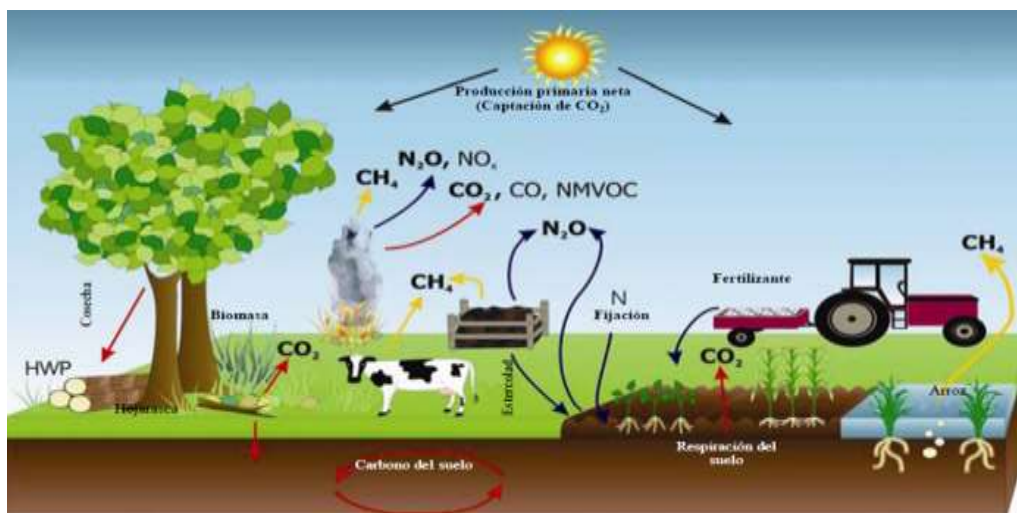


Figura 2 Principales fuentes de emisión y absorción de GEI

Fuente: (IPCC - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático., 2015).

Así entonces el sector AFOLU impacta mayoritariamente en la generación de emisiones de CO_2 teniendo en cuenta que la deforestación y la pérdida de vegetación por el uso intensivo de agricultura convencional y producción extensiva de ganado son una de las implicaciones directas del aumento de las emisiones dado que los procesos de descomposición de materia orgánica liberan CO_2 en grandes cantidades al ambiente, por otro lado no hay que demeritar que no solo la deforestación es la causa de la gran cantidad de gases ya que los suplementos y la aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo conduce a la liberación de óxido nitroso como a su vez, el metano es liberado del rumen de animales como su nombre lo indica rumiantes (vacas, cabras y ovejas) y de su estiércol si se habla de producción pecuaria, (Isaza, 2014), pero estas producciones intensivas no son las únicas causales dado que los incendios e inundaciones también generan erosión y destrucción de ecosistemas sumideros de CO_2 debido a la sensibilidad global que se deriva de los cambios abruptos del clima como los asociados a los eventos ENOS (El Niño – La Niña – Oscilación del sur) (IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA., 2015).

En resumen, el porcentaje de las emisiones de GEI del sector agrícola sin incluir los cambios del uso del suelo son las siguientes (Bermejo, 2010):

- Óxido nitroso (N_2O), producido en los suelos a partir de los fertilizantes nitrogenados de síntesis y/o abonos orgánicos (38%).

- Metano (CH₄) generado en el proceso digestivo de los rumiantes (32%) y en la descomposición de la materia orgánica en campos de arroz encharcados (12%)
- Quema de biomasa (bosques y matorral, rastrojos, campos de caña de azúcar...) emite metano y óxidos de nitrógeno en cantidades importantes (11%).
- El estiércol y purines de la ganadería también emiten cantidades significativas de CH₄ y N₂O (7%).

La emisión de GEI en las actividades agrícolas en general representa entonces el 47% aproximadamente de la huella de carbono del mundo por lo cual es muy probable que en un futuro no muy lejano se incluya la agricultura como actividad sujeta a una obligación de reducción de emisiones de GEI, noticia que no es muy alentadora para ningún país subdesarrollado puesto que la economía de estos depende en gran medida de los productos agrícolas y ganaderos que produzca la tierra (Viglizzo, 2010).

Los impactos que representa el cambio climático gracias a las emisiones de GEI en la agricultura son los siguientes:

- Cambios en los rendimientos debido a los cambios en los climas estacionales.
- Los cambios en el potencial de producción en relación con factores tales como el rendimiento, la disponibilidad de suelo y la duración del ciclo de cultivo.
- La respuesta del cultivo a los cambios en las condiciones atmosféricas.
- Los cambios en los precios y la estructura del comercio, debido al cambio climático.
- Cambios en la seguridad alimentaria, es decir, el número de personas con menor acceso a la alimentación.
- El agua de escorrentía y el estrés relacionado con la disponibilidad del agua potable.

2.3.2. Metodo de Cálculo

En la actualidad, existen varios métodos de cálculo de la HC reconocidos que utilizan un acercamiento muy similar al momento de obtener los datos de análisis teniendo en cuenta que el punto de partida siempre es conocer claramente el ACV de los productos u/o servicios.

Estas metodologías son *GHG Protocol* Alcance 1 y 2 por medio del cual se realiza un Inventario de emisiones que puede ser mejorado a huella de carbono de emisiones directas e indirectas de los alcances 1 y 2 incluyendo tan solo 6 GEI incluidos en el protocolo de Kioto (CO₂, CH₄, N₂O, HFCs, PFCs, SH₆) esta metodología fue creada por The World Business Council for Sustainable Development World Resources Institute quienes lanzan otra versión actualizada y exclusiva para un inventario más completo de solo el Alcance 3 que enmarcan emisiones de GEI Directas e Indirectas guiado hacia el análisis de huella de carbono.

Seguida a esta se encuentra la norma *PAS 2050* cuya finalidad es proponer un método de cálculo de la HC de bienes y servicios a través de la medición de las emisiones de GEI a lo largo de su ciclo de vida es la segunda edición de la norma publicada en 2008, elaborada por Carbon Trust, esta norma se apoya en las normas ISO 14040 y 14044 sobre gestión ambiental y evaluación de ciclo de vida, desarrollando requisitos para la evaluación de emisiones de GEI a lo largo del ciclo de vida de productos (Blanquer, 2012).

2.4.Cool Farm Tool

La elección de la herramienta de medición para esta investigación resalta a la agricultura como un foco alto de emisiones de CO₂, teniendo en cuenta el concepto comparativo que publico Whittaker, McManus, & Smith, en el 2013 donde se tomaron las herramientas diseñadas para calcular las emisiones de CO₂ en la agricultura y se compararon detalladamente buscando la mejor opción que involucrara al agricultor sobre el conocimiento de las principales fuentes de emisiones que genera la producción agrícola, evaluando a su vez los proyectos de mitigación posibles, e informando el impacto de las emisiones con el fin de modificar los procesos para establecer pasos hacia las certificaciones de producción limpia, en esta síntesis los autores resaltan a Cool Farm Tool (CFT) como una eficiente herramienta de cálculo completa y fácil de manejar en comparación con otras herramientas complejas y privadas de acceso para los productores, lo cual permitió elegir esta metodología de cálculo, la cual fue originalmente creada por Christof Walter Gerente de investigación de Unilever quien en el 2008 comenzó a trabajar en la Herramienta CFT o Herramienta de Cultivo fresco para el Reino unido en la Universidad de Aberdeen en su laboratorio de Alimentación Sostenible (Gold Standard, 2016), con el objetivo de permitirle a los agricultores medir las emisiones de GEI de sus producciones y comprender las opciones de mitigación que se pueden implantar en sus sistemas productivos, esta herramienta de cálculo se diseñó bajo los

parámetros de la metodología PAS 2050 y GHG Protocol apoyadas en las normas ISO 14040 y 14044 sobre gestión ambiental y ACV de un producto (Blanquer, 2012), en la actualidad es controlada y actualizada por The Cool farm Alliance sede ubicada en el Reino Unido sin fines de lucro, la herramienta es libre para todo productor agrícola que desee conocer el cálculo de las emisiones de GEI de su producción agrícola (The Cool Farm Tool Alliance., 2011), dado que se encuentra entre las calculadoras que utilizan enfoques de factores de emisión del IPCC (Nivel 1); y los modelos de procesos de base que exigen un mayor nivel de compromiso e interpretación (IPCC Nivel 3) (The Cool Farm Tool Alliance., 2011), la calculadora cuenta con siete secciones de entrada, cada una en una hoja de cálculo de Excel, separadas de la siguiente manera:

**Información General, Manejo del Cultivo, Secuestro, Ganadería, Energía usada en campo
Procesamiento primario, Transporte, Resultados y gráficos.**

Por lo anterior es clave mencionar que esta calculadora incluye todos los procesos de una finca bien sea producción de cultivos o ganadería por lo cual aplica para este proyecto de investigación puesto que el ideal es realizar una Evaluación de la huella de carbono generada en sistemas de producción de tomate a campo abierto y bajo invernadero.

2.5. Procesos de adaptación y mitigación ante los efectos del cambio climático

Así entonces, bajo el contexto de Adaptación y Mitigación los autores Altieri & Nicholls, 2013, mencionan que muchas poblaciones rurales de potencial agrícola son las que más se afectan con los impactos del cambio climático en gran parte ocasionados por las emisiones de GEI ya explicadas, sobre todo en aquellos países de bajo desarrollo puesto que sus ingresos son bajos y dependen de la agricultura como medio de supervivencia ya que tienen una limitada capacidad de buscar otras alternativas de vida, el autor también menciona que si bien es cierto muchas de estas poblaciones expuestas a los impactos de cambio climático son más vulnerables que otras dado que su estilo de vida está ligado a los recursos naturales en ecosistemas marginales también menciona que estas poblaciones han demostrado innovación y resiliencia frente al cambio climático ya que, buscan alternativas o estrategias de adaptación que permiten enfrentar los impactos como sequías inundaciones, heladas, huracanes entre otros efectos ambientales que deterioran la naturaleza y arrasan los recursos con los que sobreviven como por ejemplo el agua, el alimento entre otros.

La mitigación forma parte de los mecanismos de estudio y análisis que se enfocan en reconocer cuáles son las causas de deterioro las cuales al ser estudiadas muestran a grandes rasgos

sus orígenes o raíces de daño, de esta manera al reconocer el daño como factor de cambio se procede a buscar medidas de adaptación que permitan minimizar el impacto y crear alternativas de resiliencia para soportar los efectos de dichos cambios (Altieri & Nicholls , 2013).

Por lo tanto cuando se lleva a cabo el cálculo de la HC este añade un valor agregado a un producto ya que representa un compromiso con el medio ambiente puesto que las personas que se interesan por un producto agrícola que cuente con una huella de carbono baja, generalmente son conscientes de los impactos que conllevan las emisiones de GEI en el ambiente, lo cual, significa que si la medición de huella de carbono se propagara a grandes rasgos la conciencia sobre la diferencia de un producto industrializado respecto a un producto originado de forma más o menos respetuosa con el medio ambiente aumentaría y marcaría la diferencia entendiendo la HC no solo como un indicador de medición si no como una oportunidad de mejora de mitigación y adaptación ante los efectos del cambio climático (Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL, 2004).

2.6.Aspectos generales sobre el Cultivo del Tomate

El tomate *Solanum Lycopersicum* L. es una planta originaria de América cultivada en todo el mundo por su fruto fresco comestible que permite ser transformado con facilidad en procesados tales como jugos, salsas, enlatados, sazónadores entre otros (Perilla , Felipe, & Bermudez , 2011).

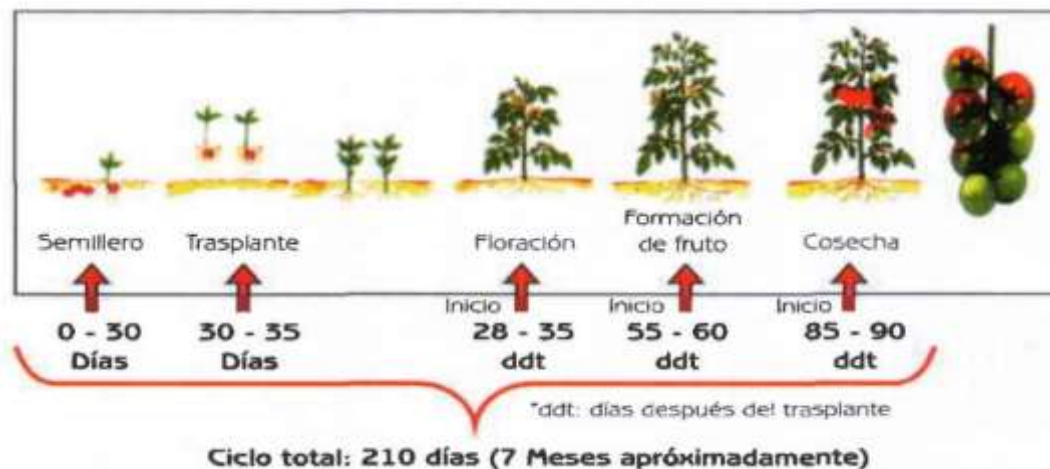
La duración del ciclo del cultivo de tomate se ve influenciado por las condiciones climáticas de la zona donde establece el cultivo, el suelo, el manejo agronómico que se dé a la planta, el número de racimos que se van a dejar por planta y la variedad utilizada.

El desarrollo del cultivo comprende dos fases: una vegetativa y otra reproductiva.

- **La fase vegetativa** se inicia desde la siembra en semillero, seguida de la germinación, la emergencia y el trasplante a campo, el cual se realiza con un promedio de tres a cuatro hojas verdaderas, entre 30 a 35 días después de la siembra y a partir del trasplante hasta el inicio o aparición del primer racimo floral.
- **La fase reproductiva** se inicia desde la formación del botón floral, que ocurre entre los 30 y los 35 días después del trasplante, el llenado del fruto, que dura aproximadamente 60 días para el primer racimo, iniciándose la cosecha a los 90 días, con una duración de tres meses

para una cosecha de 8 a 10 racimos. En total la fase reproductiva tiene una duración de 180 días aproximadamente.

Figura 3 Etapas fenológicas del cultivo del tomate.



Fuente: (Jaramillo, Rodríguez , Guzmán, Zapata, & Rengifo, 2007).

2.7.Sistemas productivos más implementados para la producción convencional de Tomate

La producción de tomate en la actualidad se realiza bajo condiciones protegidas en invernadero y a campo abierto (Nucleo Ambiental SAS - Camara de Comercio. , 2015), y de manera opcional en hidroponía, sin embargo, bajo condiciones de alta temperatura y humedad por exposición directa al ambiente o entorno, el cultivo se ve afectado por diversas enfermedades que afectan la producción que se realiza en campo abierto. Estas enfermedades causan el bajo rendimiento y calidad de la producción del cultivo lo que impulsa a que el agricultor utilice grandes cantidades de agroquímicos, productos que los usan de una manera excesiva y que, además de encarecer los costos de producción, causan serios disturbios al medio ambiente y a la salud de los consumidores y de los mismos productores (FAO , 2013).

La producción bajo invernadero según el (DANE, 2014), es una practica que se viene adelantando para la reconversión de cultivos, haciendo más productivas áreas con severas limitaciones y condiciones adversas que son minimizadas, obteniendo excelentes resultados, como el incremento en la productividad, la rentabilidad y la calidad no solo en la apariencia física del producto sino en su inocuidad ya que la aplicación de insumos agroquimicos disminuye por que se

interpone una barrera entre el medio ambiente y el cultivo lo que compensa un crecimiento mas saludable de las plantas (DANE, 2014).

2.8.Situación del cultivo del Tomate

El tomate es una de las hortalizas de mayor consumo en el mundo, con una producción mundial al año que llega a los 130 millones de toneladas (Numata & Itagaki, 2011). En años recientes, la demanda de tomate está creciendo aceleradamente no solamente en los países desarrollados sino también en los países emergentes y en vías de desarrollo ya que sus valores nutritivos demandan la atención del mundo (Numata & Itagaki, 2011). Si bien se cultiva tomate en más de cien países, tanto para consumo fresco como para industria, los diez principales productores concentran más del 70 % del total mundial, donde Colombia ocupa el puesto No. 32 (FINAGRO, 2013).

Colombia es un gran productor de Tomate ya que según estadísticas de la Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Agronet en el 2013 conto con 14.320.9 Ha dedicadas a la producción de Tomate de las cuales se obtuvo una producción de 412.351.2 toneladas ocupando el lugar número 32 a nivel mundial en cuanto a producción de Tomate de mesa fresco en áreas descubiertas y protegidas (Invernadero).

