



## TÍTULO

PROCESOS METABÓLICOS QUE SUSTENTAN LOS ELEMENTOS  
FONDOS BIOFÍSICOS DE AGROECOSISTEMAS HORTÍCOLAS

## AUTORA

Claudia Patricia Barragán Romero

**Esta edición electrónica ha sido realizada en 2020**

Tutor	Manuel González de Molina Navarro
Instituciones	Universidad Internacional de Andalucía ; Universidad Pablo de Olavide ; Universidad de Córdoba
Curso	<i>Máster Oficial en Agroecología : un enfoque para el desarrollo rural sostenible (2018/19)</i>
©	Claudia Patricia Barragán Romero
©	De esta edición: Universidad Internacional de Andalucía
Fecha documento	2019



## Reconocimiento-No comercial-Sin obras derivadas

Usted es libre de:

- Copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra.

Bajo las condiciones siguientes:

- **Reconocimiento.** Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciadore (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o apoyan el uso que hace de su obra).
- **No comercial.** No puede utilizar esta obra para fines comerciales.
- **Sin obras derivadas.** No se puede alterar, transformar o generar una obra derivada a partir de esta obra.
- *Al reutilizar o distribuir la obra, tiene que dejar bien claro los términos de la licencia de esta obra.*
- *Alguna de estas condiciones puede no aplicarse si se obtiene el permiso del titular de los derechos de autor.*
- *Nada en esta licencia menoscaba o restringe los derechos morales del autor.*



## PROCESOS METABÓLICOS QUE SUSTENTAN LOS ELEMENTOS FONDOS BIOFÍSICOS DE AGROECOSISTEMAS HORTÍCOLAS



*Finca  
Hortícola  
Convencional*

Autor: Claudia Patricia Barragán Romero  
Tutor: Manuel González de Molina Navarro



*Finca  
Hortícola  
Ecológica*



*Finca  
Hortícola  
Agroecológica*

Trabajo Fin de Máster en: Agroecología: un enfoque para la sustentabilidad rural

2018 – 2019

## **AUTORIZACIÓN Y VISTO BUENO PARA PRESENTACIÓN DE TFM**

Nombre de alumna: Claudia Patricia Barragán Romero

Título del TFM: Procesos metabólicos que sustentan los elementos fondos biofísicos de agroecosistemas hortícolas

### Resumen

La coevolución del ser humano con su entorno y los procesos de apropiación de los recursos naturales, genera cambios estructurales y funcionales en los agroecosistemas, configurándose diferentes perfiles metabólicos en los sistemas productivos agrarios, este estudio tiene el propósito de analizar el metabolismo de sistemas de producción hortícola convencional, ecológico y agroecológico, encontramos que éste último es más amigable con las especies heterótrofas no domesticadas al disminuir el uso de insumos externos y reemplazarlos por reutilizaciones interna de energía en forma de biomasa, pero con la disminución significativa de la apropiación de biomasa para la sociedad lo cual lo hace menos eficiente energéticamente desde el punto de vista económico, aunque este modo de producción hortícola sustenta la producción y reproducción de los elementos fondos.

Palabras Claves: Metabolismo agrario, apropiación, Producción Primaria Neta (PPN), EROI, Producción hortícola convencional, ecológica y agroecológica.

A la vista del texto final del TFM presentado por Claudia Patricia Barragán Romero con título “Procesos metabólicos que sustentan los elementos fondos biofísicos de agroecosistemas hortícolas”, doy el visto bueno a su presentación y defensa ante el tribunal correspondiente al cumplir los criterios suficientes de calidad en su contenido y forma.

Para que conste y surja los efectos oportunos, lo fimo en Sevilla el 1 de Octubre de 2019.

---

Manuel González de Molina Navarro

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por estar siempre a mi lado, apoyándome y abriendo caminos para mi crecimiento personal y profesional.

A mi madre por su apoyo incondicional.

A la Universidad Internacional de Andalucía por permitirme realizar mis estudios de postgrado.

A los horticultores por su mejor disposición para abrir sus espacios y compartir sus conocimientos.

A mis profesores por poner a su disposición todos sus conocimientos y brindarlo con cariño.

A mis compañeros de estudio del máster, por su afecto, compañía y compartir sus conocimientos.

*La historia del colibrí cuenta, sobre un gran bosque que se estaba incendiando y todos los animales escapaban mientras observaban estupefactos cómo el bosque se quemaba, y todos se sentían muy impotentes, excepto un pequeño colibrí que dijo: “Yo voy a hacer algo contra el fuego”, entonces voló hacia el arroyo, tomó una gota de agua y la arrojó al fuego, fue y vino, fue y vino tan rápido como podía, mientras tanto, otros animales mucho más grandes como el elefante, que con su gran trompa, podía cargar mucha más agua, estaban ahí parados sin ayudar, y diciéndole al colibrí: “¿Qué estás tratando de hacer?, eres muy pequeño y el fuego es muy grande”, “Tus alas son muy chicas y tu pico es tan pequeño que sólo puedes cargar una gota”, pero mientras seguían desalentándolo, sin perder el tiempo él les dijo: “estoy haciendo lo mejor que puedo”.*

*Wangari Maathai, Seré un colibrí.*

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	8
JUSTIFICACIÓN .....	8
HIPÓTESIS .....	9
OBJETIVOS.....	9
MARCO TEÓRICO.....	10
<i>Ecosistemas y agroecosistemas</i> .....	10
<i>Metabolismo social y metabolismo agrario</i> .....	11
<i>Flujos y fondos</i> .....	13
<i>Sostenibilidad, Agroecología y Agricultura</i> .....	13
<i>La energía en los agroecosistemas</i> .....	15
<i>Biomasa dentro de los agroecosistemas y EROI, Retorno de Energía Invertida</i> .....	16
CONTEXTO .....	20
1. <i>Caracterización del Oriente Antioqueño: municipios de El Carmen de Viboral y La Unión</i> ..	20
1.1. Ubicación geográfica .....	20
1.2. Aspectos ambientales, sociales y económicos del Oriente Antioqueño.....	21
1.3. Panorama de la producción hortícola.....	24
METODOLOGÍA.....	25
RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	27
1. <i>Diagnóstico con enfoque sistémico de los sistemas hortícolas convencional, ecológico y agroecológico</i> .....	27
1.1. Resultados del diagnóstico de las fincas hortícolas agroecológica, ecológica y convencional .....	27
1.2. Caracterización de los sistemas productivos con enfoque sistémico.....	30
<i>Sistema finca y agroecosistemas</i> .....	30
<i>Diseño de los agroecosistemas</i> .....	32
<i>Intensificación en el uso del suelo (% de dedicación de áreas)</i> .....	34
<i>Diversidad de especies vegetales</i> .....	35
<i>Asocio con plantas con funciones alelopáticas</i> .....	35
<i>Prácticas desarrolladas dentro de los sistemas hortícolas que contribuyen a la eficiencia energética</i> .....	36

<i>Manejo de los agroecosistemas con subsistemas de cultivo- hortalizas</i> .....	38
<i>Fertilización</i> .....	42
<i>Control de plagas, enfermedades y arvenses</i> .....	44
<i>Economía del trabajo</i> .....	47
<i>Autoconsumo</i> .....	48
<i>Uso de conocimientos y habilidades</i> .....	48
<i>Maximización de valor agregado y complementación con otras actividades para optimizar las ganancias</i> .....	48
<i>Comercialización hortícola</i> .....	50
<i>Coherencia agro-técnica que se da por el entorno cultural, socioeconómico y biofísico de cada sistema hortícola</i> .....	51
<i>2. Evaluación de procesos metabólicos de sistemas hortícolas</i> .....	52
CONCLUSIONES .....	66
RECOMENDACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES .....	67
BIBLIOGRAFÍA .....	67
ANEXOS.....	72

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación geográfica del Oriente Antioqueño y municipios de La Unión y El Carmen de Viboral. ....	20
Figura 2: Mapa Finca Hortícola agroecológica Renacer en el municipio de El Carmen de Viboral	28
Figura 4: Mapa de la finca hortícola ecológica El Herbolario en el municipio de La Unión .....	29
Figura 3: Mapa de Finca Hortícola Convencional El Raizal en el municipio de El Carmen de Viboral .....	29
Figura 5: Esquema del sistema finca y sus subsistemas, flujos generados dentro de las fincas agroecológica (A), Ecológica (B) y Convencional (C) .....	31
Figura 6: Agroecosistema con subsistema de cultivo – hortalizas en la finca agroecológica .....	32
Figura 7: Hojarasca del bosque (A); y Guadua de la barrera viva (B) en la finca hortícola agroecológica.....	33
Figura 8: Pasto imperial ( <i>Axonopus Scoparius</i> ) (A), Maralfalfa ( <i>Pennisetum purpureum</i> Milheto x <i>Pennisetum glaucum</i> ) (B) del agroecosistema mixto; y subsistema animal (Gallinas) (C) en la Finca hortícola Agroecológica .....	33
Figura 9: Agroecosistema con subsistema de cultivo – Hortalizas en la finca ecológica .....	34
Figura 10: Agroecosistema con subsistema de cultivo – Hortalizas en la finca convencional.....	34
Figura 11: Plantas acompañantes de las hortalizas en la finca agroecológica ( <i>Cicuta</i> ( <i>Conium maculatum</i> ) (A); Amarantho ( <i>Amaranthus sp</i> )(B); Tabaco ( <i>Nicotiana tabacum</i> ) (C); Quinua	

( <i>Chenopodium quinoa</i> ) (D); Girasol ( <i>Helianthus annuus</i> ) (E); Ruda ( <i>Ruta sp</i> ) (F); Lupino ( <i>Lupinus sp</i> ) (G) y Mostaza ( <i>Sinapis alba</i> ) (H).....	35
Figura 12: Plantas acompañantes de las hortalizas en la finca ecológica (Lavanda ( <i>Lavandula sp</i> ) (A); Verdolaga ( <i>Portulaca oleracea</i> ) (B); Salvia ( <i>Salvia sp</i> ) (C); Hinojo ( <i>Foeniculum vulgare</i> ) (D); Manzanilla ( <i>Chamaemelum nobile</i> ) (E); Ruda ( <i>Ruta sp</i> ) (F); y Caléndula ( <i>Calendula officinalis</i> ) (G).....	36
Figura 13: Esquema de arreglos espaciales en los tres sistemas productivos: Finca Hortícola agroecológica (A); Finca Hortícola Ecológica (B); Finca Hortícola Convencional (C). ....	37
Figura 14: Bio-insumos elaborados en la finca hortícola agroecológica. Lombricompost (A); Biofertilizante (B); Compost (C) .....	43
Figura 15: Bio insumos elaborados en la finca hortícola ecológica. Biochar (A); compost (B); biofertilizante (C).....	44
Figura 16: Aplicación de cal y gallinaza en el momento de siembra en la finca hortícola convencional.....	44
Figura 17: Finca hortícola convencional. Fumigación (A); Lechugas enfermas (B); Repollo con raíces cortas y atrofiadas (C). ....	46
Figura 18: Queso (A); Mantequilla (B); deshidratador solar artesanal (C); y Maíz germinado para gallinas (D) en la finca hortícola agroecológica. ....	49
Figura 19: Presentación de alimentos de la finca hortícola ecológica .....	49
Figura 20: Presentación de lechugas y repollos listos para la comercialización de la finca hortícola convencional.....	49
Figura 21: tipos de canales de comercialización de hortalizas. Finca hortícola Agroecológica y Ecológica (A); Finca hortícola Convencional (B) .....	51
Figura 22: Flujo de materiales, energía e información en la finca hortícola convencional .....	53
Figura 23: Flujo de materiales, energía e información en la finca hortícola ecológica .....	54
Figura 24: Flujo de materiales, energía e información en la finca hortícola agroecológica .....	54
Figura 25: Residuos de brócoli (Tallos, hojas, raíces y cabezas defectuosas de repollo) de la finca hortícola convencional. ....	57
Figura 26: Insumos externos (IE) (MJ/Ha), Producción Primaria Neta (PPN) (MJ/Ha), Biomosas Reutilizada (BRu) (MJ/Ha) y Vegetal socializada (BSV) (MJ/Ha) en la finca hortícola convencional.....	59
Figura 27: Insumos externos (IE) (MJ/Ha), Producción Primaria Neta (PPN) (MJ/Ha), Biomosas Reutilizada (BRu) (MJ/Ha), Biomasa Acumulada (BA) (MJ/Ha), Biomasa No cosechada (BNC) (MJ/Ha) y Vegetal socializada (BSV) (MJ/Ha) en la Finca hortícola Ecológica. ....	60
Figura 28: Insumos externos (IE) (MJ/Ha), Producción Primaria Neta (PPN) (MJ/Ha), Biomosas Reutilizada (BRu) (MJ/Ha), Biomasa Acumulada (BA) (MJ/Ha), Biomasa No cosechada (BNC) (MJ/Ha) y Vegetal socializada (BSV) (MJ/Ha) en la Finca hortícola Agroecológica. ....	61