El consumo per cápita de esta hortaliza se calcula entre 11 y 12 Kg / año preferiblemente en fresco, generalmente su producción más alta está dada bajo invernadero ya que esta forma de obtención ofrece la posibilidad de programar siembras, disminuir enfermedades, contactos entomopatogenos entre otros vectores que reducen la producción (Alvarez Gomez, 2011), no obstante, no hay que dejar de lado la producción al aire libre dado que esta también es significativa sin embargo su potencial productivo se ve restringido en los monocultivos o producciones lineales convencionales ya que la aplicación de insumos químicos y limitación de otras especies genera adaptabilidad y proliferación de vectores maléficicos que impactan la cantidad y calidad del producto (DANE, 2014).

Así entonces la principal zona productora de tomate en el país está liderada por el Norte de Santander participando con el 29% del total de la producción nacional, seguido de Antioquia con 11,4%, Boyacá con 11,3%, Santander con 10,4% y Cundinamarca con el 6,5% (Nucleo Ambiental SAS - Camara de Comercio. , 2015)cómo se presenta a continuación en la Figura 7.

Capítulo III Metodología

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación se consideró de tipo descriptiva y explicativa (Abreu, 2012), se buscó identificar, cuantificar, analizar y concluir sobre la HC de dos sistemas productivos de Tomate, uno a campo abierto y el otro bajo invernadero ubicados en los departamentos de Boyacá y Santander. En cada uno de los dos sistemas de producción se evaluó todo el manejo desde su instalación hasta la finalización del ciclo productivo, se consideró la estructura de invernadero, y se evaluaron dos tratamientos de fertilización que los productores ya tenían establecidos en sus fincas donde para cada variable se hicieron 3 repeticiones en cada una de las fincas, en estos tratamientos se variaron los porcentajes de Nitrógeno (N), Fosforo (P), y potasio (K). En cada finca se denominaron estos dos tratamientos el P3 y el K3, para la finca BBI (Boyacá, Bajo Invernadero) evaluó en más altas cantidades K y N y para la Finca SCA (Santander, Campo abierto) N y P, también se tuvo en cuenta en estos tratamientos que la cantidad de producción estuviera dentro de los promedios totales de cosecha sin ser menores porque esto permitió comparar resultados productivos con respecto al programa de fertilización diseñado por la Universidad Jorge Tadeo Lozano la cual lidera este proyecto denominado ‘Desarrollo de un prototipo de sistema de soporte a la decisión para el manejo del agua y la nutrición del tomate a campo abierto y bajo invernadero’ articulándose la Corporación Universitaria Minuto de Dios con su programa de Ingeniería Agroecológica para cuantificar y analizar los impactos de la huella de carbono generada por la producción convencional de tomate a campo abierto y bajo invernadero.

3.2. Localización

Este trabajo se realizó en dos predios localizados en Boyacá y Santander en los municipios de Santa Sofía y Paramo teniendo en cuenta que esta ubicación se eligió en función del tipo de producción de Tomate a campo abierto SCA (Santander) y bajo invernadero BBI (Boyacá).

3.2.1. Marco geográfico Boyacá – Santa Sofía

El departamento de Boyacá se encuentra ubicado sobre la cordillera oriental, muy cercano a la capital Tunja, el clima predominante es frío, su economía es basada principalmente en la agricultura y la ganadería, en donde prevalecen en primer lugar los cultivos transitorios como el maíz, papa, frijol, haba, arracacha, cebolla cabezona, arveja, garbanzo, zanahoria, tomate de mesa

y cultivos perennes como manzanas, curubá, pera, durazno, uchuva, entre otros minoritarios (Alcaldía de Boyacá - Boyacá, 2012). En la actualidad la producción de tomate en Boyacá es medianamente importante y contribuye al desarrollo económico del departamento ya que en 32 municipios boyacenses se cultiva tomate que se lleva principalmente a Bogotá y diferentes partes del país, como es el caso puntual de los tomates de Sutamarchán y Santa Sofía que ya han atravesado fronteras exportando Tomate a países como Costa Rica, Panamá y México (Gobernación de Boyaca, 2013).

Ubicación Geográfica del área de estudio Municipio de Santa Sofía

Finca BBI: Esta finca se encuentra ubicada en la vía Santa Sofía – Villa de Leyva, sus coordenadas son (5.707305, -73.601287) está situada a una altura de 2347 msnm, cuenta con dos reservorios que captan el agua de lluvia recogida por los invernaderos y además uno de ellos cuenta con acceso a un nacedero de agua situado en otra finca también del agricultor, cuenta con un área total de 2 fanegadas equivalentes a 1.28 Hectáreas donde el establecimiento del cultivo del Tomate es realizado bajo invernadero y su método de producción es convencional, esta finca ha producido tomate durante 10 años sin rotación de cultivo.

3.2.2. Marco geográfico Santander - Paramo

El departamento de Santander es un departamento de Colombia localizado en la zona nororiental del país en la región Andina, según el Diagnostico de Dimensión Biofísico Ambiental Territorial de Santander 2011, el clima predominante de este departamento se ve afectado por la diversidad de altitud, la cual proporciona pisos térmicos cálidos, templados y bioclimático páramo lo cual se evidencia en sus majestuosos paisajes (Universidad Industrial de Santander - GIDROT, 2011).

La economía del departamento, es catalogada como una de las más equilibradas dada la participación en el PIB regional de las diferentes actividades del sector productivo donde el sector agropecuario participa con un 14.16% (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006), caracterizado por ser el primer productor nacional de tabaco negro, tabaco rubio, cacao, limón tahití y yuca sin demeritar también los cultivos de café, palma, tomate y frutas: (sandía, piña, mandarina, naranja) ocupando el cuarto lugar de producción de tomate (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2006) ocupando a su vez el segundo lugar en producción avícola (huevos y carne de pollo)

después de Cundinamarca, y el sexto con mayor población de ganado bovino, lo cual aporta al desarrollo económico del departamento contribuyendo al sostenimiento de familias agricultoras convencionales (Nucleo Ambiental SAS - Camara de Comercio. , 2015).

El lugar de estudio elegido en este departamento estaba ubicado en el municipio de Paramo el cual cuenta con una altura de 1440 msnm lo que promueve una variación de la temperatura media de 19°C a lo largo de la parte alta municipal y de 22°C en la parte baja a lo largo del río Fonce (Alcaldía de Paramo. Santander., 2016).

Aunque la producción de Tomate no es la más alta del municipio tampoco es la más baja dado que contribuye al sostenimiento de los agricultores y sin embargo según (Montalba, 2009) se pueden potencializar aplicando nuevos modelos productivos que maximisen la producción.

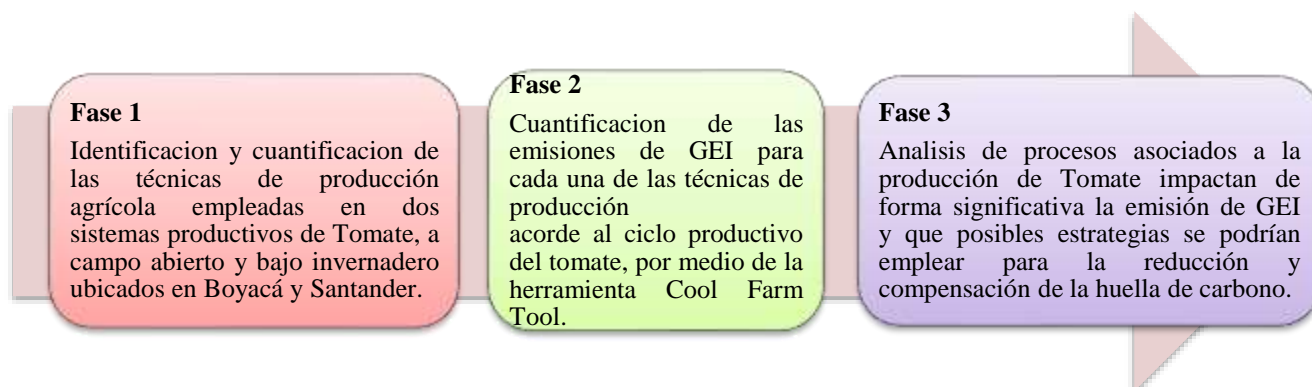
Ubicación Geográfica del área de estudio Municipio Paramo

Finca SCAA: El predio de estudio está ubicado en la vereda la Lajita en la finca el Cerco sus coordenadas son (6.4231496, -73.2025452) situado a una altura de 1.440 msnm, esta finca cuenta con un terreno semiplano de aproximadamente 30 Hectáreas de las cuales 4 se destinan solo para la producción Convencional de Tomate a campo abierto, cuenta con una fuente hídrica natural que se obtiene de la quebrada Virgen de la Salud cercana a la finca.

3.3.Fases de ejecución del proyecto

Para el desarrollo de este proyecto de investigación se tienen contempladas 3 fases de ejecución las cuales delimitan los resultados que se deben obtener acorde a los objetivos específicos planteados al inicio de la investigación las cuales serán ampliamente detalladas y explicadas a continuación:

Figura 4 Fases ordenadas para el desarrollo del proyecto.



Fuente: Elaboración propia, 2017.

Fase 1. Identificación y cuantificación de las técnicas de producción agrícola empleadas en dos sistemas productivos de Tomate asociados a la generación de GEI.

Según la revisión bibliográfica realizada, las emisiones de GEI asociadas a la agricultura son las mencionadas en la tabla 1, sin embargo, la agricultura también comprende otros ámbitos de contaminación que para efectos de esta investigación serán tenidos en cuenta como parte del Análisis de Ciclo de Vida de la producción de Tomate a campo abierto y bajo invernadero como por ejemplo el transporte.

Figura 5 Diagrama del proceso productivo convencional del cultivo de Tomate ACV



Fuente: (Núcleo Ambiental SAS - Cámara de Comercio. , 2015)

Como se evidencia en Figura 4 para la producción convencional de tomate es necesario retomar los procesos y las actividades que promueven la emisión de GEI las cuales son: Planeación (Información general del cultivo), establecimiento del cultivo (Preparación del terreno, establecimiento estructural), manejo del cultivo (Fertilización, manejo integrado de plagas y enfermedades, riego, drenaje y podas), secuestro de carbono (Cambios en el uso de la tierra, manejo de residuos), cosecha y pos cosecha (Energía usada en campo), y comercialización (Transporte), de esta manera una vez seleccionadas se contabilizan periódicamente como soporte de la medición de HC para lo cual se hace necesario explicar en detalle cómo se recolecto la información.

a. Planeación - Información general

En esta sección se identificó la información general asociada a los predios de estudio como:

- Localización (País, año, ciudad, sistema métrico),
- Área (Producto, Área de producción, cuanto producto fresco se produce en la finca, cuanto producto terminado se produce en la finca),
- Clima (sólo hay dos opciones - tropicales y templadas) Estas están atadas a sólo dos opciones por defecto de temperatura media anual que supone climas templados que tienen una temperatura media anual de 50 ° F o 10 ° C y los climas tropicales que tienen un promedio de 64,4 ° F o 18 ° C.)

Para la recolección de la información mencionada se realizaron dos visitas programadas. En la primer visita se realizó un recorrido por los predios aplicando un cuestionario no estructurado recopilando información general, antigüedad y experiencia del productor acorde al cultivo de estudio, en la segunda visita se aplicó un cuestionario estructurado el cual fue basado en los requerimientos del ACV del sistema productivo de Tomate para lo que se diseñó un formato que fue diligenciado en compañía del productor en donde se consignó toda la información general de las actividades de planeación inicial antes del establecimiento del cultivo Ítem 1 al 4 Anexo 1 Cuestionario estructurado Productor de Tomate.

b. Establecimiento del cultivo y Manejo del cultivo

En esta etapa se contemplaron las operaciones agrícolas que se llevaron a cabo en cada sistema productivo acorde al ACV como lo son definición del tipo de cultivo, tipo de suelo,

preparación del terreno e infraestructura, uso de fertilizantes, uso de pesticidas, manejo de residuos, podas y controles culturales como el riego, a continuación, se describe como se recolecto la anterior información:

Tipo de cultivo: Se aplicó el Anexo 1 con el fin de registrar la información correspondiente al cultivo de tomate de cada finca definiendo el tipo de variedad sembrada y el área destinada a su producción.

Tipo de suelo: Se aplico el anexo 1 consignando la información brindada por el agricultor (cuestionarios) acorde a su experiencia en campo, lo que fue soportado por dos análisis de suelos a cada muestra elegida por finca que enmarcan las siguientes variables: Fertilidad del suelo que incluye pH, proporciones de elementos mayores en $\text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ó ppm, relaciones catiónicas, porcentaje de agua, porcentaje de saturación, porcentaje de carbón orgánico y de materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico. Finalmente, el segundo análisis enmarco la Textura física del suelo donde se determinaron los porcentajes de arenas, limo y arcillas contenidos en las muestras elegidas, este análisis fue realizado en el laboratorio de suelos de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.

- **Método de recolección de las muestras:** La recolección de las muestras, en cada uno de los predios mencionados se realizó por medio de un muestreo aleatorio retirando la cobertura vegetal del suelo eliminando los primeros 5 cms, luego con una pala se cavo un hoyo en forma de V y se eliminó el suelo del rededor de la pala dejando un cuadro central el cual se depositó en bolsas plásticas, luego se revolviéron todas las muestras de la parcela seleccionada y de esa mezcla homogénea se obtuvo un peso de 500 gramos, este peso se empaco en bolsas de plástico especiales para suelos impermeables y se etiquetó con el nombre de la finca y demás datos relevantes, esta muestra total se conservó en un lugar fresco y se envió al laboratorio, luego de recibir los resultados se analizaron y compararon con información bibliográfica teniendo en cuenta los requisitos del cultivo de Tomate.

Preparación del terreno e infraestructura: Esta actividad es llevada a cabo por elección de los agricultores quienes de acuerdo con sus conocimientos y experiencia eligieron realizar sus

cultivos uno bajo invernadero y el otro a campo abierto cada uno acarrea gastos necesarios para su establecimiento como lo son los siguientes:

- **Campo abierto:** Material de cercado, establecimiento de estructura para el colgado del Tomate, herramientas manuales, establecimiento del sistema de riego, canalizaciones adyacentes para el deposito del agua lluvia entre otros.
- **Invernadero:** Estructura del invernadero, madera, plástico, soporterias, cuerdas establecimiento de estructura para el colgado del Tomate, herramientas manuales, establecimiento del sistema de riego, canalizaciones adyacentes para el deposito del agua lluvia entre otros, control de temperatura, ventilaciones entre otros

Uso de fertilizantes: Para la recolección de información de este ítem se aplicó el anexo 1, preguntando por los nombres, tipo y necesidad para lo cual se aplicaron los fertilizantes, la dosis o cantidad usada, periodicidad de uso y método de aplicación entre otras preguntas base que fueron soportadas con un seguimiento diario de aplicaciones analizando la incidencia de los principales nutrientes N, P, K, (anexo 3: Control de aplicaciones de fertilizantes) para lo cual se aplicó el plan de fertilización realizado por la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano de acuerdo con los requerimientos nutricionales del cultivo y análisis de suelo del área de siembra establecida; las fincas de estudio fueron comparadas por tratamientos contabilizando tres veces las mediciones, mediante el criterio de eficiencia productiva eligiendo los tratamientos que no superaban ni eran menores que el limite promedio de producción de cada finca, los cuales fueron el P3 y el K3 que para la Finca BBI evaluó en P3 nitrógeno en un 35%, fosforo en un 14% y potasio en un 50% y el K3 Nitrógeno en un 30%, fosforo en un 8% y Potasio en un 62% y para la Finca SCA en P3 Nitrógeno en un 45% fosforo en un 31% y potasio en un 24% y K3 nitrógeno en 44% fosforo en 31% y potasio en 25%, este proceso productivo en general promueve emisiones directas de óxido nitroso y metano debidas al aporte de nutrientes brindado al suelo (nitrificación y desnitrificación) por el uso intensivo de fertilizantes químicos-sintéticos sobre todo nitrogenados.

Uso de pesticidas: Se repite el mismo proceso anterior comprendiendo el anexo 1 y el anexo 4: Control de aplicaciones de pesticidas, esta planilla fue diligenciada por una persona vinculada al proyecto quien de manera ordenada registraba a diario todas las aplicaciones, este ítem

permitió contabilizar el número de veces que se aplicaron pesticidas o agroquímicos en los sistemas productivos anualmente, lo que determina la contaminación aérea por emisión de solventes, subterránea por concentraciones y sedimentación, y cuerpos de agua por lixiviación por uso de controladores de síntesis química que en algunos casos ya están prohibidos para uso comercial.

Manejo de residuos: Esta sección fue cuantificada mediante la aplicación del anexo 1 donde se indicaron valores estimados respecto a la generación de residuos en las siguientes actividades: podas, y pos cosecha mencionando el control que se les da para su disposición final, ya que estos también son generadores de emisiones de CO₂, la anterior información fue soportada cuantitativamente por el pesaje de la materia vegetal residual del cultivo la cual fue registrada en la planilla anexo 5: Manejo y control de residuos vegetales por una persona vinculada al proyecto quien de manera ordenada registraba todos los pesajes.