## **LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1: Cuadro comparativo de manejo de subsistemas de cultivo.....	40
Tabla 2: Biomosas y EROIs de los sistemas productivos convencional, ecológico y agroecológico. .....	62

## **INTRODUCCIÓN**

De acuerdo con Loyola (2017), la explotación de un territorio ha llevado desde la organización social a condicionar la forma de coevolucionar los agricultores con su entorno natural, mediado desde su realidad socioeconómica, propios intereses y agentes externos (políticos, sociales, económicos, técnicos, culturales y ambientales), puesto que la lógica de manejo de un sistema productivo es respuesta a una coherencia en la combinación de fuerzas al interior del sistema agrario. Por otra parte, según Dufumier (1990) no solo las condiciones ecológicas son tenidas en cuenta para escoger por ejemplo las técnicas agrícolas, sino también las consideraciones económicas y sociales, lo que condiciona los estilos de agricultura y por ende los procesos de apropiación de los recursos naturales en las actividades agrarias.

De acuerdo con Guzmán y González de Molina, (2017) el enfoque metabólico en los sistemas agrarios proporciona información sobre la estructura y el funcionamiento de los diferentes estilos de agricultura, ya sea tradicional, u orgánico o industrializada, abordando los modos de apropiación que generan procesos de entradas (input) y salidas (output), ya que éstos son determinantes en la sostenibilidad de los agroecosistemas.

Esta investigación pretende analizar los procesos metabólicos en sistemas de producción hortícola convencional, ecológica y agroecológica, dado que repercuten en el mantenimiento de los elementos fondos que hacen parte la estructura de los agroecosistemas y que son indispensables para la sostenibilidad de los mismos.

La forma como se dispone la información en este documento comprende la contextualización, para el cual se evidencia la ubicación geográfica, los aspectos ambientales, sociales y económicos y un panorama general de la producción hortícola en el Oriente Antioqueño, con especial énfasis en los municipios de El Carmen de Viboral y La Unión que es donde están ubicados las fincas estudiadas; diagnóstico con un enfoque sistémico de los sistemas hortícolas convencional, ecológico y agroecológico donde se evidencian aspectos claves que determinan la estructura y función de cada uno (diversidad de especie, diseño de agroecosistemas, control fitosanitario, fertilización, manejo del tiempo laboral, autoconsumo, intensidad de producción, comercialización, entre otros); evaluación de procesos metabólicos de los sistemas hortícolas en cuestión; por último las conclusiones y las recomendaciones y futuras investigaciones.

## **JUSTIFICACIÓN**

El departamento de Antioquia es uno de los mayores productores de hortalizas en Colombia, siendo el Oriente la subregión con la mayor producción. Si bien existen múltiples iniciativas que promueven la minimización el impacto negativo de las actividades

agrarias sobre el medio ambiente, se presentan divergencias en los modos de apropiación de los recursos naturales, la mayoría de los productores de la subregión desarrollan prácticas asociadas con la transformación de ecosistemas y pérdida de servicios ecosistémicos como son el cambio de uso del suelo, apertura de la frontera agrícola, dispersión de fertilizantes y agroquímicos en cantidades contaminantes en suelos y cuerpos de agua, y labranza excesiva del suelo, el territorio ha dejado de proporcionar los flujos de nutrientes y energía necesarios para el funcionamiento del agroecosistema, se ha reducido el uso de insumos interno y han sido reemplazados por fertilizantes químicos y maquinaria alimentada por combustibles fósiles. Es de gran importancia darle una mirada al estado y sostenibilidad de los sistemas hortícolas y el enfoque metabólico brinda las herramientas para hacerlo.

## **HIPÓTESIS**

A partir del análisis comparativo del metabolismo de los sistemas hortícolas convencional, ecológico y agroecológico, se espera que las dos últimas tengan mayor inversión de energía en forma de biomasa reutilizada y no cosechada, siendo importante desde un punto de vista agroecológico, dado que favorecerá la producción y reproducción de los elementos fondos, la buena disponibilidad de la Producción Primaria Neta y sostenibilidad de los agroecosistemas, teniendo menor inyección y dependencia de insumos externos de síntesis química en comparación con la finca hortícola convencional.

## **OBJETIVOS**

**General:** Analizar los procesos metabólicos en sistemas de producción hortícola que repercuten la producción y reproducción de sus elementos fondos y su sostenibilidad.

### **Específicos:**

- Caracterizar con enfoque sistémico tres fincas que comprenden: 1. Sistemas de producción hortícola convencional; 2. Sistemas de producción hortícola ecológica; 3. Sistemas de producción hortícola agroecológica.
- Probar la metodología de metabolismo agrario, determinando los indicadores Retorno de Energía de la Inversión (EROI) en sistemas productivos hortícolas convencional, ecológico y agroecológico.

## MARCO TEÓRICO

### *Ecosistemas y agroecosistemas*

Un ecosistema es un sistema de organismos vivos y del medio ambiente con el que intercambia energía y materia, forman una estructura y una función, reflejando procesos físicos y bióticos (Hart, 1985; Smith y Smith, 2007).

Todos los procesos ecológicos son el resultado de la transferencia de materia y energía, siendo éstos flujos lo que mantiene la vida dentro del ecosistema, al percibirlo como la continuación de las vías metabólicas a través de los organismos. Para que se dé el flujo de energía en un ecosistema se requiere de la producción primaria neta, que implica llevarse a cabo procesos de fotosíntesis, acceso, absorción e incorporación de minerales esenciales en sus tejidos, para posteriormente transitar por toda la cadena trófica que es una serie de pasos de digerir y ser digeridos, estando en los tejidos vegetales una proporción significativa de los nutrientes dentro de un ecosistema (Capra, 1996; Smith y Smith, 2007).

Cabe señalar que la producción primaria neta (PPN) es la energía asimilada por las plantas durante la fotosíntesis que convierte la energía solar en compuestos orgánicos, menos la energía utilizada en el proceso de respiración para mantener su propia biomasa, por lo tanto es la energía que realmente es incorporada en los tejidos de las plantas, por lo que la PPN puede ser expresada en términos de energía acumulada (Julios/hectárea/año) o en térmicos de material orgánico sintetizado ( $\text{gramos/m}^2/\text{día}$ ,  $\text{Kg/Hectárea/año}$ ) (Hart, 1985; Guzmán, *et al.*, 2014).

Las leyes de la termodinámica son las que dirigen la energía, la primera ley afirma que es posible transferir energía, pero ésta no se destruye ni se crea, la segunda ley indica que cuando se transfiere energía parte de ella deja de ser utilizable, por lo que a medida que la energía recorre un ecosistema, gran parte de ella se pierde en forma de calor respiratorio, entonces la energía se degrada de un estado más organizado a uno menos organizado o entropía, pero por el continuo flujo de energía solar se evita que los ecosistemas se destruyan (Smith y Smith, 2007).

De acuerdo con Sarandón y Flores (2014), en los ecosistemas la energía aportada por el sol es suficiente, en general, para mantener la estructura y complejidad de procesos que ocurren en el mismo, aun en sistemas tan complejos y diversos, pero los agroecosistemas se requiere del aporte de fuentes de energía en forma de trabajo humano o de diferentes tipos de insumos y este aporte externo varía con el tipo de actividad y el grado de intensificación de la misma.

El agroecosistema se considera como la unidad fundamental de estudio cuando se aborda un enfoque agroecológico, son en sentido estricto sistemas ecológicos transformados por la

agricultura, esto porque el hombre establece sistemas agrícolas dentro de los sistemas ecológicos, estando representados por fincas, que en su conjunto de componentes funciona como una unidad de producción dentro del sector agrícola de una región, éstos componentes son de tipo socioeconómico, físico y biótico, siendo los dos últimos los que forman una unidad análoga al ecosistema, estos son llamados agroecosistemas (ecosistema agrícola) (Hart, (1985); Altieri (1995); y León (2012)). Esto va en sintonía con lo que Gonzáles de Molina, (2011) menciona, que un agroecosistema son ecosistemas artificializados, producto de la manipulación socialmente organizada de un ecosistema para la producción de biomasa útil, reflejándose relaciones de naturaleza socioecológica, son parte de la naturaleza y al mismo tiempo de la sociedad (González de Molina, (2012); Guzmán y González de Molina, (2017)).

Desde una perspectiva termodinámica, Fath *et al.*, (2004) y Guzmán y González de Molina, (2017) consideran los agroecosistemas como sistemas adaptativos complejos que disipan la energía para compensar la ley de la entropía, para ello, intercambian flujos de energía y materiales con su entorno. Tello y Galán del Castillo (2013), definen el agroecosistema como un bucle energético en el cual la sociedad inyecta cierta cantidad de flujos energéticos, con la finalidad de apropiarse, redirigir y transformar la energía solar en producción primera neta a través de la fotosíntesis.

### ***Metabolismo social y metabolismo agrario***

Cuando la sociedad establece relaciones de intercambio de energía, materiales e información con la naturaleza, surge lo que se denomina metabolismo social, comenzando cuando los seres humanos socialmente agrupados independientemente de su situación en el espacio (formación social) y en el tiempo (momento histórico), se apropian de materiales y energías de la naturaleza (*input*), circulan, transforman, consumen y finaliza cuando depositan desechos, emanaciones o residuos en los espacios naturales (*output*), generándose flujos de entrada, interiores y de salida (Toledo y González de Molina, (2005); Toledo, (2008); Gonzáles de Molina, (2011); Toledo, (2013); González de Molina y Toledo, (2014); Guzmán y González de Molina, (2017)).

Durante el proceso general de metabolismo, se genera una relación recíproca entre la sociedad y la naturaleza, pues la forma en que los seres humanos se organizan en sociedad determina la forma en que ellos afectan, transforman y se apropian de la naturaleza, la cual a su vez condiciona la manera como las sociedades se configuran (Toledo y González de Molina, 2005).

El acto de la apropiación constituye de acuerdo con Toledo y González de Molina (2005); Toledo, (2008); González de Molina y Toledo, (2011); Sorman y Giampietro, (2013); y Toledo (2013) la primera forma de intercambio entre la sociedad humana y la naturaleza,

son de forma individual o biológica (energía endosomática metabolizada dentro del cuerpo humano, extraen de la naturaleza cantidades suficientes de oxígeno, agua y biomasa por unidad de tiempo para sobrevivir como organismos, y excretan calor, agua, bióxido de carbono y sustancias mineralizadas y orgánicas) y colectivas o sociales (energía exosomática, metabolizada bajo el control humano y fuera del cuerpo humano, extrayendo también materia y energía de la naturaleza por medio de estructuras o artefactos, y excretan toda una gama de residuos o desechos).

De acuerdo con Toledo y González de Molina, (2005) y Guzmán y González de Molina, (2017) las sociedades están sujetas a las leyes de la entropía por el hecho de intercambiar energía, materia e información con su entorno y la necesidad de disipar calor (entropía) para su existencia, como cualquier sistema físico y biológico la tendencia natural es hacia la máxima entropía, por lo que las sociedades humanas producen y reproducen sus condiciones materiales de existencia, optando por estructuras disipativas para equilibrar esta tendencia y mantenerse alejados de la máxima entropía y ganar orden interno o neguentropía.