También se registró al final del sistema productivo el peso de la envergadura de la planta no productiva ya que también es considerada residuo vegetal y por lo tanto existe generación de emisiones de CO₂ y CH₄ por descomposición o biodegradación por la acción bacteriana, esta combinación de gases resultante se denomina gas de vertedero o biogás (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015).

Finalmente, aunque la herramienta de cálculo no contempla el manejo de residuos adyacentes a la producción vegetal de Tomate para esta investigación se cuantificaron los recursos usados para la construcción de un invernadero para un ciclo productivo de una nave de 6.8 mts de frente, 80 metros de fondo, 3,30 mts de alto y 0.60 mts a la punta de la cercha.

c. Secuestro de carbono (Cambios en el uso de la tierra, manejo de residuos): Esta sección es relevante para los productores de tomate ya que se rastrea como el uso y manejo de la tierra afecta a las emisiones totales de GEI por lo tanto es indispensable contar con la siguiente información que será recolectada aplicando el anexo 1 en su Item 6:

- Cambios en el uso de la tierra (Cualquier cambio reciente en su tierra)
- Porcentaje de campo convertido
- Si la conversión fue realizada de producción a bosque, qué tipo de bosque, edad actual del bosque

- Cambios en la administración

Cambios en la labranza, recorte de la cubierta vegetal, compost, adiciones de estiércol, incorporación de residuos

- Biomasa anual para árboles del sistema productivo

Tipo de especies arborescentes, tipo de especies arbóreas, densidad de árboles por año, densidad de este año, densidad del año pasado.

- d. Gasto energético (cosecha y poscosecha):** Esta sección incluye tanto la electricidad como el consumo de combustibles (ejemplo: electrodomésticos, vehículos entre otros generadores de CO₂) Se cuantifico el gasto energético como emisiones directas de la producción e indirectas como el transporte teniendo en cuenta que en la vivienda permanecían dos personas las cuales realizaban actividades de consumo habituales que son cuantificados a través de factores de conversión extraídos de bibliografía, para recolectar esta información se reconocieron las actividades que requieren de los dos tipos de energía diligenciando el anexo 1 Item 7, esta información fue soportada cualitativa y cuantitativamente realizando un inventario de las máquinas y equipos que la usan, y sus horas de uso para de esta manera así dirigir un control periódico que fue registrado en el anexo 8 Control periódico de uso de energía por actividad.
- e. Comercialización (Transporte):** Esta sección en la etapa de comercialización permite contabilizar el gasto energético que comprende desplazar el producto terminado a su destino de consumo contabilizando principalmente emisiones de CO₂ que se producen por la combustión de combustibles fósiles en los motores de los automóviles (Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, 2015), para lo cual es necesario aplicar el anexo 1 donde el agricultor comento que tipo de comercialización realizaba, como transportaba su producto final y por qué lo realizaba de esta manera. Una vez diligenciado el anterior anexo se hizo necesario tener un estimado de producción total Anexo 6 Cosecha, la distancia en Kilómetros recorrida (Ida y vuelta si regresa el vehículo), el tipo de vehículo en el que transporta el producto, propio o contratado, el tiempo (Ida y vuelta si regresa el vehículo) entre otros.

Fase 2. Cuantificar las emisiones de GEI para cada una de las actividades asociadas a su generación acorde al ciclo productivo del tomate, por medio de la herramienta Cool Farm Tool.

Una vez definido todo el proceso productivo y todas las actividades que generan emisiones de GEI en cada producción por tratamiento elegido se procede a cuantificar las emisiones de GEI acorde a los requisitos exigidos por la Herramienta de cálculo Cool Farm Tool ingresando los datos al software por tratamiento por finca y así poder comparar cuatro mediciones de huella de carbono para 4 tratamientos por separado. Los datos se ingresaron acorde al capítulo 2.6 Cool Farm Tool, el cual se puede apreciar en el siguiente Link: http://www.conservation.org/global/ci_south_africa/publications/Documents/cool-farm-tool.xls

Anexo 7: Software Cool Farm Tool, donde los ítems a diligenciar son los siguientes:

1. Información general: Localización, área productiva (1 hectárea como factor de comparación), producción en fresco del área establecida y el clima promedio obtenido experimentalmente.
2. Manejo del Cultivo: Se define el tipo de cultivo a evaluar que es Tomate, luego de acuerdo a los análisis de suelo obtenidos se ingresan los resultados acordes a los intervalos establecidos por la herramienta de cálculo, y posterior a esto se ingresan los fertilizantes aplicados en la producción teniendo en cuenta que fueron elegidos dos de los seis tratamientos de los agricultores aplicados en cada finca por exactitud de datos, y por sus mejores resultados productivos obteniendo que los tratamientos ampliados en esta investigación fueron el P3 y el K3 en cada uno de los casos, luego se contabiliza el número de aplicaciones de pesticidas y se ingresa sin ampliar cantidades por tratamiento, y finalmente por tratamiento se realizó un cálculo promedio de los residuos generados por planta esto basado en biometrías por cosecha durante todo el periodo productivo donde se obtiene el valor del peso de los tallos y las hojas que son los desperdicios que generalmente se obtienen del Tomate, sin embargo este último dato para la Finca BBI se afectó por que se incluyen los residuos generados por concepto de la construcción del invernadero.
3. Secuestro: Se definieron los cambios realizados al suelo en el recorrido de un año y se ingresan los datos acordes a los intervalos y opciones establecidas por el software no

olvidando que eran producciones con técnicas convencionales de obtención y que sus cambios promovían alteraciones al suelo y al ecosistema en general estos datos aplicaron para cada finca y no fueron definidos por tratamiento como en el caso del manejo del cultivo.

4. Energía usada en campo: Se contabilizó el uso de energía en la finca tanto eléctrica como de combustible aplicado a la mantención del cultivo y las personas que trabajan en el o viven en la finca, en este ítem no se contempla el uso de diesel para el transporte solo las actividades al interior de la finca.
5. Procesamiento primario: No se realiza procesamientos primarios de ningún tipo.
6. Transporte: En este Ítem se realizó un cálculo promedio de acuerdo al peso de cosecha que se carga en cada viaje en un camión colocando entonces el peso transportado, los kilómetros recorridos, el tipo de vehículo y se describe si el vehículo regresa o si solo se realiza un viaje por comercialización.

Una vez se ingresan todos los datos solicitados por la Guía del Software Cool Farm Tool se obtiene un estimado de las emisiones netas de GEI de cada finca de estudio por tratamiento, es decir, se ingresan los datos de cada una de las fincas para cada uno de los tratamientos elegidos (P3 y K3) de los agricultores para un total de 4 calculadoras de medición de HC, lo cual permite dar inicio a la Fase 3.

Fase 3. Análisis de procesos asociados a la producción de Tomate impactan de forma significativa la emisión de GEI y que posibles estrategias se podrían emplear para la reducción y compensación de la huella de carbono

Una vez obtenidos los resultados de la cuantificación de la huella de carbono de los cultivos de tomate de los dos predios descritos se procede a analizar los resultados entre los sistemas productivos, los tratamientos y posteriormente se compara con las emisiones de CO₂ generadas por otro tipo de producciones agrícolas como maíz, papa, entre otros que ya hayan realizado previamente un análisis de huella de carbono con el fin de contrastar los resultados obtenidos y evidenciar el impacto generado por la producción agrícola convencional y así de esta manera una vez identificadas las técnicas de producción que generan mayor cantidad de GEI en la producción convencional de Tomate, se compararan estas técnicas cualitativamente con las empleadas en una

producción agroecológica recopilando información bibliográfica para evidenciar a grandes rasgos las diferencias de los sistemas en cuanto a producción baja y alta de carbono, teniendo en cuenta los mismos parámetros de comparación exhibidos en esta fase.

Capítulo IV Resultados

4. Fase 1: Descripción detallada de los sistemas productivos

4.1. Finca BBI (Boyacá, Bajo Invernadero)

a. Información general

La finca Palo negro denominada para esta investigación como **BBI** se encuentra ubicada en la vía Santa Sofía – Villa de Leyva, sus coordenadas son (5.707305, -73.601287) situada a una altura de 2347 msnm, es una finca de un área de 1,28 hectáreas, compuesta por invernaderos de producción activa y constante de tomate, cuenta con un reservorio de agua, vivienda y el cuarto de máquinas donde se mantiene activa la electrobomba que bombea el agua de los sistemas de riego. Esta finca cuenta con una unidad familiar de 2 personas quienes coordinan las actividades de producción continua de Tomate sin rotación de cultivo desde hace aproximadamente 10 años. En esta investigación se abordó la información de uno de los invernaderos de producción de tomate con un área de 0.28 hectáreas en el cual se estaban evaluando 2 tratamientos de fertilización, en los que se evaluaron diferentes contenidos de potasio y fosforo.

b. Suelo

Una vez es destinada el área de producción del cultivo se analizaron las condiciones del sustrato mediante dos análisis de suelo en los que se evaluó la Fertilidad y Textura (Anexo 11); obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 1: Resultados Análisis de Suelos Fertilidad y Textura.

	Tipo de análisis	Resultado obtenido	Interpretación
	Fertilidad ó Textura		
Fertilidad	pH	6.9 en agua	Neutro lo que permite una mayor asimilación de Fosforo y de nitrógeno por su estrecha relación con la mineralización de la materia orgánica
	Nitrógeno	138.5 mg*Kg ⁻¹ ó ppm	Optimo
	Fosforo	344 mg*Kg ⁻¹ ó ppm	Alto
	Potasio	588 mg*Kg ⁻¹ ó ppm	Optimo

	MO	2.16%	nivel de MO normal probablemente porque no es un suelo tan joven.
Textura	Arena	29.6%	Textura franco-limosa lo que indica que es un suelo que posee buena penetración y retiene bien el agua y los nutrientes (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Centro de Biosistemas, 2015).
	Arcilla	8.8%	
	Limo	61.6%	

Fuente: Recopilado de (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Centro de Biosistemas, 2015), adaptado por autor.

Una vez obtenida la información sobre el suelo se definió el método de laboreo del mismo el cual fue realizado con un tractor de 90 Hp (Caballos de fuerza), con rastra de disco durante aproximadamente 1 hora que equivale al área mecanizada este laboreo corta, vuelca, mezcla y afina el suelo, dejándolo susceptible a la erosión, sobre todo cuando existe una pendiente de magnitud considerable como la presentada en esta finca (Alvarado, 2006).

c. Establecimiento del cultivo

El establecimiento del cultivo inicio definiendo la estructura para la siembra, la variedad de tomate a sembrar, y la cantidad de riego suministrado lo cual fue determinado por el agricultor quien ha manejado una producción continua de Tomate bajo invernadero.

Se instalaron 5 Naves tipo capilla en madera de ancho 35m y largo 80m, de altura bajo la canal 4m, de altura bajo la canal fachada 2,5m donde se establecen las dimensiones de los cuadros de 4.5m x 7m con una altura desde las canales hasta la punta del invernadero de 1,8m y ventilación de 0,3m. Una vez establecida la estructura de protección del cultivo se realizaron los cálculos pertinentes para hallar la densidad de siembra del área contemplada de la siguiente manera:

Distancia entre plantas: 0,3m; Distancia entre surcos: 1m; Número de surcos: 18; Longitud surco: 33m

Densidad de siembra en un metro cuadrado es de = 3.33 metros; Plantas por Hectárea: 33.300; Plantas por área total: 9.324

Una vez preparado el suelo con el tractor, se realiza el surcado y el establecimiento del sistema de riego por goteo acorde a las distancias entre plantas, surcos y goteros mencionadas anteriormente, se estableció este tipo de sistema de riego por ahorro de agua y eficiencia para el cultivo y debía corresponder con el ahoyado manual donde se sembraron las plántulas de Tomate cada 10 cm, el agua de este sistema se obtenía de dos formas una eran dos reservorios que captaban el agua lluvia recogida por los invernaderos y la otra era el acceso a un nacedero de agua situado en otra finca también del agricultor.

Para la siembra se hizo necesario adquirir las plántulas de Tomate la variedad elegida fue Libertador – Tomate Chonto Híbrido. El trasplante fue realizado el día 28/01/2016, posterior a la siembra se da inicio con el registro diario del uso de agua para riego por parte de un colaborador integrante del proyecto de investigación quien contaba con inmersión de tiempo completo, el riego suministrado para esta finca fue de 155,803 litros por planta lo anterior se registró a diario en el Anexo 2 Riego por planta.

d. Manejo del cultivo y fertilización

Una vez establecido el cultivo se inicia el registro de las prácticas culturales esenciales para el sostenimiento de la producción como Nutrición – fertilización, podas, aporque y tutorado, control de malezas, control de plagas y enfermedades y manejo de residuos.

Se evaluó un plan de fertilización realizado por la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano de acuerdo con los requerimientos nutricionales del cultivo y análisis de suelo del área de siembra establecida (Invernadero). Inicialmente se aplica una fertilización de fondo o fertilización de presembrado con el ideal de fortalecer y equilibrar las condiciones del suelo para lo que aplicaron 10 Kilogramos de Hidrocomplex (N 12.4%, P₂O₅ 11.4% y K₂O 17.7%) y 900 de Fertisol (P₂O₅ 2.86%, K₂O 2.00% y CaO 16.3%) por el área experimental con el fin de ampliar la capacidad de retención y aprovechamiento de nutrientes por parte del cultivo (Molina, 2016) esta fertilización fue aplicada de manera sólida el 26/01/2016, luego se esperó aproximadamente un mes después y se procedió a aplicar la fertilización de mantenimiento que para esta finca constaba de 2 tratamientos denominados P3 y K3 su objetivo era evaluar potasio y nitrógeno sin depreciar el uso de fósforo que aunque fue menor su aplicación para los tratamientos con respecto al K y N uno

conto con un mayor contenido de fosforo que el otro. A continuación, se presenta el registro de aplicaciones por planta durante todo el ciclo del cultivo:

Sumatorias en kilogramos por planta por tratamiento									
Tto	Actisol.g	Map.g	Nitrato calcio.g	Sulfato potasio.g	Hidro complex	Fertisol	N	P	K
P3	2,924	3,208	15,408	10,164	0,00119	0,107142	0,011228	0,004504	0,01591
K3	1,93	2,098	17,034	15,528			0,011664	0,00314	0,024665

Tabla 2 Sumatoria total de Kilogramos por planta de fertilizantes Finca BBI.

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 3. 2017 adaptado por Autor

Como se evidencia en la tabla 3 las mayores aplicaciones de fertilizantes Actisol y MAP se presentaron para el tratamiento P3 correspondiendo con la etapa de crecimiento de la planta para cuando se necesita mayor disponibilidad de nutrientes NPK, disponibilidad de humedad y abastecimiento de agua para las plantas, a su vez se evidencio que la mayor aplicación de Nitrato de calcio y Sulfato de potasio fue realizada para el tratamiento K3 correspondiendo con la etapa de crecimiento foliar, generación de fruto y llenado de fruto necesidades específicas para las cuales son adquiridos estos fertilizantes, así entonces el tratamiento que más proporciona nitrógeno y potasio es el K3 y fosforo el P3.



Figura 6 Cultivo de Tomate Finca BBI.

Fuente: Autor. 2017.

Además de la fertilización se realizaron labores como las podas manuales y el control de arvenses para evitar que se generaran microclimas favorables para plagas y enfermedades estas se

realizaron de manera manual. Los residuos aquí generados fueron acumulados en montones adentro de la finca sin realizarles ninguna intervención.

- e. Control de Plagas y enfermedades:** Se realizaron aplicaciones preventivas y correctivas en cada una de las etapas fenológicas del cultivo lo cual fue registrado en el Anexo 4 Control de aplicaciones de pesticidas. En esta finca se controló la presencia de los siguientes organismos:

Insectos	Control químico Insecticidas	Dosis de aplicación
Mosca blanca <i>Trialeurodes vaporariorum</i> (West)	Evisect 50 SP Engeo, Geminis – Tempano, Confidor	6 gr 15 ml 15 ml y 30 ml etapa final
Gusano cogollero <i>Tuta scrobipalpula absoluta</i> (Mayrick).	Tracer 120 SC	45 ml
Enfermedades	Control químico Fungicidas	Dosis de aplicación
Mildeo ó Tizón tardío <i>Septoria sacc</i>	Azuco	25 ml
Fumagina <i>Cladosporium link</i>	Carbedazin 50 Mancozeb 80	40 cc 100 gr

Tabla 3 Control de Plagas y enfermedades de manera química (Convencional)

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 4. 2017.

- f. Manejo de Residuos:** Los residuos de las podas y control de malezas como arvenses que corresponden a residuos ordinarios u orgánicos son almacenados en montones o pilas sin tratamiento dado que no se incorporaron porque este era uno de los controles culturales que contemplaba el agricultor ya que él considera que los residuos vegetales conservan las plagas y las enfermedades.