Dichas estructuras son de tipo biológico y tecnológico (herramientas y artefactos mecánicos, electrónicos y digitales) apoyándose de sus capacidades, conocimiento y la tecnología. Por lo tanto, el metabolismo de una sociedad será la suma del metabolismo biológico (determinado genéticamente) y tecnológico (determinado culturalmente) construido por la sociedad a lo largo del tiempo, permitiendo el metabolismo individual de sus miembros (uso energía endosomática) (Guzmán y González de Molina, 2017)

La relación entre la naturaleza y la sociedad es debido a que ofrece dos servicios básicos que la naturaleza ofrece a las sociedades humanas: una función de recurso, que está determinada por la capacidad de regeneración de los ecosistemas y una función de procesamiento de desechos, proporcionada por la capacidad de absorción de los ecosistemas (Guzmán y González de Molina, 2017). Pero debido al preponderante régimen metabólico industrial y consecuentemente aumento de energía exosomática, implicando mayor apropiación, transformación, circulación, consumo e incremento de la excreción, se decae la posibilidad de que la naturaleza pueda cumplir dichas funcionalidades.

Cuando se trata de un intercambio de energía y materiales que hace un sector agrario de una sociedad con su medio ambiente se trata de metabolismo agrario, para el cual requiere la colonización de determinados ecosistemas y la apropiación de parte de la Productividad Primaria Neta (PPN) producto de la fotosíntesis dentro de los agroecosistemas. El metabolismo agrario desempeña las tareas de manejar a los agroecosistemas y otros espacios naturales para la apropiación y producción de biomasa terrestre, generación residuos y prestación servicios ambientales (González de Molina, 2010; González de Molina, 2011).

Entonces en el proceso de artificialización de los ecosistemas el hombre captura y convierte energía solar en alguna otras formas particulares de biomasa, es decir, comida, fibra, medicina, materias primas, éstos se tornan inestables por lo que se requiere energía y materiales del exterior para su continuidad en el tiempo (González de Molina, 2011), puesto que el sector agrario ha sido expulsado del sistema energético y se ha convertido en receptor de energía y materiales de otros lugares (Guzmán y González de Molina, 2017).

### ***Flujos y fondos***

El fondo es lo que el sistema es y lo que debe mantenerse en el proceso metabólico y el flujo es lo que el sistema hace en su interacción con el contexto (a gran escala) y eso entre sus componentes internos (a escala local). La función de dichos flujos es configurar y alimentar los fondos construidos por las sociedades para generar bienes y servicios y contrarrestar el principio de la entropía a través de la generación de orden, por lo tanto la organización interna de un sistema se define por características cuantitativas y cualitativas de los elementos fondos que consumen o generan flujos continuos de energía, materia e información a una velocidad determinada (Giampietro et al., (2011); Madrid, (2014); Guzmán y González de Molina, (2017)).

Los fondos son la base biofísica (estructuras disipativas) del proceso de producción humana que tiene lugar en los agroecosistemas (suelo, agua, biodiversidad, ganado), capaces de transformar el flujo de recursos naturales en un flujo de productos económicamente valiosos. Por ser manejados por seres humanos, la salud de los agroecosistemas reflejado en la cantidad, calidad y sostenibilidad de los elementos fondos y la velocidad de prestación de servicios dependerá del manejo y gestión de los mismos, además tendrían que procesar energía externa, materiales e Información para producir biomasa que a su vez, proporciona un flujo que alimenta otras estructuras disipativas del metabolismo agrario (Tello y Galán, 2013; Tello *et al.*, (2015); Guzmán y González de Molina, 2017).

La capacidad productiva de un agroecosistema depende los elementos fondos, y hay flujos productivos que impulsan el funcionamiento de los elementos del fondo y flujos reproductivos que son cruciales para su mantenimiento en el tiempo (Guzmán y González de Molina, 2017).

Cabe señalar que hay elementos fondos biofísicos y sociales, estrechamente relacionados por las relaciones socioecológicas dentro del metabolismo agrario (Guzmán y González de Molina, 2017).

### ***Sostenibilidad, Agroecología y Agricultura***

Sostenibilidad desde la metodología de metabolismo agrario, se entiende como la capacidad de un agroecosistema de proporcionar un nivel óptimo de producción de biomasa a lo largo del tiempo sin deteriorar los componentes estructurales y funcionales de los agroecosistemas, mientras se mantiene la provisión de servicios ecosistémicos, esto implica dejar libre flujos de energía y materia para mantener las estructuras biofísicas de los elementos fondos que garanticen funciones ambientales básicas (Altieri (1994); Tello y Galán del Castillo, (2013); Guzmán y González de Molina, (2017)).

León y Altieri (2010), definen la agroecología como una ciencia que estudia la estructura y función de los agroecosistemas tanto desde el punto de vista de sus interrelaciones ecológicas como culturales. Tomando a consideración una perspectiva agroecológica, el metabolismo se basaría en un enfoque biocéntrico de las relaciones entre la sociedad y la naturaleza, por lo que el metabolismo asumiría un papel importante para los sostenibilidad agraria (Guzmán y González de Molina, 2017).

La agroecología aborda una serie de preocupaciones acerca de agricultura que es concebida como el resultado de la coevolución de los sistemas socioeconómicos y naturales, por lo que propone ajustes mayores en la agricultura convencional para hacerla ambientalmente, socialmente y económicamente más viable y compatible (Altieri, 2002).

La agricultura sostenible del futuro enfrenta el desafío de satisfacer las necesidades humanas a un costo mínimo de energía (insumos abióticos) y basar su funcionamiento una vez más en los flujos de energía renovable, disminuir la perturbación ecológica, emplear métodos de producción que re-establezcan los mecanismos homeostáticos para la estabilidad de la comunidad, optimizar las tasas de reciclaje de materia orgánica y nutrientes, mientras mantiene la capacidad renovable de los agroecosistemas y sus servicios ecológicos, lo que requiere optimización multidimensional muy compleja. Por otra parte, el enfoque agroecológico orienta el desarrollo de agroecosistemas que potencian los flujos y ciclos naturales para que los mismos interactúen en favor del desempeño productivo de cultivos y ganado, caso contrario en el paradigma dominante que se dirige exclusivamente a la población de la especie vegetal o animal de mayor interés económico en el sistema productivo y no a las comunidades bióticas a las cuales ella pertenece, para tal caso, los agroecosistemas son diseñados para controlar el ambiente agrícola y simplificar sus redes de interacciones ecológicas por medio del aporte intensivo de insumos externos y energía no renovable (Altieri, (1987); Petersen, (2013); Tello *et al.*, (2015)).

Delgado (2010) comenta que el sistema agroalimentario globalizado se nutre de materiales y energía y los transforma en mercancías que se consumen como alimentos y en residuos segregados a lo largo del proceso. Siendo el objetivo de la agricultura manipular los flujos de energía con el propósito de obtener una cierta Productividad Primaria Neta (PPN) que pueda ser extraída como producto (Sarandón y Flores, 2014), la cuestión es que la sociedad

establece diferentes niveles de intervención e interferencia de la estructura y funcionamiento de los ecosistemas dando lugar a diferentes tipos de agroecosistemas y la actual forma de realizar la agricultura está sometiendo los ecosistemas para aumentar la capacidad productiva e irrespetando los mecanismos de reproducción (Sevilla y González de Molina, (1996); Guzmán y González de Molina, (2017)). De acuerdo con León y Altieri (2010) la agricultura constituye tal vez el más importante acto de transformación ecosistémica de la especie humana realizado a través de su adaptación cultural.

Los cambios socioecológico y los cambios en la estructura y funcionamiento de los agroecosistemas, hace que las importaciones sean indispensables para generar biomasa, para tal fin, la configuración espacial de los agroecosistemas es más simplificado, con monocultivos y con uso de agrotóxicos, o de hecho, puede optarse por tipos de producción agrícola que se basen en sustitución de insumos tóxicos por otros menos nocivos pero que de igual manera, mantiene la dependencia de insumos externos y la vulnerabilidad ecológica, social y económica (Rosset y Altieri, (1997); Guzmán y González de Molina, 2017)).

La civilización industrial ha transformado radicalmente el papel de las actividades agrarias en el metabolismo social, la producción de biomasa ya no proporciona la mayor parte de la energía requerida por la sociedad para funcionar (Guzmán y González de Molina, 2017), ahora se ha convertido en un exigente de energía, por lo que sin el ingreso de energía externa, una gran proporción de la agricultura mundial simplemente no podría funcionar (Gliessman, 1998).

Desde la perspectiva agroecológica, Sevilla y González de Molina (1996) definen la agricultura alternativa como aquella que intenta mantener un medio ambiente balanceado, rendimiento y fertilidad del suelo y control de plagas, para el cual se debe tener diseñado agroecosistemas diversificados y empleando tecnologías auto-sostenibles, además debe abordar conceptos ecológicos para tener un óptimo ciclaje de nutrientes y materia orgánica, flujos cerrados de energía y poblaciones balanceadas de plagas.

### ***La energía en los agroecosistemas***

A diferencia de los ecosistemas, que aún conservan su capacidad de auto mantenimiento, auto reparación y auto reproducción, los agroecosistemas son inestables y requieren energía externa para su mantenimiento, reparación y reproducción (Gliessman *et al.*, 1998).

Los flujos de energía que entran en los agroecosistemas son directamente proporcionales al grado de intervención humana en esos sistemas. Cuando la intervención es mínima y generalmente respeta la dinámica y el funcionamiento de los ecosistemas (con una alta densidad de bucles internos), el flujo de energía importada o externa también es mínimo (Gliessman, 1998, p. 276). Guzmán y González de Molina, (2017) mencionan que un

agroecosistema con elementos de fondo que requieren la disipación de bajos niveles de energía para su mantenimiento y reproducción a través de esos procesos de recirculación, genera a su vez una baja entropía en su entorno y minimiza los flujos de energía externa. En efecto, si la energía de baja entropía requerida para el funcionamiento de los sistemas es proporcionada por los bucles internos disponibles, los requisitos de energía externa serán menores y la entropía total disminuirá. Los sistemas que operan de esta manera son, sin duda, sistemas de baja entropía que son mucho más duraderos y sostenibles a escala humana. En contraste, cuando la complejidad interna de un agroecosistema se reduce sustancialmente, disminuye los bucles internos. Necesita generar recursos internos mediante la importación de cantidades significativas de energía. En estos casos, la entropía total también aumenta significativamente y nos encontramos ante un agroecosistema de alta entropía cuya sostenibilidad está seriamente comprometida.

Para la reproducción de los elementos fondos se requiere de energía en forma de biomasa y ésta puede ser proporcionada parcialmente por energía externa, dado que las cadenas alimentarias que sustentan la vida en el suelo como la biodiversidad, en general, sólo pueden alimentarse con biomasa. La sustitución puede permitir que el sistema funcione, con un cierto aumento de la entropía total y el aumento de la biomasa comercial, pero esto puede tener el costo de no reproducir los elementos del fondo y, por lo tanto, reducir la sostenibilidad del agroecosistema. Para el mantenimiento de bucles internos en los agroecosistemas es importante que parte significativa de la producción primaria neta sea para alimentar los elementos fondos (Guzmán y González de Molina, 2017). De acuerdo con Tello *et al.*, (2015), los flujos socioeconómicos externos se han convertido en sustitutos de la reinversión de los flujos internos de materia orgánica para aumentar los rendimientos por unidad de cultivo o mano de obra.