La información extraída de los pesos de residuos fue registrada mediante Biometrías periódicas las cuales fueron realizadas por tratamiento para evidenciar si las aplicaciones de los fertilizantes si generaban diferencias significativas en la producción de hojas y tallos

que generalmente son los desperdicios vegetales de una producción de Tomate en fresco los anteriores resultados fueron registrados en el Anexo 5 Manejo y Control de residuos.

Residuos Finca BBI			
Total, kg/planta		Total, kg/ha	
P3	K3	N° Plantas/Ha: 33300	
P3	K3	P3	K3
0,664051	0,59817	22112.8983	19919.061

Tabla 4 Control de Residuos Biometrías Finca BBI.

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 5. 2017.

Como se evidencia en la tabla 5 el tratamiento que más genera residuos de hojas y tallos es el P3 dado que en este se aumenta la aplicación de fosforo que favorece el crecimiento de hojas, raíz y reproducción de la planta. No se incorporan residuos a la producción, se amontonan en su totalidad y son exportados fuera de la finca. Adicional a estos se contemplan también los residuos de la instalación de infraestructura a pesar de que el software especifica que solo se tengan en cuenta exclusivamente los residuos de la producción vegetal que quedan luego de la cosecha, para esta cuantificación es necesario tener en cuenta los recursos utilizados para su establecimiento:

Plástico: 1134.92 metros cuadrados peso → 86.25 Kilogramos

Madera curada: 148 Estacones peso → 7437 Kilogramos

Concreto: 42 cubos concreto → 3084.06 Kilogramos

Alambre: 8.16 kilogramos

Grapas: 0.5 kilogramos

Total, de residuos en 544 m2 (1 nave) → 10615.97 Kg

Total, de residuos en 10000 m2 195146.50 Kg/Ha

De esta manera se cuantifican los residuos que genera la construcción de un invernadero y cuantas emisiones adicionales se generan por su establecimiento, teniendo en cuenta también el transporte de los materiales desde Bogotá hasta la finca dando un total de 149.6 Km en valores aproximados.

- g. Cosecha:** La cosecha se realizó manualmente, el control de la cosecha fue registrado periódicamente en el Anexo 6, con la finalidad de evidenciar diferencias significativas en la producción de fruto para verificar si fue eficiente la aplicación de fertilizantes en diferentes proporciones como se presenta a continuación:

Cosecha Finca BBI	
Tratamientos elegidos	Peso cosechado kg/planta
P3	2,372
K3	2,412

Tabla 5 Consolidado de cosecha por tratamiento Finca BBI.

Fuente: Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 6. 2017 adaptado por Autor

Del anterior consolidado se evidencia que el tratamiento K3 fue el mas efectivo produciendo 22489.4 Kilogramos de Tomate por el area experimental dado que en este se aumenta la aplicación de Potasio que favorece el crecimiento radicular, de fruto, su llenado, el aumento de la resistencia a la sequía y heladas entre otros beneficios (SQM The worldwide business formula , 2006).

- h. Comercialización – Transporte:** La comercialización total del Tomate es llevada a cabo en la Corporación de abastecimiento de Bogotá Corabastos, la distancia recorrida desde el predio hasta el punto de comercialización es de 192 Kilómetros lo que de acuerdo con la información satelital brindada por Google Maps indica un tiempo de recorrido de 3.38 horas. El propietario disponía de un camión con capacidad de 6 toneladas, para realizar los trasportes de comercialización que se realizaban asociaciones con otros productores aledaños esperando a completar el tope de carga para pagar solo un viaje de comercialización. Se registraron 24 viajes de comercialización con un total de 4608 kilómetros recorridos.

i. Gasto energético

Inicialmente se realizó un inventario de las máquinas y equipos e incluso aquellas actividades que necesitan de la energía eléctrica para ser ejecutadas y a partir de factores de conversión planteados en el Informe sobre el uso inteligente de la energía eléctrica de la Empresa

de Servicios Públicos de Colombia EPM 2011 se cuantifico el consumo energético con excepción de la electrobomba de ½ Hp (Caballos de fuerza) que se trabajó con otra base de información para su conversión (Grupo Industrial Bonaza.). A continuación, se presenta el inventario de consumo energético realizado para la Finca BBI:

Inventario de equipos de consumo de energía Finca BBI									
Maquinas equipos	Descripción	Cant.	Consumo en kwh/mes	Consumo en kwh/mes total	Tiempo de uso hrs/mes	Personas	Meses produc.	Total kwh/mes	
Bombillos	Bombillo 60 watts	10	7,2	72	120	2	4	288	
Televisor	Televisor 20 pulgadas	1	13,5	13,5	180	2	4	54	
Equipo de sonido	Equipo de sonido mediano	1	9	9	60	2	4	36	
Licudadora	Licudadora básica preparación de alimentos	1	6	6	15	2	4	24	
Nevera	Enfriamiento y mantenimiento de alimentos	1	54	54	300	2	4	216	
Cargador para celular	Transmisión de carga eléctrica para celulares	2	0,192	0,384	16	2	4	1,536	
Electrobomba 1/2 hp	Se usaba en la finca para realizar el bombeo del agua de riego	1	0,368	0,368	34,35	0	4	12,6408	
Total								632,1768	

Tabla 6 Consumo energético BBI (Eléctrico).

Fuente: Elaboración propia. 2017.

A su vez seguido al consumo eléctrico se cuantifico el consumo de combustible fósil teniendo en cuenta que las emisiones generadas por el uso de este tipo de combustibles son generalmente las más nocivas para el medio ambiente, en el caso de esta finca utilizaban gas propano para la cocción de alimentos (Cocina) y Diesel para la preparación del suelo por el tractor y los viajes de comercialización realizados por un Camión de capacidad de 6 toneladas esta información de consumo fue extraída en su mayoría de bibliografía como es el caso del consumo de gas propano ya que de acuerdo con los Tips de uso inteligente de la Empresa de Servicios

Públicos de Colombia EPM, 2017 una persona consume en promedio 4 metros cúbicos de gas natural al mes, así mismo el consumo de combustible de un tractor Kubota 9000 de 90 Hp que de acuerdo al artículo de investigación realizado por (Velasco & Gonzalez) se estima un consumo promedio de 0,16 litros/hora por cada HP de potencia del tractor o maquinaria, finalmente asemejando las características del camión al cual accede el propietario de la finca para comercializar su producción, se tomo entonces como base la publicación realizada por Agroconsultas Online (pagina web de referencias bibliograficas sobre investigación en el area agropecuaria) en la que referencia datos reales del consumo de combustibles en motores diesel donde la Maquina M3200 Motor Deutz BL 6L 913 era la que mas se asemejaba a las características del camión mencionadas por el agricultor (Agroconsultas Online, 2007), a continuación se presentan los resultados obtenidos del consumo de combustibles en la finca:

Consumo de combustibles Finca BBI									
Maquinas equipos	Actividad de consumo	Personas	Área trabajada	Und	Tipo de combustible	Cantidad usada	Und	Consumo total	Und
Estufa	Cocinar	2	0	N/A	Gas propano	4	m3	32	m3
Tractor	Preparación del suelo	0	0,28	Ha	Diesel	14,4	Lts/H	14,4	Lts/H
Camión	Comercialización del producto	0	Recorrido de 192 Km por viaje. En total se realizaron 24 Viajes	Km	Diesel	147,84	Lts	3548.16	Lts

Tabla 7 Consumo energético BJ. (Consumo fósil). (Autor)

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 1 y material bibliográfico. 2017.

Como se denota en las tablas 7 y 8 de consumo energético en esta finca se presenta un alto consumo eléctrico dado que el sistema de riego es impulsado a diario por una electrobomba de ½ Caballo de fuerza (Hp) sumado a los consumos eléctricos habituales de dos personas, así mismo se evidencia que el consumo de combustible fósil fue mediano dado que el uso del tractor se realizó una sola vez mientras que los viajes de comercialización y transporte fueron 24 acorde a la cantidad

de tomate cosechado el cual recorría 192 Km hasta su destino en la Corporación de Abastecimiento de Bogotá – Corabastos.

4.1.1. FINCA SCA

a. Información general

La finca El cerco denominada para esta investigación SC se encuentra ubicada entre la vía paramo socorro, sus coordenadas son (6.4231496, -73.2025452), está situada a una altura de 1550 msnm, es una finca con un área total de 30 Ha, compuesta por potreros cercados y su casa, el agricultor inició con la producción de Tomate hace un año. Esta finca cuenta con una unidad familiar de 4 personas quienes coordinan las actividades de producción. En esta investigación se abordó solamente la información de la producción de tomate en el área destinada de 4 hectáreas para la cual se diseñaron e implementaron 2 tratamientos de seguimiento y aplicaciones fluctuantes de fertilización.

b. Suelo

Una vez es destinada el área de producción del cultivo se analizaron las condiciones del sustrato mediante dos análisis de suelo en los que se evaluó la Fertilidad y Textura (Anexo 11); obteniéndose los siguientes resultados:

	Tipo de análisis	Resultado obtenido	Interpretación
Fertilidad ó Textura			
Fertilidad	Ph	6,6	Neutro lo que permite una mayor asimilación de Fosforo y de nitrógeno por su estrecha relación con la mineralización de la materia orgánica
	Nitrógeno	19,5 mg*Kg ⁻¹ ó ppm	Deficiente
	Fosforo	7 mg*Kg ⁻¹ ó ppm	Deficiente
	Potasio	76 mg*Kg ⁻¹ ó ppm	Deficiente
	MO	4,83%	Nivel de MO Alto según Pavón Chocano, 2003, dado que no es un suelo constantemente labrado.

Textura	Arena	31,3%	Textura Franco limosa lo que indica que es un suelo que posee buena penetración y retiene bien el agua y los nutrientes. Su fertilidad natural va de media a alta. Se pierde poca agua y nutrientes por lixiviación (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Centro de Biosistemas, 2015).
	Arcilla	13,2%	
	Limo	55,5%	

Tabla 8: Resultados Análisis de Suelos Fertilidad y Textura.

Fuente: Recopilado de (Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Centro de Biosistemas, 2015), adaptado por autor.

Una vez obtenida la información sobre el suelo se definió el método de laboreo del mismo el cual fue realizado con un tractor de 90 Hp (Caballos de fuerza), con rastra de disco cruzado durante aproximadamente 28 horas que equivalen al área destinada para la siembra del cultivo.

c. Establecimiento del cultivo

El establecimiento del cultivo inicio con la organización para la siembra, esta fue establecida determinado por el agricultor:

Distancia entre plantas: 0,8m; Distancia entre surcos: 1,4m; Número de surcos: 18;

Longitud surco: 20m

Densidad de siembra en un metro cuadrado es de = 0,89 m; Plantas por Hectárea: 8928,5

Plantas por área total: 35714

Posteriormente se realiza el surcado y el establecimiento del sistema de riego por goteo, el agua de este sistema se obtenía de dos formas una era de una quebrada cercana a la finca y la otra era agua lluvia dado que este cultivo era a campo abierto. El agua suministrada por planta al día fue de 0,445 litros en promedio, para un total de 42,243 litros por planta menor cantidad de agua que en la Finca BBI, también se contabilizaron aforos de agua lluvia lo que correspondió a un promedio de 3.57 litros por planta al día cuando llovía para un total de 339.4 litros por planta lo que represento un ahorro de agua.

Para la siembra se hizo necesario adquirir las plántulas de Tomate, la variedad elegida fue DRD 8551 Hibrido (Monsanto), el trasplante fue realizado el día 27/01/2016.

d. Manejo del cultivo y fertilización

Una vez establecido el cultivo se inicia con el registro de las prácticas culturales esenciales para el sostenimiento de la producción las cuales son Nutrición – fertilización, podas, aporque y tutorado, control de malezas, control de plagas y enfermedades y manejo de residuos.

Se aplicó una fertilización de fondo con el ideal de fortalecer y equilibrar las condiciones del suelo para lo que aplicaron 489.277.885.7 Kilogramos de Triple 15 (N-15%, P-15%, K-15%) y 29.599.763.2 Kilogramos de DAP (N-18%, P2O5-46%) para el área experimental con el fin de contrarrestar las deficiencias presentadas en el análisis de suelos. Esta fertilización fue aplicada el 15/01/2015 de manera sólida Triple 15 y líquida diluida en bomba de espalda DAP.

Una vez aplicada la fertilización de fondo se espera aproximadamente 1 mes después y se procede a aplicar la fertilización de mantenimiento que para esta finca constaba de 2 tratamientos denominados P3 y K3 presentan variaciones de fosforo y potasio, lo anterior fue registrado a diario en el Anexo 3 Control de fertilización donde se presentan las aplicaciones diarias de fertilizantes por planta. A continuación, se presenta el registro de aplicaciones por planta durante todo el ciclo del cultivo:

Sumatorias en kilogramos por planta por tratamiento								
Tto	Dap+fondo	Nitron	Kcl	Nitracalcio	Triple 15	N	P	K
P3	0,8512	0,0072	0,0321	0,0292	1,5344	0,347798	0,244709	0,18655
K3	0,8437	0,0088	0,0482	0,0355		0,347575	0,243211	0,194568

Tabla 9 Sumatoria total de Kilogramos por planta de fertilizantes Finca SCA.

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo Autor.

La mayor aplicación de fertilizante DAP se presentó para el tratamiento P3 correspondiendo con la etapa de crecimiento de la planta, así mismo la mayor aplicación de KCL Cloruro de potasio se presentó para el tratamiento K3 coincidiendo con el periodo de formación y llenado del fruto favoreciendo el sabor y color del mismo brindando una alta resistencia al estrés hídrico (ICL Fertilizers, s.f.) en esta finca las aplicaciones de fertilizantes fueron dirigidas básicamente a

aumentar la disponibilidad de Nitrógeno y fosforo dado para promover el crecimiento de raíces, tallos, hojas entre otras estructuras de la planta que favorecen la resistencia de la planta favoreciendo la absorción, transporte de nutrientes, y transferencia de energía (International Plant Nutrition Institute-IPNI). En esta finca no se efectuaban podas regularmente y el control de arvenses se realizaba en un 70% por medio de control químico puesto que en esta finca no se contaba con personas entrenadas para la realización de las podas.



Figura 7 Cultivo de Tomate Finca SCA.

Fuente: Autor.

- e. **Control de Plagas y enfermedades:** Para el control de organismos patógenos se realizaron aplicaciones preventivas y correctivas en cada una de las etapas fenológicas del cultivo lo cual fue registrado en el Anexo 4 Control de aplicaciones de pesticidas. En esta finca se controló la presencia de las siguientes especies tanto plagas como enfermedades:

Insectos	Control Químico	Dosis de aplicación
Mosca blanca <i>Trialeurodes vaporariorum</i> (West)	Confidor	550 cc
Gusano cogollero <i>Tuta scrobipalpula absoluta</i> (Mayrick).	Pirestar 38 EC,	1100 cc
	Padan	250 gr
	Confidor	550 cc
Pulgón <i>Aphis gossypii</i> , <i>Myzus persicae</i>	Confidor	550 cc
Enfermedades	Control Químico	Dosis de aplicación
Tizón tardío <i>Septoria sacc</i>	Rodhax 70 WP	500 y 2750 cc

	Prevalor	2750 cc
Mildeo Velloso	Prevalor	2750 cc
Gota <i>Phytophthora infestans</i>	Imperio	200 cc
	Rhapsody	5250 cc
Mancha bacteriana <i>Xanthomona vesicatoria</i>	Cobrethane,	
Macha de la hoja	Prevalor	2750 cc
Maleza de la hoja ancha Gramíneas anuales o perennes	Sencor	SC, 100 cc
	Roundap	8000 cc

Tabla 10 Control de Plagas y enfermedades de manera química Finca SCA (Convencional).

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 4. 2017.

Es importante mencionar que como se evidencia en la tabla 10 esta finca a diferencia de la finca anterior, aunque en cantidad o número de aplicaciones de agro tóxicos fue menor usaban productos que incluían un mayor control de plagas y enfermedades por que al no estar protegido ante el medio ambiente este era más vulnerable al ataque de estos vectores que ocasionaban perdidas productivas al cultivo, el ideal era usar un producto que controlara varios vectores.

- f. **Manejo de Residuos:** el manejo de los residuos fue realizado de la misma manera que en la finca SJ, la información extraída de los pesos de residuos fue registrada mediante Biometrías en el Anexo 5 Manejo y Control de residuos lo que se presenta a continuación:

Residuos Finca SCA			
Total, kg/planta		Total, kg/ha	
P3	K3	N° plantas/Hectárea: 8928	
P3	K3	P3	K3
1,109826	0,956808	9908,526528	8542,381824

Tabla 11 Control de Residuos Biometrías Finca SCA.

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 5. 2017.