Los sistemas agrícolas tradicionales se han ido conformando durante siglos a partir de una coevolución cultural y biológica, y representan la experiencia acumulada de las campesinas y campesinos en su interacción con el medio ambiente, sin contar ni con insumos externos, ni con capitales, la energía provenía de lo que puede denominarse energía cultural biológica renovable, como el trabajo humano, el trabajo animal y el estiércol. Pero la agricultura moderna utiliza energía derivada de la energía cultural industrial no renovable (Guzmán y González de Molina, (2017); (Rosset y Altieri, 1997)). De acuerdo con Guzmán y González de Molina, (2017) el desafío es trabajar hacia los agroecosistemas que desempeñan las funciones duales de proporcionar sustento a los seres humanos, así como realizar los servicios ecosistémicos necesarios para un planeta sano.

### ***Biomasa dentro de los agroecosistemas y EROI, Retorno de Energía Invertida***

Los EROI Retorno de Energía invertida, son indicadores para medir la eficiencia del uso de energía en el intercambio de energía entre los sistemas agrarios y el medio ambiente, para

establecer si este intercambio metabólico es sostenible en el tiempo, es decir, si un sistema agrícola determinado puede mantener simultáneamente su producción de biomasa y servicios del ecosistema o si los degrada, lo que requiere cantidades crecientes de energía externa para compensar su pérdida, esto permite tomar decisiones vitales en las actividades productivas (Guzmán y González de Molina, 2015; 2017).

La medición de la eficiencia energética a través de indicadores como los EROI puede, si se realiza adecuadamente, reflejar la densidad y la interconexión de ciclos internos e indicar si son estructuras disipativas de baja entropía, si son más o menos sostenibles (Guzmán y González de Molina, 2017).

Debido a que no todas las fuentes de energía tienen la misma capacidad de reproducir o activar los elementos fondos de los agroecosistemas, es necesario distinguir entre las fuentes de energía y materiales bióticos y abióticos al calcular los flujos de entrada que recirculan a través de los agroecosistemas, además dar cuenta de la cantidad y calidad biomasa, si son suficientes para el funcionamiento, mantenimiento y reproducción de los elementos de fondo del agroecosistema (Guzmán y González de Molina, 2017).

Primero se debe considerar las importaciones de energía (I), que ingresan al metabolismo agrario, mejoradas en MJ / año. Tanto la cantidad de biomasa importada como de otros tipos de materiales (combustibles fósiles, minerales metálicos y no metálicos y materiales de construcción) y los bienes de capital y combustible utilizados por la agricultura. Además es necesario dividir la productividad primaria neta (NPP) del agroecosistema en varias categorías diferentes, ya que permite evidencias las diferentes funciones básicas que desempeña la biomasa en la reproducción de otros elementos de los fondos de los agroecosistemas, se distinguen principalmente entre su uso por parte de los humanos, los animales o el agroecosistema (Guzmán y González de Molina, 2017):

Biomasa vegetal socializada es la biomasa vegetal (madera, leña, cereal, olivas, etc.) que es apropiadamente por la sociedad humana, extraída de los agroecosistemas. De la misma manera, la biomasa animal socializada es el animal de la granja (animal, leche, lana, huevos, etc.) que es apropiado directamente por la sociedad (Guzmán y González de Molina, 2015; 2017).

La biomasa reciclada es la biomasa que no se apropia directamente de la sociedad ni se acumula en las estructuras de las plantas vivas, pero que se reincorpora al agroecosistema ya sea de manera intencional o no. La biomasa reciclada, a su vez, se puede dividir en dos: 1. Biomasa reutilizada es la parte que regresó al agroecosistema de forma intencionada por el agricultor, se realiza a través del trabajo humano y tiene un propósito agronómico que es reconocido por el agricultor, esta biomasa contribuye a mantener la biodiversidad y la fertilidad al ser una reinversión en el mantenimiento de sus fondos básicos que

proporcionan estos servicios ecológicos en los agroecosistemas; 2. Biomasa no cosechada, que es esa parte que simplemente se abandona y se le permite regresar al agroecosistema sin propósito específico y su regreso al sistema no implica trabajo humano, esta biomasa tienen mucho que ver con los servicios ecológicos básicos que los agroecosistemas (Guzmán y González de Molina, 2015; 2017; Tello *et al.*, 2015).

Biomasa acumulada (AB) en agroecosistemas con especies perennes, que es otra porción de biomasa que se acumula anualmente en la estructura aérea (tallo y corona) y las raíces (Guzmán y González de Molina, 2015; 2017).

Un EROI es la relación entre la energía suministrada por un proceso y la energía utilizada directa e indirectamente en este proceso de suministro. La salida del numerador y las entradas del denominador se miden en las mismas unidades, por lo tanto, la relación no tiene dimensiones (Tello *et al.*, 2015).

Un primer EROI es el Final EROI nos permite ver en qué medida se satisfacen las necesidades humanas, por lo que evalúa la cantidad de insumos externos e internos que se deben invertir para obtener productos consumibles (Tello *et al.*, 2015):

Final EROI (FEROI) = Biomasa socializada (Vegetal y/o animal) / (Biomasa reusada + Insumos externos)

Desde la perspectiva del agricultor/a o la sociedad, cuando las entradas externas se mezclan con la biomasa reutilizada en el total de insumos empleados, no se aprecia la importancia de la biomasa reutilizada para el mantenimiento de los procesos ecológicos dentro de los agroecosistemas, para ello es conveniente descomponer este indicador en dos: el EROI Final Externo, que permite analizar en qué medida un agroecosistema es un proveedor o un consumidor de energía y EROI Final Interno, que explica la eficiencia con la que la biomasa se devuelve intencionalmente al agroecosistema y se transforma en un producto útil para la sociedad (Tello *et al.*, 2015; Guzmán y González de Molina, 2015; 2017):

External final EROI (EFEROI) = Biomasa socializada / Insumos externos

Internal final EROI (EFEROI) = Biomasa socializada / Biomasa Reusada

Por otra parte, también hay unos EROI para medir el estado del agroecosistema y su sostenibilidad, que significa que un agroecosistema podría proporcionar un nivel óptimo de producción de biomasa a lo largo del tiempo sin deteriorar la base de sus elementos de fondo y al mismo tiempo mantener una prestación óptima de los servicios del ecosistema. Por lo tanto, los EROI agroecológicos nos informan de la productividad real del agroecosistema, no solo de la parte que se socializa. Estos EROIs indica el uso que se le da

a la biomasa, si se invierte en la reproducción de los elementos fondos. Se tienen cuatro EROIs diferentes (Guzmán y González de Molina, 2015; 2017; Tello *et al.*, 2015):

$$\text{NPPact EROI} = \text{PPN} / \text{Biomasa Reusada} + \text{Biomasa no cosechada} + \text{Insumos externos}$$