A diferencia de la Finca BBI se presentó una menor cantidad de residuos para el tratamiento P3 que para el K3 lo que corresponde con las altas aplicaciones de Nitrógeno que favorecen el crecimiento foliar y de envergadura de la planta, como del fosforo que favorece la formación de

nuevas y resistentes raíces, la producción de semillas, frutos y flores (International Plant Nutrition Institute-IPNI). Importante resaltar que los residuos generados se empleaban en los surcos para proteger el suelo.

- g. Cosecha:** La cosecha se realizó manualmente y fue registrada periódicamente en el Anexo 6, los resultados generales como se presentan a continuación:

Cosecha Finca SCA	
Tratamiento	Peso cosechado kg/planta
P3	2.106
K3	2.048

Tabla 12 Consolidado de cosecha por tratamiento Finca SCA.

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 6. 2017.

Del anterior consolidado se evidencia que la cosecha en la Finca SCA el tratamiento P3 fue el mas efectivo produciendo 2.106 Kilogramos de Tomate por planta probablemente por sus mayores aplicaciones de nitrógeno y fósforo.

h. Comercialización – Transporte:

La comercialización total del Tomate es llevada a cabo en varios destinos de la siguiente manera:

Recorrido de comercialización km	Tiempo de recorrido (# horas)	Distancia recorrida en km por viaje
Paramo - san gil	0.34	19.9
Paramo – turbo	16.32	836
Turbo – Bogotá	14.25	755
Turbo – Duitama	17	799
Turbo - Bucaramanga	14.5	726
Turbo – Cúcuta	17.2	1342
Totales	79.61	4477.9

Tabla 13 Viajes de comercialización Finca SCA. Autor.

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 7. 2017.

Como se evidencia en la tabla 25 en la Finca SCA se realizaban distintos viajes de comercialización que partían de Paramo hacia San Gil luego hacia Turbo y de este a Bogotá, Duitama, Bucaramanga y Cúcuta recorriendo 4.477,9 Kilómetros por viaje. Para esta finca se realizaron 68 viajes de comercialización de acuerdo con la información suministrada por el agricultor y las fechas de cosecha registradas en el Anexo 6, el transporte se manejó de la misma forma que en la finca SJ.

i. Gasto energético

Una vez descrita la finca se hace necesario realizar una cuantificación del gasto energético teniendo en cuenta que en esta permanecían también permanecían 4 personas al igual que en la finca SJ, a continuación, se presenta el inventario de consumo energético realizado para la Finca SCA:

Inventario de equipos de consumo de energía al interior de la Finca SCA								
Maquinas equipos	Descripción	Cant.	Consumo kwh/mes	Consumo kwh/mes total	Tiempo uso (hrs/mes)	Personas	Meses	Total kwh/mes
Bombillos	Bombillo 60 watts	142	7.2	1022,4	120	16	3	3067,2
Televisor	Televisor 20 pulgadas	2	13.5	27	180	16	3	81
Equipo de sonido	Equipo de sonido mediano	2	9	18	60	16	3	54
Licuadaora	Licuadaora básica para preparación de alimentos	1	6	6	15	16	3	18
Nevera	Enfriamiento y mantenimiento de alimentos (refrigeración)y	1	54	54	300	16	3	162
Cargador para celular	Transmisión de carga eléctrica para celulares	15	0.192	2,88	16	16	3	8,64
Total								3390,84

Tabla 14 Consumo energético SC (Eléctrico).

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo. 2017.

A su vez seguido al consumo eléctrico se cuantifico el consumo de combustible fósil en el caso de esta finca utilizaban gas propano para la cocción de alimentos (Cocina) y Diesel para la preparación del suelo por el tractor y los viajes de comercialización lo anterior mencionado fue calculado aproximadamente con los datos brindados por el agricultor y la bibliografía encontrada los resultados obtenidos se presentan a continuación:

Consumo de combustibles al interior de la Finca SCA									
Maquinas equipos vehículos	Actividad de consumo	Personas	Área trabajada	Und	Tipo de combustible	Cant. usada	Und	Consumo total	Und
Estufa	Cocinar Se usaba en la finca para	16	0	N/a	Gas propano	4	M3	192	M3
Motobomba 10 hp	realizar el bombeo del agua de riego	0	4	Ha	Diesel	180	Gal/90 días	680.4	Lts
Tractor	Preparación del suelo	0	4	Ha	Diesel	14.4	Lts/h	403.2	Lts/28h
Moto	Recorrido por la finca	1	4	Ha	Gasolina	12.85	Gal/90 días	48.57	Lts
Camión	Comercialización del producto	0	Exterior finca recorrido de 9 km por viaje. En total se realizaron 68 viajes	Km	Diesel	3442.98	Lts	234122,64	Lts

Tabla 15 Consumo energético SC. (Consumo fósil). (Autor).

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados del anexo 8. 2017.

Como se denota en las tablas 14 y 15 de consumo energético en esta finca se presenta un consumo eléctrico de 3390,84 Kwh menor a la Finca BBI por que disminuye el tiempo de producción de 4 a 3 meses, por otro lado los consumos de combustible fósil aumentaron dado que se usó una motobomba de 10 Hp para el impulso del riego, una moto para realizar el recorrido al predio, gas propano para la cocción de alimentos (mientras que en la anterior finca usaron leña) y los viajes de comercialización y transporte que fueron 68 siendo la mayor cantidad de transporte

registrada, todas estas descripciones indican que al aumentarse variables de consumo de combustible aumentara el gasto energético de la finca teniendo en cuenta que esta fue el área de producción más grande a comparación de las demás.

Finalmente, una vez obtenida toda la información por aplicaciones efectivas por planta se genera una comparación entre fincas por una misma unidad de área, en este caso 1 Hectárea para posteriormente ingresarlo a la calculadora de emisiones de CO₂ Eq y comparar:

RESUMEN COMPARATIVO POR SISTEMA PRODUCTIVO		Finca BBI Invernadero		Finca SCA Campo abierto	
Área	Producto	Tomate chonto		Tomate DRD	
	Área productiva	1 hectárea		1 hectárea	
	Producto por área de producción Kg/Hectárea	468098,1		108552,703	
	Producto por tratamiento elegido P3 y K3 en Kg/Ha	P3	78987,6	P3	18803,421
		K3	80319,6	K3	18285,568
Clima	Temperatura bibliográfica	Frio		Cálido	
	T° media experimental Grados centígrados	17.30 °C		20.43°C	
Suelo	Textura	Franco Limoso		Franco Limoso	
	Materia Orgánica	2,16%		4,83%	
	Humedad del suelo	0,02%		3,50%	
		Seco		Húmedo	
	Drenaje	Bueno		Bueno	
pH	6,9		6,6		
Pesticidas	Numero de aplicaciones	20		11	
Residuos generados	Cantidad por finca Kg/Hectárea	122678,29		54077,63	
		P3	22112,8983	P3	9908,526528
		K3	19919,061	K3	8542,381824
	Cantidad por tratamiento Kg/Hectárea	No se incorporan residuos a la producción, amontonan en su totalidad		Algunos residuos se colocan en la calle de surca para proteger el suelo	

Secuestro de carbono	Se reportan cambios en el manejo del suelo	No se presentan cambios producción intensiva	Se presenta un cambio de producción de ganado a agrícola hace un año		
Consumo energético	Electricidad Kwh/mes	1438,81	1069,63		
	Combustibles	Diesel Lts	51,42	213,3	
		Gasolina Lts	0	12,14	
		GasP M3	64	48	
Transporte - comercialización	Distancia en Km por viaje	192	4477,9		
	Cantidad de viajes por Tto	P3	14	P3	3
		K3	13	K3	3

Tabla 16 Resumen de Información general comparativa de cada sistema productivo por ítem analizado.

Fuente: Elaboración propia con datos recopilados de todos los anexos informativos. 2017.

En la tabla 16 se presenta un comparativo entre las dos fincas por una misma unidad de área (Hectárea) donde correlacionando los valores se denota que la producción de la Finca BBI se instaló bajo invernadero con mayor control de residuos y protección ante el medio ambiente, mientras que la Finca SCA se estableció a campo abierto con menores controles culturales lo que promovía una menor producción que sin embargo no estaba solamente influenciada por su diseño e instalación, sino que también el clima era una variable que denoto diferencias susceptibles, como por ejemplo, en la Finca BBI el clima predominante era frío sin embargo al estar protegido el cultivo por el invernadero la temperatura que se conservaba al interior cumplía con las necesidades del cultivo que eran entre 16 y 20°C para las noches y para el día 22 y 30 °C, mientras que la Finca SCA conto con una temperatura media de 20.43°C que aunque se encuentra en los parámetros bibliográficos de cumplimiento para el cultivo las diferencias de temperatura entre el día y la noche generan mayor susceptibilidad al ataque de microorganismos patógenos (Escobar & Lee, 2009), por lo que en esta última se implementó el uso de agroquímicos fuertes, de alta concentración como el Sencore y Roundap que son nocivos también para la salud humana. En la Finca BBI las aplicaciones de agroquímicos fueron más altas dado que el agricultor estaba acostumbrado al uso de estos por su alto rendimiento productivo y experiencia de más de 10 años.

Así mismo se evidencia que las condiciones del suelo también son un punto clave dado que para esta hortaliza se recomiendan suelos profundos, sueltos, y de buen drenaje preferiblemente de textura franca, es decir que los suelos analizados cumplen en general con estas características, sin embargo la Finca SCA a diferencia de la BJ presento deficiencias de Nitrógeno mientras que la Finca BBI obtuvo resultados óptimos de nutrientes dado que solo el fósforo fue alto pero nivelable de acuerdo a los análisis de suelos realizados, esto corresponde con los resultados de producción evidenciados.

La generación de residuos en SCA fue menor que en BBI asociado a la productividad de la planta ya que la densidad de siembra fue mayor en BBI que en SCA y por tanto su producción vegetal fue más alta, el manejo de los residuos para las fincas fue diferente dado que en SCA se incorporaba una parte de estos como protección del suelo ya que este permanecía muy seco mientras que en BBI se exportaban fuera de la finca. Adicional a estos a residuos es importante mencionar que se contempló la cuantificación por el establecimiento del cultivo sobre todo en el caso de la finca bajo invernadero donde se evidencia que continúa siendo la finca con mayor generación de residuos por unidad de área ya que para una hectárea los residuos producidos fueron 195146.50 Kg/Ha contado con aproximadamente 18 naves productivas.

Es importante mencionar que la fincas contaban con sistema de riego por goteo, y que en el caso del cultivo bajo invernadero BBI la cantidad de agua empleada para riego fue mayor por su alta tecnificación y por qué la estructura, aunque ayuda a disminuir la pérdida de agua generada por la evapotranspiración no permite captar agua lluvia directamente por el cultivo.

Por otra parte el consumo energético fue otra de las variables evaluadas, esta, se dividió en dos partes consumo eléctrico y de combustible el cual estaba subdividido en fósil (Diesel y gasolina), y gas propano donde el consumo de electricidad más alto presentado en los sistemas fue para la Finca BBI dado que en esta el bombeo de agua del sistema de riego era realizado a diario con una electrobomba de $\frac{1}{2}$ Caballo de fuerza mientras que en la Finca SCA este bombeo era realizado con una Motobomba de 10 Caballos de fuerza, a su vez es importante mencionar que el uso de combustible fósil se contabilizo para todas las actividades que requerían de su uso como es el caso de la preparación del suelo y vigilancia de los predios (Transporte en moto), obteniendo

como resultado más alto de consumo a la Finca SCA puesto que contemplaba todas las variables mencionadas.

Finalmente se cuantifica el transporte por kilómetros recorridos por viaje por tratamiento obteniendo que la Finca SCA nuevamente fue la de mayor consumo por Kilómetros recorridos dado que el tomate producido en esta viaja a 6 destinos diferentes que sumados equivalen a 4477.9 Kilómetros por viaje lo que representa un alto consumo, diferente a lo presentado en la Finca BBI dado que la cosecha de esta finca se comercializaba en la Corporación de Abastecimiento de Bogotá – Corabastos a una distancia de 192 Km sin embargo adicional a esto por separado se contabilizo el transporte realizado por la compra de los materiales para el establecimiento del cultivo bajo invernadero que también era realizada en Bogotá contemplando aproximadamente 149.6 Km.

4.2. Fase 2: Cuantificación de las emisiones de GEI para cada una de las actividades asociadas a su generación acorde al ciclo productivo del tomate, por medio de la herramienta Cool Farm Tool.

Una vez cuantificada la información y estimada para la unidad de hectárea se ingresa a el software Cool Farm Tool de forma independiente por finca y por tratamiento los datos para poder estimar las emisiones de CO₂ obteniendo 4 calculadoras de HC y compararlas entre sí, a continuación, se presentan los resultados parciales arrojados por la calculadora para cada uno de los ítems que evalúa: manejo del cultivo por finca (uso de fertilizantes, agroquímicos, gestión de residuos), secuestro de carbono, consumo energético, comercialización y transporte.

a. Emisiones asociadas al manejo del cultivo

La calculadora Cool Farm Tool, considera que dentro de las actividades de manejo de cultivo que pueden generar emisiones de CO₂ están la producción de fertilizantes, antecedentes de N₂O directos en indirectos, las inducidas por fertilización, por el uso de agroquímicos y por la gestión de los residuos. A continuación, se presentan los resultados parciales asociados al manejo del cultivo arrojados por la calculadora para cada uno de los 4 casos (2 fincas y dos tratamientos por finca) en Kg CO₂ Eq.

TTO	Producción de fertilizantes	Inducidas por la aplicación de fertilizantes	Agroquímicos	Manejo de residuos
BBI P3	1.582.652,9	649,5	410,0	39434,62
BBI K3	1.613.591,6	1.837,7	410,0	35522,28
SCA P3	19,169.8	660.432.547,8	225,5	876,0
SCA K3	19,323.6	661.674.954,1	225,5	755,2

Tabla 17: Comparativo de emisiones causadas por el manejo del cultivo por finca por hectárea.

Fuente: Resultados CFT adaptado y comparado por Autor.

Estos resultados son debidos a que de acuerdo con (Gomez, 2014) la gestión de suelos y la utilización de fertilizantes nitrogenados son actividades contaminantes para la atmósfera, por causa de la volatilización del nitrógeno dado que el fosforo y el potasio no son causales de emisiones de CO₂ puesto que contribuyen en otras proporciones a el crecimiento óptimo de las plantas sin embargo sus efectos se evidencian en la contaminación del suelo y el agua de los niveles freáticos por lixiviación lo que indica finalmente que el nitrógeno seria la principal fuente emisiones de CO₂ coincidiendo con los resultados de la herramienta CFT.

La calculadora también muestra resultados sobre las emisiones inducidas por la aplicación de fertilizantes debidas principalmente al proceso microbiológico de la nitrificación y desnitrificación (eliminación del nitrógeno que hay en un residuo) del suelo. Se pueden distinguir tres tipos de emisiones: las directas desde el suelo, las directas de óxido nitroso del suelo debido a la producción animal (pastoreo) y las indirectas generadas por el uso de fertilizantes (Benavides & León, 2007), así entonces las emisiones más altas directamente inducidas por la aplicación de fertilizantes que causan N₂O se presentaron para los tratamientos de la Finca SCA P3 y K3, mientras que para la Finca BBI los valores de emisiones fueron repartidos tanto en emisiones de CO₂ como de N₂O, para el caso de la Finca SCA sus emisiones fueron altas probablemente por el pastoreo animal previo al año de producción de tomate y para todos los tratamientos es evidente que estas se relacionan directamente con el uso de fertilizantes.

Por otro lado, la calculadora también brinda un resultado de emisiones causadas por el uso de agroquímicos, los cuales fueron contabilizados por la cantidad de veces que se usaron sin embargo este cálculo es muy subjetivo y no permite analizar a profundidad cada sustancia aplicada y que efectos conlleva para el medio ambiente, de esta manera los resultados arrojados por la

herramienta de cálculo colocan en primer lugar a la Finca BBI con un 64,5% de emisiones seguida de la Finca SCA con un 35,4% en CO₂ eq por lo que se puede concluir que la Finca BBI por su nivel de tecnificación y control aplica más agroquímicos sin embargo la Finca SCA aunque usa menos productos menor cantidad de veces lo que se busco fue que un producto atacara varios vectores a la vez y por esto es que su aporte en emisiones es más bajo además de mencionar que es un cultivo a campo abierto y que por ende las emisiones causadas se dispersan con facilidad en el medio ambiente mientras que bajo invernadero en el caso de la Finca BBI deben ser captadas por las mismas plantas sembradas y tan solo una parte es dispersa en el medio ambiente ya que como lo afirma (Mota, Alcaraz, Iglesias, Ballesta, & Carvajal, 2006) el Tomate es una planta que tiene un alto contenido de carbono y captación de CO₂ ya que esta planta presenta abundante biomasa.

Teniendo en cuenta que la Finca BBI disponía sus residuos en montones lejanos a la producción sin realizar ninguna gestión de los mismos ocupa el primer lugar de generación de emisiones por la no gestión de residuos, adicionalmente como ya se había mencionado en la fase 1 para este sistema se cuantificaron los residuos generados por el establecimiento de los invernaderos lo cual aumento en un 81.5% las emisiones dando como resultado total 426.880,11 emisiones de CO₂ eq para el tratamiento P3 y 419055,4337 para el tratamiento K3 emisiones de CO₂ eq sin tratamiento.

A su vez el manejo de residuos en la Finca SCA a diferencia de la Finca BBI fue positivo dado que al remover los residuos vegetales y disponer una parte de estos (30%) para la protección del suelo o calle de surca se genera una biodegradación de la materia orgánica haciéndola disponible para las plantas generando CO₂ por descomposición mínima con relación a la Finca BBI ocupando el segundo lugar de generación de CO₂ Eq, es importante mencionar que estos residuos se usaron como mulch es decir como cobertura del suelo lo que de acuerdo con (Uprety, Dong, Kimball, Garg, & Upadhyay, 2012) es un mecanismo de minimización de emisiones que corresponde con los resultados de la herramienta de calculo CFT ratificando que el uso del mulch puede prevenir las pérdidas de nitrógeno residual de los suelos y reducir las emisiones de N₂O que en componentes equivalentes se miden en CO₂, también es importante mencionar que en esta finca no se realizaban regularmente podas pero que si se aplicaban agroquímicos que evitaban el crecimiento de malezas.

b. Emisiones asociadas a la pérdida de carbono y secuestro del mismo

Este ítem evalúa dentro del manejo de las fincas si se contaba con biomasa aledaña como bosques vegetación leñosa, y/o depósitos de carbono entre otros que podrían ser captadores de carbono y que se perdieron por el cambio de uso del suelo. En cada una de las fincas se revisaron los antecedentes y los cambios de uso del suelo y se ingresó la información a la herramienta. Se encontró que la única finca que reporto un efecto en el carbono del suelo fue la Finca SCA, como se registró en la tabla 16, asociado a que presenta un cambio de producción de ganado a producción agrícola hace un año, los resultados arrojados por el software fueron:

Perdida y Secuestro de C	Finca BBI	Finca SCA
La biomasa por encima de la tierra representa principalmente la biomasa leñosa en árboles o arbustos	0	0
Bajo la tierra la biomasa es típicamente las raíces vivas	0	0
Carbono almacenado en el suelo durante largos periodos de tiempo	0	644,16 Kg CO ₂ eq
	10 años producción convencional	Potrero para pastoreo antes de la producción
efecto total sobre el carbono del suelo desde el primer cambio	No genero efectos	644,16 kg CO ₂ eq

Tabla 18 Perdida y Secuestro de Carbono.

Fuente: Resultados de emisiones por la pérdida y secuestro de carbono recuperado de CFT adaptado por autor.

Así entonces como se muestra en la tabla 19 la finca que mayor efecto tiene sobre el secuestro de carbono por cambios en el manejo del suelo fue la Finca SCA probablemente porque realizó el cambio de labranza cero a labranza mecanizada hace un año y porque incorpora residuos como mulch a diferencia de la Finca BBI que no presenta cambios en su manejo convencional del suelo y producción continua, esto indica que la Finca SCA por llevar tan poco tiempo de intervención tenía un buen almacenamiento de carbono y materia orgánica sin embargo (Pastor Mogollón , y otros, 2015) menciona que a medida que los sistemas agrícolas convencionales sean más y más intensivos (Uso de fertilizantes, uso de agroquímicos,

y mecanización agrícola) estos tendrán una disminución de las reservas de carbono en un orden del 50 al 86 % lo que impulsara a hacer uso de mayores cantidades de sustancias sintéticas para sustituir el rendimiento natural por el artificial.

c. Emisiones generadas por el consumo energético

El uso de energía como se mencionó en la fase uno se cuantifico para cada finca, asociado a la energía eléctrica o al combustible necesario para el desarrollo del cultivo, esta información se ingresó a la calculadora obteniendo los resultados de la generación de emisiones de CO₂ Eq:

	BJ	SC
Electricidad de la red	251,5	187,0
Combustibles fósiles	137,8	599,8
Otros (Gas propano)	136,3	102,2
Uso total de la granja	525.6	889,0

Tabla 19 Emisiones de CO₂ Eq por el uso de Energía en MJ.

Fuente: Recuperado de Cool Farm Tool adaptado por autor.

Las emisiones de CO₂ Eq asociadas al consumo de energía eléctrica fueron mayores en la Finca BBI debido principalmente a que utilizaban una electrobomba de ½ HP para el bombeo del agua todos los días mientras que en SC la bomba funcionaba con diésel y es por esto que por concepto de consumo de este combustible y por una moto usada para realizar los recorridos al predio, la Finca SCA es la de mayor generación de emisiones de CO₂ Eq, disminuyendo tan solo el consumo de gas propano que se vio afectado por la cantidad de tiempo en duración de cada cultivo dado que la Finca SCA duro 3 meses mientras que BJ 4 meses.

Por concepto de otros se encuentra el valor del consumo de gas propano donde la finca de mayor consumo fue la BJ dado que esta tuvo una producción mayor en tiempo de 4 meses a diferencia de la Finca SCA que duro 3 meses.

d. Emisiones causadas por comercialización y transporte

Finalmente se contabilizan en la calculadora CFT las emisiones causadas por el transporte que en esta parte se tienen en cuenta por la distancia y el peso transportado de acuerdo con el tipo de vehículo, este cálculo se llevó a cabo por finca por tratamiento ya que para cada uno vario la

cantidad de cosecha que finalmente era lo que se transportada así entonces los resultados se presentan a continuación:

Finca	Cosecha por Tto	Recorridos	Total, km recorridos	Kg CO₂ Eq Ha
BJ P3	78987,6	14	2688	6.869,1
BJ K3	80319,6	13	2496	6.528,6
SC P3	18803,421	3	13433,7	13.508,4
SC K3	18285,568	3	13433,7	13.139,9

Tabla 20 Emisiones de CO₂ asociadas al transporte por comercialización resultados recuperados de CFT. Autor.

Fuente: Recuperado de Cool Farm Tool adaptado por autor.

Como se evidencia en la tabla 21 la finca de mayor generación de emisiones de CO₂ por concepto de transporte es la Finca SCA por que el producto cosechado es comercializado en 6 destinos diferentes fuera del municipio de Páramo lo que aumenta el consumo de combustible y el recorrido en kilómetros del camión, aunque en la tabla se evidencia que fueron solo tres recorridos cada uno de estos contempla los seis destinos como se registró en el anexo 7 control periódico de transporte.

De esta manera se concluye que la Finca BBI cosecha mayor cantidad de tomate y al producir más presento más viajes de comercialización, pero su recorrido era corto por que se comercializaba en Bogotá en la Corporación de Abastecimiento – Corabastos estas dos variables indican que dependiendo donde se comercialice, el número de recorridos y el peso cosechado varia la cantidad de emisiones de CO₂ generadas al medio ambiente.

Sin embargo, para esta última finca, en las emisiones por transporte si se tiene en cuenta la compra de los recursos necesarios para la construcción de un invernadero aumentan en un 54.5% dando como resultado 30.257,37 emisiones CO₂ eq para el tratamiento P3 y 29.576,46235 para el tratamiento K3 este recorrido fue para una distancia aproximada de 149.6 Km con un peso de 195146,5 Kg/ha de recursos (residuos de establecimiento).

Resumen de las emisiones causadas por finca por tratamiento

Las emisiones anuales totales de la finca BBI P3 Y K3 son 20,65 kg de CO₂ eq por kilogramo de producto terminado, en términos de equivalentes de CO₂, las mayores emisiones provienen de la producción de fertilizantes, con un total de 20 kg de CO₂ eq por kilogramo.

Por otro lado, las emisiones anuales totales de la finca SCA P3 y K3 se encuentran entre 35.000 y 36.000 kg de CO₂ eq por kilogramo de producto terminado, en términos de equivalentes de CO₂, las mayores emisiones en su caso provienen del campo directo e indirecto N₂O, con un total de 35.123 y 36.186 kg CO₂ eq por kilogramo.

Retomando los resultados parciales estimados por la calculadora, en la siguiente Figura se resumen los resultados totales para cada una de las fincas y por los respectivos aspectos que contempla la calculadora:

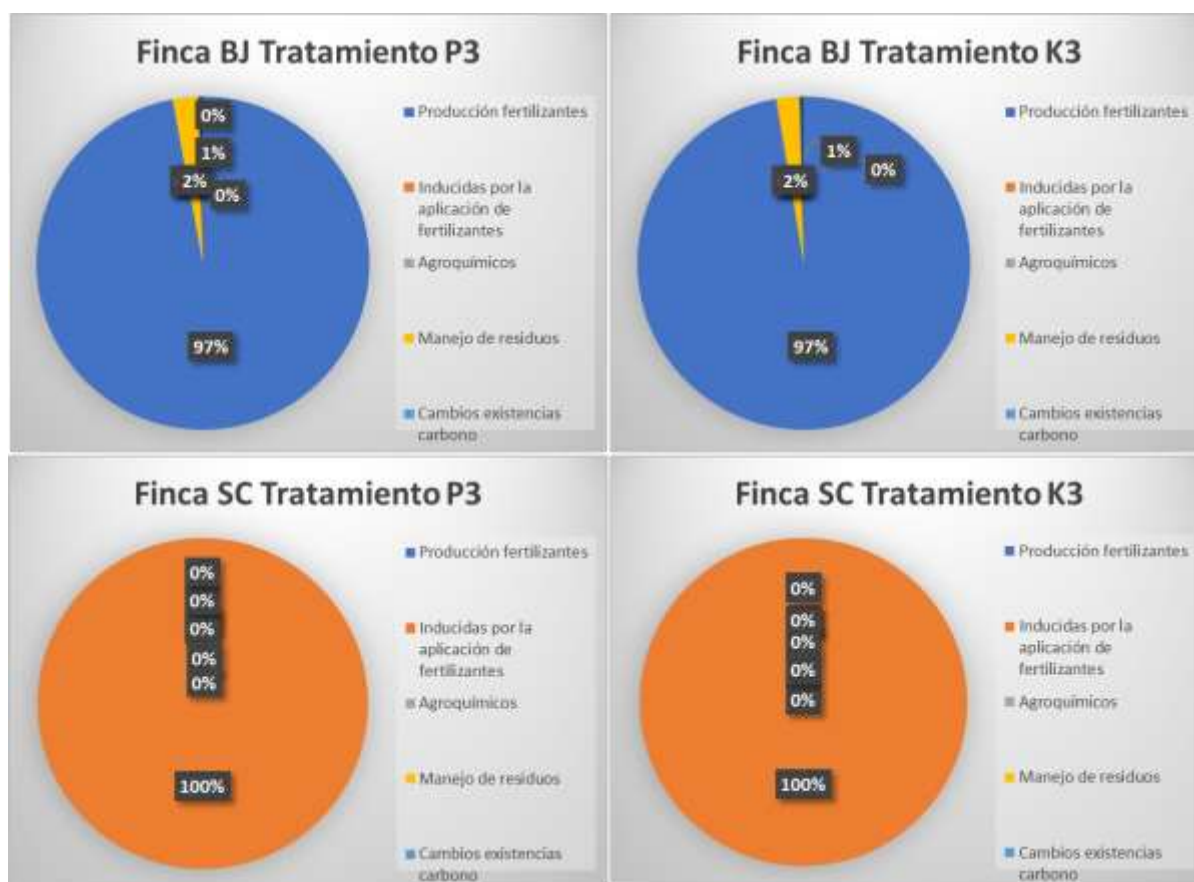


Figura 8 Comparativo de Porcentaje Total de emisiones causadas por el manejo del cultivo por finca por tratamiento.

Fuente: Resultados de emisiones totales en porcentaje por el manejo de los cultivos recuperados de CFT adaptado por autor.

Como se evidencia en la Figura 7 la mayor cantidad de emisiones de CO₂ eq son producto la aplicación de fertilizantes para la Finca SCA que concuerda con dos factores, el estar establecida a campo abierto porque las emisiones se volatilizan y no son captadas por biomasa cercana y dos por contar con tratamientos basados en la alta aplicación de Nitrógeno que de acuerdo a la información bibliográfica consultada Isaza, 2014 y Umaña, 2012 es uno de los elementos que más contribuye con la generación de emisiones de CO₂ y N₂O, la Finca BBI también coincide con los valores arrojados por la herramienta de cálculo dado que su tratamiento a diferencia de la Finca SCA se basó en la aplicación de Nitrógeno y Potasio en menores cantidades es por esto que aunque se generan emisiones causadas por el Nitrógeno no superan las de la Finca SCA dado que en promedio la aplicación de Nitrógeno en BBI es de 11,4 gr/planta mientras que en la Finca SCA es de 347.57 gr/planta a su vez el Potasio para la Finca BBI fue mayor que la aplicación de N con un promedio de 20.28 gr/planta que en la generación de CO₂ como ya se mencionó no contribuye en mayores proporciones ya que es un elemento que las plantas no desaprovechan y es consumido rápidamente por estas.

En el segundo lugar se encuentran las emisiones causadas por la producción de fertilizantes para los tratamientos BJ P3 y K3 las cuales brindan un porcentaje que comprende desde el 95% al y se enmarcan todas las actividades de extracción y desgaste energético que conlleva producir fertilizantes y que son altos en comparación con la Finca SCA dado que la cantidad de productos por separado que usa la Finca BBI es mayor a la cantidad usada en SC.

El tercer lugar de generación de emisiones lo ocupa el manejo de residuos donde se contempló solo el material vegetal residual luego de cada cosecha que de acuerdo con la herramienta los resultados más altos fueron para la Finca BBI porque en esta se amontonaban los residuos y no los intervenían ni incorporaban mientras que la Finca SCA si lo hacía como mulch o cobertura en los surcos ya que por la alta temperatura y uso intensivo de agro tóxicos el suelo permanecía muy seco.

Es importante mencionar que, en la Finca BBI a diferencia de la Finca SCA también aplicaban los residuos de la instalación del invernadero dado que es una externalidad que no se suma al costo de mantenimiento de la producción y no se ve compensada en el precio final del producto pero que forma parte de la inversión y sostenimiento de la producción por lo que se considera dado que esta finca obtuvo el mayor rendimiento y cosecha, sin embargo en la medición de HC de esta finca no se consideraron los residuos generados por el establecimiento del invernadero dado que la herramienta de cálculo solo solicita ingresar los valores que atienden a la producción de tomate es decir residuos vegetales como tallos y hojas de la envergadura de las plantas sin embargo la suma de estos residuos aumenta considerablemente la huella de carbono de este sistema.

En el cuarto lugar se encuentran las emisiones causadas por el transporte dado que el número de kilómetros y cantidad de viajes realizados por la Finca SCA duplican la cantidad de emisiones generadas por la BJ lo cual coincide con los resultados arrojados por la calculadora teniendo en cuenta el uso de combustibles fósiles es una de las principales causas de huella de carbono en el mundo, sin embargo si se tiene en cuenta el uso de transporte para los insumos de transporte aumentan las emisiones en la Finca BBI.

En quinto lugar, se encuentran las emisiones generadas por el consumo de energía tanto eléctrica como fósil obteniendo nuevamente que la Finca SCA es la mayor generadora de emisiones por dos factores, el primero porque el núcleo familiar a diferencia de la Finca BBI era más grande de 4 personas mientras que la otra finca contaba solo con dos, el segundo factor es que la Finca SCA hizo mayor uso de combustibles fósiles dado que usaba una estufa a gas propano, una motobomba de 10 Hp un tractor, una moto para el recorrido del predio y un camión para comercialización lo que aumenta las variables de consumo a diferencia de la Finca BBI que uso una estufa a gas propano, el tractor y el camión dado que para el bombeo del agua del sistema de riego uso una electrobomba que sin embargo no aumenta de manera drástica el consumo eléctrico con respecto a la Finca SCA.

El sexto lugar lo posiciona el uso de agro tóxicos para la Finca BBI dado que esta finca cuenta con un estricto control de plagas, enfermedades y malezas guiado no solo por el agricultor que cuenta con más de diez años de experiencia sino también por profesionales que controlan los vectores maléficicos con sustancias químicas cabe anotar que esta era la finca más tecnificada y de mayor control mientras que la Finca SCA era novata en la producción tomatera y esto la ponía en una desventaja grande con respecto a la Finca BBI dado que no contaba con profesionales y mano de obra suficiente para dar abasto con los requerimientos del cultivo, sin embargo en esta última finca el uso de agro tóxicos aunque fue intensivo también al ser una especie híbrida de Monsanto genera repercusiones no solo ambientales si no sociales y a la salud pública .

Y finalmente el séptimo lugar de emisiones lo ocupa el cambio en las reservas de carbono asociado a los cambios de uso del suelo y la producción en el paso de los años, lo cual solo aplica para la Finca SCA ya que por llevar tan poco tiempo de intervención y al ser potrero para pastoreo durante mucho tiempo tenía un buen almacenamiento de carbono y materia orgánica no intervenida sin embargo al iniciar con la intervención para la producción convencional del Tomate se empiezan a generar pérdidas del carbono alojado en el suelo lo que no es positivo puesto que no se contrarrestan a largo plazo las emisiones ni se aprovechan las reservas de C en el suelo ya que a medida que los sistemas agrícolas convencionales sean más y más intensivos estos tendrán una disminución de las reservas de carbono en un orden del 50 al 86 % lo que impulsa a hacer uso de mayores cantidades de sustancias sintéticas para sustituir el rendimiento natural por el artificial que es lo que se evidencia en los resultados de esta finca puesto que es la de mayor generación de emisiones de NO_2 generada por el uso intensivo de fertilizantes nitrogenados que buscan contrarrestar las deficiencias presentadas en el análisis de suelos, esta finca en particular por ser a campo abierto debería contar con especies aledañas que le ayuden a minimizar y gestionar su producción de emisiones dado que la Finca BBI por estar bajo invernadero permite que las emisiones generadas sean captadas en su proceso natural de fotosíntesis pues estas permanecen encerradas y se obligan a captar su mismo CO_2 generado.

4.3. Fase 3. Análisis de procesos asociados a la producción de Tomate impactan de forma significativa la emisión de GEI y que posibles estrategias se podrían emplear para la reducción y compensación de la huella de carbono

a. Fertilización

Tanto en el sistema productivo a campo abierto y bajo invernadero coincide que las emisiones de CO₂ en su mayoría provienen del uso de fertilizantes sintéticos, sobre todo aquellos que aportan nitrógeno, debido a que ocasionan emisiones de campo indirectas por la nitrificación de la materia orgánica en el suelo como se evidencia en el caso puntual de la Finca SCA donde la aplicación de fertilizantes solo era variable para el fósforo y el potasio mientras que el Nitrógeno se mantenía en una alta proporción de aplicación debido a que el suelo tenía niveles bajos de fertilidad, lo que implicaba para el agricultor una mayor demanda de fertilizantes.

Por otro lado este mismo autor menciona que el sistema productivo de monocultivo al sol es el que genera la mayor cantidad de emisiones por la volatilización del nitrógeno lo que se corrobora con los resultados presentados en la Finca SCA a campo abierto dado que en el caso de la Finca BBI la barrera física que impone el invernadero a la libre circulación del aire ocasiona cambios en la concentración del CO₂ al interior del invernadero al igual que ocurre con las otras variables climáticas conservando una temperatura óptima y una baja contaminación cruzada por las condiciones ambientales adversas (Escobar & Lee, 2009).

De igual manera Isaza Ramirez, 2014 también menciona que gran parte de las emisiones de CO₂ generadas en una producción de Café convencional son causadas por el uso de fertilizantes particularmente Nitrógeno y fósforo que promueven la nitrificación y eutrofización de los cuerpos de agua (Umaña, 2012), lo que promueve el deterioro ambiental la disminución de la biodiversidad y la resistencia a los productos agroquímicos que hace dependientes a las producciones agrícolas debido a la baja sostenibilidad de los ecosistemas.

Posibles estrategias de reducción de emisiones

Para disminuir las emisiones de N₂O por el uso intensivo de fertilización sintética se deben buscar alternativas de minimización y cambio de su consumo dado que según (Sanchis, 2014) estas emisiones se producen alrededor de los 11 días siguientes a la aplicación de fertilizantes nitrogenados que para el caso de estas fincas son un nutriente importante para las plantas. Las

medidas de mitigación que se pueden proponer indican por ejemplo sustituir poco a poco el uso de fertilizantes sintéticos por compostaje dado que la fertilización orgánica que se mineraliza en el suelo también puede contribuir pero en menores proporciones a la producción de N₂O (Sanchis, 2014) solo teniendo en cuenta las necesidades de cada suelo, además que la dependencia a fertilizantes externos aumenta las emisiones de carbono asociadas al transporte de estos, a diferencia de si se logra la producción de abonos en el mismo sitio de producción. Uprety Subash, Dong, Kimball, Garg, & Upadhyay, 2012, mencionan que un buen análisis de las necesidades de los cultivos generaría un control de aplicaciones de nitrógeno evitando y previniendo pérdidas además de tener en cuenta que también es importante saber aplicar los fertilizantes en la rizosfera puesto que será por donde se absorberán efectivamente, porque en el caso de las dos fincas los agricultores no aplicaban exactamente de la demanda del cultivo, sino que partían de su experiencia. Otro mecanismo de minimización de emisiones es sembrar cultivos de cobertura, uso del mulch, o asociación de cultivos que pueden prevenir las pérdidas de nitrógeno residual de los suelos y reducir las emisiones de N₂O inducidas por la aplicación de fertilizantes (Uprety, Dong, Kimball, Garg, & Upadhyay, 2012).

b. Agroquímicos para el manejo de organismos patógenos

El consumo de agroquímicos, no es una variable de estudio en la que profundice la herramienta Cool Farm Tool, obteniendo que la Finca SCA a campo abierto presentó un mayor número de aplicaciones, porque el agricultor no realizaba con tanta frecuencia labores culturales preventivas, a diferencia de la finca BBI donde constantemente se controlaba el crecimiento de arvenses y se realizaban podas frecuentes, sin embargo, en ambas se evidenció la dependencia del agricultor a agroquímicos por su rápida acción.

Posibles estrategias de reducción de emisiones

Se podría cambiar el uso de estas sustancias por sustancias orgánicas de control natural y control biológico, sin embargo como mencionan algunos autores como Uprety, Dong, Kimball, Garg, & Upadhyay, 2012, la necesidad del uso de agroquímicos depende del nivel de susceptibilidad del cultivo a ataques, que en este caso tratándose de monocultivos es mayor, por lo que a futuro se recomienda tratar de asociar cultivos y utilizar mecanismos preventivos ante organismos patógenos dado que este es uno de los mayores impactos de la agricultura convencional que va en contraposición de la sustentabilidad así como lo menciona Altieri, y otros, 1999, la intensificación

de la agricultura es una prueba crucial de la elasticidad de la naturaleza, no obstante no se sabe por cuanto tiempo mas la naturaleza sera resiliente y aguante la degradación ambiental inestable que promueve la agricultura moderna o convencional, es importante investigar sobre controladores biológicos que permitan reemplazar y disminuir el uso de plaguicidas para el cultivo del Tomate dado que el producto no es lavado al ser cosechado y según (Paez, et al, 2011) el uso de plaguicidas químicos genera una contaminación no visible en el producto de consumo que a largo plazo produce deterioro en la salud humana.

c. Gestión de Residuos

Se obtuvo emisiones por la gestión de residuos altas, en la Finca BBI por el no tratamiento de estos y por descomposición mientras que la Finca SCA si destinaba una parte de estos a la protección del suelo lo que retardo su degradación aerobia esto se traduce en menores emisiones dentro del mismo cultivo sin embargo con el paso del tiempo los residuos que se descomponen incrementan el contenido de materia orgánica del suelo lo que generara emisiones de CH₄ y N₂O en el siguiente ciclo del cultivo, esta afirmación podría relacionarse con los resultados obtenidos por la herramienta de cálculo.

Posibles estrategias de reducción de emisiones

Algunos autores indican que es bueno procesar los residuos para generar composta que nutra el suelo sin embargo (Uprety, Dong, Kimball, Garg, & Upadhyay, 2012) en acuerdo con lo mencionado por el agricultor de la Finca BBI argumenta que si los residuos vegetales no estan sanos es mejor no aprovecharlos para la generación de MO dado que puede ser contraproducente para el cultivo en cuanto a su producción por que puede generar mayor proliferación de plagas y estas a su vez deberian ser controladas por agroquimicos que no es el ideal, es por esto que si se desconoce la trascendencia de los residuos es mejor no usarlos, sin embargo (Isaza, 2014) menciona que el manejo de los residuos de los cultivos es otro método importante para capturar carbono en el suelo y aumentar su contenido de materia orgánica.

d. Reservas de Carbono

Ninguna de las dos fincas contaba con reservas de carbono forestales alrededor de la producción, sin embargo, la finca SCA a diferencia de la BBI al ser un potrero antes de la producción convencional de Tomate obtuvo una reserva medianamente alta de carbono en el suelo.

Posibles estrategias de reducción de emisiones

Existen metodologías que al mismo tiempo permiten conocer que tan eficientes son los sistemas en cuanto a captación del mismo CO₂ como lo menciona (Mota, Alcaraz, Iglesias, Ballesta, & Carvajal, 2010) en su investigación de captación de CO₂ por los cultivos más representativos donde el Tomate de acuerdo a estos autores presento un mayor contenido de carbono y captación de CO₂ que en las plantas de pimiento ya que este presenta una gran cantidad de Biomasa a diferencia de las plantas de pimiento es importante resaltar que la herramienta de cálculo no incluye al tomate dentro de las especies captoras de CO₂ y que sería interesante contemplar su beneficio en estos términos para de esta manera reconocer que tan eficiente es el cultivo no solo en producción si no en protección y cuidado del medio ambiente.

Así entonces, las emisiones de CO₂ a la atmosfera se pueden reducir mediante depósitos de carbono que reducen las emisiones por captación y fijación del carbono, como bosques o asociaciones de cultivos y aunque la arvenses son captoras de CO₂ en estos cultivos por su alto control químico hay una baja incidencia de estas lo que disminuye la captación de CO₂. Es clave que cada agricultor implemente alternativas de mitigación que mejoren la salud del suelo y su funcionamiento, incluyendo el ciclo de nutrientes, la infiltración del agua, la retención de la humedad entre otros beneficios (Isaza C. , 2014).

e. Consumo energético

La variación del consumo energético estuvo influenciada por las variables evaluadas en cada una de las fincas teniendo en cuenta que este se encontraba subdividido de dos maneras una era el consumo eléctrico y la segunda el consumo de combustibles, en la primera la Finca BBI lidero la generación de emisiones por que usa una electrobomba para el impulso del sistema de riego y a diario esta variable aumenta demasiado el consumo es importante mencionar que aunque en las dos fincas se reserva el agua lluvia solo en la Finca SCA la motobomba no se enciende cuando llueve sin embargo en esta no aumenta el consumo eléctrico si no el consumo de combustible fósil además que se contó con una variable más y era el consumo de gasolina por una moto adquirida por el agricultor para realizar recorrido a su predio.

Otro de los puntos que es importante mencionar es que la duración del cultivo de la Finca SCA fue de tres meses y medio mientras que la Finca BBI fue de 4 meses esto pudo haber sido una causa importante de la generación de las emisiones de CO₂.

Posibles estrategias de reducción de emisiones

El consumo energético promueve grandes impactos ambientales dado que conlleva consumo de recursos naturales principalmente combustibles que generan emisiones a la atmósfera, consumo de agua, residuos convencionales y peligrosos además de ocupación territorial para la implantación de sistemas generadores de dicha energía.

Teniendo en cuenta estos impactos a grandes rasgos mencionados, Isaza Ramirez, 2014, afirma que la reducción de emisiones incluye tecnologías que mejoran la eficiencia energética como sistemas de paneles solares, sistemas eólicos por medio de molinos de viento o hidráulicos por medio de ruedas pelton o rotores de pala, entre otras que involucren fuentes de combustibles bajas en carbono o no carbono como también lo justifica (Herrero & De la Cruz Leiva, 2013) con los enfoques metodológicos de Medición de huella de carbono donde mencionan que el creciente peso de las energías renovables son una mejora de la ecoeficiencia de los procesos productivos y la disminución de la actividad económica.

f. Transporte y comercialización

El transporte es una de las causas que genera una alta cantidad de emisiones al medio ambiente como es el caso puntual de la Finca SCA que aunque realiza pocos viajes de comercialización en cada servicio despacha a 6 destinos lo que aumenta la cantidad de kilómetros recorridos y por ende la cantidad de tiempo y combustible por viaje.

Posibles estrategias de reducción de emisiones

Unas de las alternativas de disminución de la HC causada por el transporte es realizar pequeñas comercializaciones a nivel local que ahorrarían tiempo y kilometraje recorrido para de esta manera disminuir la cantidad de combustible gastado por viaje, otra alternativa es realizar asociaciones de productores para el transporte, en el caso de las dos fincas esto si se realiza dado que no todas las cosechas son igual de productivas y no todas cumplen el peso límite de los camiones que es de 6 toneladas por lo que se reúnen varias cosechas de varios productos o del

mismo producto y se transportan en un solo viaje ahorrando dinero, y tiempo disminuyendo la huella de carbono del producto.

Otra alternativa en lo que se refiere específicamente al transporte con vehículos es sustituir los combustibles altamente contaminantes como la gasolina por biocarburantes como el bioetanol ó el biodiesel que contribuyen a reducir la HC de la actividad estos combustibles pueden ser producidos a partir del aprovechamiento de residuos forestales reduciendo las emisiones generadas en la climatización por combustibles (Herrero & De la Cruz Leiva, 2013).

5. Conclusiones

En los sistemas productivos la mayor generación de emisiones de GEI está asociada al uso intensivo de fertilizantes nitrogenados de síntesis química seguido del manejo de residuos sólidos vegetales, el primero es debido a que son producciones completamente convencionales dependientes de insumos comerciales que limitan la disponibilidad de recursos y nutrientes naturales existentes en el suelo necesarios a largo plazo eliminando la capacidad de adaptación y resiliencia de microorganismos y de las mismas plantas por la alta exposición y la dependencia de la labranza intensiva, la no rotación de cultivos, la aplicación de fertilizantes sintéticos y agro tóxicos de control de plagas y arvenses sin protección al medio ambiente, y la segunda es debido a que los residuos vegetales devengados de la producción no son tratados de ninguna manera y se genera su descomposición a campo abierto además de que los productores no cuentan con el conocimiento sobre el manejo de los mismos lo que los pone en desventaja puesto que al estar acostumbrados a altos rendimientos no consideran nuevas opciones de producción que pueden ser económicas a largo plazo e igual de rentables como es el caso de la implementación de policultivos en asociaciones con el Tomate evitando la erosión del suelo aprovechando el espacio y promoviendo la captación de mayores cantidades de CO₂ por mayor cantidad de Biomasa.

Los sistemas productivos evaluados tienen grandes diferencias que permiten dar cuenta del control de las emisiones de CO₂ incluso siendo ya producciones convencionales la primer diferencia que se ve a grandes rasgos es que el monocultivo a campo abierto Finca SCA genera más emisiones de N₂O por volatilización del nitrógeno mientras que la barrera física que impone

el invernadero en la Finca BBI permite controlar las emisiones de GEI obligándolas a ser captadas por la misma biomasa del cultivo en este caso las generadas por CO₂ producto del poco manejo de los residuos además de presentar mayor inversión y por ende mayor tecnificación que las producciones a campo abierto lo que hace que la producción sea mayor, otra diferencia marcada de estos cultivos es que no se manejó la misma densidad de siembra ya que el cultivo a campo abierto necesita más espacio por actividades culturales que no fueron realizadas satisfactoriamente mientras que en cultivo bajo invernadero por el uso de protección al suelo y rigurosos cuidados el espacio entre plantas era menor y esto hizo que hubieran más plantas productivas y por ende más cosecha, sin embargo este nivel de tecnificación y cuidado promueve el deterioro del suelo lo que hace que cada vez se consuman más y más productos de síntesis química contrarrestando las pérdidas de nutrientes y vida que su mismo uso genera, otra de las diferencias importantes fue encontrar que aunque los residuos no se gestionan eficientemente la Finca SCA usa parte de estos para proteger el suelo y que aunque su descomposición genera emisiones de CO₂ estos vistos como mulch promueven el cuidado del suelo y disminuyen las emisiones por la gestión de residuos mientras que en la Finca BBI el agricultor considera que esta no es una práctica limpia pues afirma que todas las plagas y enfermedades están albergadas en los residuos por eso el amontona sus residuos y los exporta fuera de la finca.

Los tratamientos que mejores resultados productivos obtuvieron fueron el K3 para la Finca BBI con un contenido alto de Potasio y para la Finca SCA el tratamiento P3 con un contenido alto de Nitrógeno resaltando que las producciones bajo invernadero y mayor cuidado tienden a ser favorables en cuanto a producción y calidad.

La elaboración de este estudio ha permitido analizar el impacto que tiene la producción de Tomate convencional en términos de Huella de Carbono en Virtud a su patrón de consumo, manejos y controles convencionales adaptados a cada producción es importante resaltar que realizar este tipo de análisis en años venideros podría servir como soporte comparativo sobre el cambio de los patrones de consumo y recursos y de esta manera determinar mejoras de eco eficiencia y transición de producción tradicional tecnificada a una producción agroecológica sostenible.

A partir de la investigación se evidencia que, aunque el transporte no es una de las causas directas de la generación de emisiones de GEI en las fincas valdría la pena corroborar que tan eficiente sería consumir a nivel local disminuyendo de esta manera el gasto de combustibles fósiles que causan gran contaminación al ambiente no siendo retroactivos.

6. Recomendaciones

Es importante mencionar que la herramienta no contempla todos los fertilizantes de síntesis química del mercado y que por tal motivo algunos se deben completar con equivalencias que se acercan a los valores aplicados por componentes N, P, K o productos o mezclas entre fertilizantes lo que puede disminuir la exactitud de los resultados del software se recomienda analizar con mayor profundidad cada componente intrínseco de los fertilizantes químicos (formula química) para estimar con mayor precisión el valor de las emisiones que estos componentes pueden generar.

Se recomienda que los agricultores consideren la posibilidad de aprender a realizar su propia fertilización haciendo uso de sus residuos que generan evaluando la posibilidad de rotar cultivos y nutrir el suelo con materia orgánica natural estas son algunas claves que podrían disminuir las emisiones y contribuir al ahorro y el sostenimiento de las producciones a largo plazo.

Se recomienda cambiar progresivamente el uso de monocultivos a policultivos que generan mayor cantidad de biomasa y aprovechamiento del espacio esta alternativa permitiría captar más emisiones de CO₂ lo que lo mantendría en equilibrio por que naturalmente las plantas no pueden dejar de emitir CO₂ pero si al haber mayor biomasa se puede contrarrestar la generación de GEI.

Valdría la pena realizar este tipo de investigación en producciones similares o con condiciones iguales puesto que esto permitiría evidenciar un plano comparativo mejor diferenciando que sistema realmente genera mayor cantidad de emisiones de GEI y por qué son causadas.

Se recomienda que esta información sea divulgada a los productores para que ellos conozcan los impactos que generan sus producciones y de esta manera que tomen decisiones que hagan más sostenibles y amigables sus producciones con el medio ambiente.

7. Bibliografía

- Abreu, J. L. (2012). Hipótesis, Método & Diseño de Investigación. *Daena: International Journal of Good Conscience*, 187-197.
- Agroconsultas Online. (04 de Mayo de 2007). *Agroconsultas Online*. Obtenido de http://agroconsultasonline.com.ar/ticket.html/Datos%20reales%20de%20consumo%20de%20combustibles%20en%20motores.pdf?op=d&ticket_id=7957&evento_id=16340
- Alcaldía de Boyacá - Boyacá. (20 de Noviembre de 2012). *Alcaldía de Boyacá - Boyacá*. Obtenido de http://www.boyaca-boyaca.gov.co/informacion_general.shtml
- Alcaldía de Paramo. Santander. (2016). *Alcaldía de Paramo. Santander*. Obtenido de http://www.paramo-santander.gov.co/informacion_general.shtml
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2013). *Agroecología y Resiliencia al cambio climático: Principios y Consideraciones Metodológicas*. Medellín Antioquia: Universidad de Antioquia.
- Altieri, M., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, F., Norgaard, R., & Sikor, T. (1999). *Agroecología Bases Científicas para una Agricultura Sustentable*. Montevideo: Nordan-Comunidad.
- Alvarado, A. (2006). Mecanización Agrícola. Deterioro o conservación del suelo. *Tecnología en Marcha*, 56-60.
- Alvarez Gomez, J. D. (2011). *Plan de Negocios para el Desarrollo de un Proyecto Productivo de Tomate Chonto (Lycopersicon esculentum) Bajo Invernadero en la Finca las Mercedes Municipio de Gomez Plata*. Antioquia: Corporación Universitaria La Sallista.
- Andrade, H., Campo, O., & Segura, M. (2014). Huella de carbono del sistema de producción de arroz (*Oryza Sativa*) en el municipio de Campoalegre, Huila, Colombia. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria. Cambio Climático*, 25-31.
- Andrade, H., Segura, M., & Varona, J. P. (2015). Estimación de huella de carbono del sistema de producción de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) en Palmira, Valle del Cauca, Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental – Volumen 6 Número 1*, 19-28.
- Arango Arango, Á. M., & Camargo García, J. (2015). Determinación de la huella de carbono de una empresa forestal productora de guadua: El caso de la empresa Yarima Guadua, Eje Cafetero de Colombia. *Recursos Naturales y Ambiente/no. 65-66*, 56-61.
- Ayala Mantilla, M. J. (2012). *Análisis de la Huella de Carbono y del Crecimiento del Cultivo de la Palma Africana en el Ecuador*. Quito: Universidad San Francisco de Quito.
- Benavides, H., & León, G. (2007). *Información Técnica sobre Gases Efecto Invernadero y El Cambio Climático*. Colombia: IDEAM.
- Bermejo, I. (2010). Agricultura y Cambio Climático. El sector con mas emisiones. *El Ecologista*.

- Blanquer, M. (2012). *Aproximación Metodológica al Cálculo de Huella de Carbono y Huella Ecológica en Centros Universitarios: El caso de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes de Madrid*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid.
- CEPAL. (2015). *La Economía del Cambio Climático en América Latina y el Caribe. Prácticas y Desafíos del Desarrollo Sostenible*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Comisión Económica para América Latina y el Caribe - CEPAL. (2004). *Metodologías de Cálculo de la Huella de Carbono y sus Potenciales Implicaciones para América Latina*. Francia: CEPAL.
- Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio. (2015). *Huella de Carbono de los municipios andaluces*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.
- Cool Farm Alliance. (2015). *Cool Farm Tool*. Obtenido de <https://www.coolfarmtool.org/Home>
- Corporación Colombiana Internacional CCI. (2014). *Plan hortícola Nacional*. Bogotá: Corporación Colombiana Internacional CCI.
- Costa, C. (2007). La Adaptación al Cambio Climático en Colombia. *Revista de Ingeniería. Universidad de los Andes*, 74-80.
- DANE. (Diciembre de 2014). Boletín Mensual. Insumos y Factores Asociados a la Producción Agropecuaria. *El cultivo del tomate de mesa bajo invernadero, tecnología que ofrece mayor*. Bogotá, Colombia: DANE.
- Escobar, H., & Lee, R. (2009). *Manual de Producción de Tomate Bajo Invernadero*. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Escobar, H., & Lee, R. (2009). *Manual de producción de Tomate bajo invernadero*. Bogotá: Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano.
- Espíndola, C., & Valderrama, J. (2012). Huella del Carbono. Parte 1: Conceptos, Métodos de Estimación y Complejidades Metodológicas. *SciELO - Información Tecnológica*.
- FAO. (2013). *El Cultivo del Tomate con Buenas Prácticas Agrícolas en la Agricultura Urbana y Periurbana*. FAO.
- FINAGRO. (2013). *FINAGRO*. Obtenido de <https://www.finagro.com.co/productos-upra/tomate>
- Frohmann, A., & Olmos, X. (2013). *Huella de carbono, exportaciones y estrategias empresariales frente al cambio climático*. Santiago de Chile: CEPAL.
- Gobernación de Boyacá. (2013). *Unidad Regional de Planificación Agropecuaria –URPA*. Obtenido de <http://www.boyaca.gov.co/>
- Gold Standard. (1 de 10 de 2016). Obtenido de <http://www.goldstandard.org/blog-item/cool-farm-tool-driving-sustainability-supply-chains>

- Gomez, M. (2014). *Emisiones de Gases Efecto Invernadero y Biomasa Aerea de Cuatro Fincas Agroecologicas en el Area de Conservación Tortuguero, Costa Rica*. Costa Rica: Instituto Tecnológico de Costa Rica Escuela de Ingeniería Forestal.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2006). *Directrices del IPCC de 2006 para los Inventarios nacionales de Gases Efecto Invernadero*. Japón: IGES Instituto para las Estrategias Ambientales Globales.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2008). *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*. Ginebra, Suiza: OMM, PNUMA.
- Grupo Intergubernamental de Expertos Sobre el Cambio Climático. (2001). *Tercer Informe de Evaluación. Cambio Climático 2001. Impactos, Adaptación, y Vulnerabilidad*. OMM - PNUMA.
- Herrero, L., & De la Cruz Leiva, J. (2013). *Enfoques metodológicos para el cálculo de la Huella de Carbono*. España.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, CANCELLERIA. (2015). *Primer Informe Bienal de Actualización de Colombia Ante la convención Marco de las Naciones Unidas Sobre el Cambio Climático*. Bogotá, Colombia: IDEAM.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. (2009). *Inventario Nacional de Fuentes y Sumideros de Gases Efecto Invernadero 2000-2004*. Bogotá, Colombia: Scripto Ltda.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA. (2013). *Cambio el Clima. Herramienta para abordar la adaptación al cambio climático desde la extensión*. Montevideo, Uruguay: Imprenta Boscana SRL.
- International Plant Nutrition Institute-IPNI. (s.f.). *Informaciones Agronomicas N°36*. Obtenido de Funciones del Fosforo en las Plantas: [http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/\\$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/\\$file/Funciones+del+F%C3%B3sforo.pdf](http://www.ipni.net/ppiweb/iaecu.nsf/$webindex/7EFD356D05AA06EA05256A31007595F9/$file/Funciones+del+F%C3%B3sforo.pdf)
- IPCC - Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2015). *Cambio Climático 2014. Mitigación del Cambio Climático*. Suiza: Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático.
- IPCC - OMM - PNUMA. (2007). *Cambio Climático 2007 Cuarto Informe de Síntesis*. Ginebra, Suiza.: IPCC.
- Isaza, C. (2014). *Análisis de Oportunidades para la gestión eficiente del carbono en un sistema de producción de café en el departamento de caldas*. Manizales: Universidad de Manizales.
- Isaza, C. H. (2014). *Gestión Eficiente de Carbono en un Sistema de Producción de Café en el Departamento de Caldas*. Manizales, Colombia: Universidad de Manizales.

- Jaramillo, J., Rodríguez, V., Guzmán, M., Zapata, M., & Rengifo, T. (2007). *Manual Técnico Buenas Prácticas Agrícolas en la Producción de Tomate bajo Condiciones Protegidas*. Medellín: Corpoica.
- Lizarral De Torre, I., & Broto Cartagena, M. (2013). *La Huella de Carbono de Productos de Madera: Herramienta de Competitividad para la Industria*. España: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Masera, O., & Benjamín, J. (2001). Captura de Carbono ante el cambio Climático. *Madera y Bosques*, 3-12.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. (2006). *Plan Frutícola Nacional. Desarrollo de la Fruticultura en Santander*. Bucaramanga: MADR-FNFH-Asohofrucol-SAG.
- Molina, E. (2016). *Fertilización de Tomate*. Obtenido de Centro de Investigaciones Agronómicas Universidad de Costa Rica: <http://www.cia.ucr.ac.cr/pdf/Memorias/FERTILIZACION%20TOMATE%202016.pdf>
- Montalba, J. N. (2009). *Cultivo Hidroponico de Tomate en Invernadero*. Chile: Universidad de Magallanes.
- Moreno Garcia, J. (2013). *Estimación en la huella de Carbono en una planta extractora de aceite de palma en Colombia. estudio de caso*. Bogotá DC: Universidad Nacional de Colombia.
- Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M., Ballesta, M., & Carvajal, M. (2006). *Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos mas representativos de la región de Murcia*. España: CSIC.
- Mota, C., Alcaraz, C., Iglesias, M., Ballesta, M., & Carvajal, M. (2010). *Investigación sobre la absorción de CO₂ por los cultivos mas representativos*. Murcia: CEBAS-Consejo Superior de Investigaciones Científicas - CSIC.
- Neef, T., Eichler, L., Deecke, I., & Fehse, J. (2007). *Actualización sobre los mercados para compensaciones forestales para la mitigación del cambio climático*. España: CATIE.
- Nosberg, L., Berglund, O., & Berglund, K. (2016). Seasonal CO₂ emission under different cropping systems on Histosols in southern Sweden. *Elsevier, Geoderma Regional*, 338-345.
- Nucleo Ambiental SAS - Camara de Comercio. (2015). *Manual Tomate. Programa de Apoyo Agrícola y Agroindustrial*. Bogotá: Camara de Comercio de Bogotá.
- Numata, K., & Itagaki, K. (2011). *Estudio sobre el caso de la producción creciente del tomate en los desiertos mediante el sistema agrario con poco insumo: desafíos en la zona costera del Perú*. Perú.
- Olmos, X. (2012). *La huella de carbono en el comercio internacional: el caso de las viñas chilenas*. Chile: Universidad de Chile.

- Oyhantcabal, W., Becoña, G., Astigarraga, L., Roel, A., & Saizar, C. (2011). *Huella de Carbono de tres de los principales rubros de agroexportación del Uruguay*. Uruguay: Ministerio de Ganadería, Agricultura y Pesca.
- Paez, M., Varona, M., Diaz, S., Castro, R., Barbosa, E., Carvajal, N., & Londoño, A. (2011). Evaluación de Riesgo en humanos por plaguicidas en Tomate cultivado con sistemas tradicionales y BPA. *Revista de Ciencias. Universidad del Valle*, 153-166.
- Pastor Mogollón, J., Martínez, A., Rivas, W., Maseda, C., Muñoz, B., Marquez, E., . . . Campos, Y. (2015). Carbono Orgánico como Indicador del proceso de desertificación en los Suelos Agrícolas al Norte de Venezuela. *Suelos Ecuatoriales*, 24-30.
- Perilla, A., Felipe, R., & Bermudez, L. (2011). Estudio técnico económico del sistema de producción de tomate bajo invernadero en Guateque, Sutatenza y Tenza (Boyacá). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 220-232.
- Rikxoort, H. (2011). *The Potential of Mesoamerican Coffee Production Systems to Mitigate Climate Change*. Alblasserdam, The Netherlands: Wageningen University and Research Center.
- Rosana Ferraro, M. C. (2013). Aportes para la estimación de huella de carbono en los grandes asentamientos urbanos de Argentina. *Cuadernos de Geografía. Revista Colombiana de Geografía*, 87-106.
- Sanchis, H. (2014). *Emisiones de Gases en el Cultivo de Arroz: Efecto de la Gestión de la Paja*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Schneider, H., & Samadiego, J. (2009). *La Huella del Carbono en la producción, distribución y consumo de bienes y servicios*. Chile: Naciones Unidas, Santiago de Chile.
- Secretaría Distrital del Medio Ambiente - PIGA. (2013). *Guía para la elaboración del informe de Huella de Carbono Corporativa en entidades públicas del Distrito Capital*. Bogotá D.C.: Secretaría Distrital del Medio Ambiente.
- Segura, M., & Andrade, H. (2012). Huella de Carbono en Cademas productivas de Café (*Coffea arabica*-L.) con diferentes estándares de certificación en Costa Rica. *Revista Luna Azul*, 60-77.
- SQM The worldwide business formula. (2006). *SQM S.A.*. Obtenido de Guía de Manejo Nutrición Vegetal de Especialidad Tomate: http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tomato_L-ES.pdf
- The Cool Farm Tool Alliance. (2011). *The Cool Farm Tool, a User's Guide*. Reino Unido.: Cool Farm Tool Alliance.
- Umaña, J. A. (2012). *Huella de Carbono en los sistemas de producción agrícola dominantes en el municipio de Falán Tolima*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

- Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Centro de Biosistemas. (2015). *Laboratorio de suelos y aguas. Analisis Fisico de Suelos*. Chía-Colombia: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. Centro de Biosistemas.
- Universidad Industrial de Santander - GIDROT. (2011). *Santander 2030 - Diagnostico de Dimensión Biofísico Ambiental Territorial de Santander*. Santander: Universidad Industrial de Santander - GIDROT.
- Upreti, D., Dong, D., Kimball, B., Garg, A., & Upadhyay, J. (2012). *Tecnologías para la mitigación del cambio climático*. Bolivia: PNUMA.
- Velasco, R., & Gonzalez, J. (s.f.). *Quilamapu. Boletín 158*. Obtenido de Costo de Operación o uso de maquinaria agrícola ¿Como evaluarlo?: <http://www2.inia.cl/medios/quilamapu/pdf/bioleche/BOLETIN158.pdf>
- Viglizzo, E. (2010). *Huella de Carbono, ambiente y agricultura en el Cono Sur de Sudamérica*. . Uruguay: Imprenta Boscana.
- Wackernagel, M. (1996). *“Nuestra Huella Ecológica. Reduciendo el impacto Humano sobre la Tierra”*. Canadá.
- Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). A Definition of Carbon Footprint. *Research y consulting ISA UK Research Report*, 1-2.
- Yoshikawa, N., Ikeda, T., Amano, K., & Shimada, K. (2010). *Carbon footprint estimation and data sampling method: a case study of ecologically cultivated rice produced in Japan*. Japon: Greenhouse Gas Inventory Office of Japan .