El NPPact EROI expresa el retorno de energía en términos de la biomasa total obtenida a través de la conversión fotosintética de la radiación solar en el agroecosistema, que luego está disponible para mantener a los humanos, así como al resto de la biodiversidad asociada, por otro lado explica la capacidad productiva real del agroecosistema, independiente del origen de la energía que recibe, solar para la biomasa o fósil para una parte importante de los insumos externos. El decrecimiento de los valores de NPP en el tiempo indica el deterioro de la capacidad productiva (Guzmán y González de Molina, 2015; 2017; Tello *et al.*, (2015)).

$$\text{Agroecological EROI} = \text{Biomasa socializada} / (\text{Biomasa Reusada} + \text{Biomasa no cosechada} + \text{Insumos externos})$$

$$\text{Biodiversity EROI} = \text{Biomasa no cosechada} / (\text{Biomasa Reusada} + \text{Biomasa no cosechada} + \text{Insumos externos})$$

Las proporciones en los flujos de biomasa no cosechada y Biomasa Reutilizada pueden capturar en términos energéticos dos lados importantes de la biodiversidad asociada en los agroecosistemas: hábitats y cadenas alimentarias disponibles para todas las demás formas de vida silvestre (Tello *et al.*, 2015).

Para éste último EROI se tiene 0 indica una intervención humana significativa, en la que no queda biomasa para las especies heterótrofas silvestres y tiene un valor máximo de 1 cuando no hay entradas externas y la biomasa no es reutilizada por la sociedad (Guzmán y González de Molina, 2017).

El siguiente EROI nos indica si la energía agregada al sistema se está almacenando en forma de biomasa acumulada, que puede considerarse como un elemento fondo, en la medida que puede relacionarse con los servicios ecosistémicos proporcionados por el bosque y/o con los beneficios de sistemas agroforestales, lo que es deseable (Guzmán y González de Molina, 2017).

$$\text{Woodening EROI} = \text{Biomasa acumulada} / (\text{Biomasa Reusada} + \text{Biomasa no cosechada} + \text{Insumos externos}).$$

## CONTEXTO

### 1. Caracterización del Oriente Antioqueño: municipios de El Carmen de Viboral y La Unión

#### 1.1.Ubicación geográfica

El Oriente es una de las nueve subregiones que dividen el departamento de Antioquia - Colombia, tiene una extensión territorial de 702,100 Ha que corresponde al 11% del territorio departamental y 0,6% del territorio nacional. Con relación a la ubicación geográfica, al norte limita con el Área metropolitana, al oriente con el Magdalena medio, una fracción del suroeste en el límite occidental y al sur con el departamento de Caldas, se encuentra entre los 5° 27' y 6° 33' de latitud norte y entre 74° 35' y 75° 36' de longitud al oeste del Meridiano de Greenwich (Toro, 2010; PLANE0, 2011; CCOA, 2016; Zapata *t al.*, 2017).



**Figura 1:** Ubicación geográfica del Oriente Antioqueño y municipios de La Unión y El Carmen de Viboral.

Desde su división político-administrativo, la subregión está conformada por 23 municipios agrupados por zonas según la homogeneidad en sus dinámicas socioeconómicas, culturales y físico-naturales, entonces se tiene: El altiplano o Valle de San Nicolás con 176,600 Ha (31.400 urbanas y 145.200 rurales) (Municipios de El Carmen de Viboral, El Retiro, EL Santuario, Guarne, La Ceja, La Unión, Marinilla, Rionegro y San Vicente); Páramo 240.200 Ha, (urbanas 6.600 y rural 233.600) (Abejorral, Argelia, Nariño, Sonsón), Embalses 146.500 Ha (urbanas 4.600 y rurales 141.900) (con municipios de Alejandría, Concepción, El peñol, Granada, Guatapé, San Carlos y San Rafael) y Bosques 162.700 Ha, (2.200 urbanas y 160.500 rurales) (Cocorná, San Francisco y San Luis) (Toro, 2010; PLANEO, 2011; CCOA, 2016; Zapata *et al.*, 2017).

## **1.2.Aspectos ambientales, sociales y económicos del Oriente Antioqueño**

El Oriente Antioqueño posee altos niveles de pluviosidad, con una media anual de 2.500 mm, gran variedad climática por el amplio rango altitudinal de la zona, con alturas mínimas de 200 m.s.n.m en la planicie del Magdalena Medio y máximas de 3.340 m.s.n.m. en el cerro de las palomas en el páramo de Sonsón, Argelia, Nariño y Abejorral, lo que permite que se tengan zonas entre frías y cálidas. EL 26,1% del Oriente Antioqueño corresponde a pisos térmicos cálidos, 35,4% a pisos medios, el 36,2% a pisos fríos y 2,3% a páramos. En la zona Altiplano predomina el piso térmico frío, en embalses el medio, en la zona páramo el frío y en Bosques el piso medio; esta variedad de climas le confiere al territorio una riqueza y diversidad de recursos naturales. Dado que la cordillera central atraviesa la subregión de sur a norte, el 78,6% del territorio es montañoso, el 16,6% es altiplano y 2,64% es zona de lomerío (PLANEO, 2011; CCOA, 2016).

La Subregión posee gran abundancia de recursos naturales dentro de los cuales hay que destacar el agua, posee numerosos ríos en su territorio: Rionegro, Nare, Samaná Norte, Samaná Sur, Arma, Porce, Claro-Cocorná Sur, los cuales son aprovechados en un sistema interconectado de embalses para la generación hidroeléctrica (El Peñol- Guatapé, Santa Rita, San Lorenzo, Jaguas, Punchiná y San Carlos) que alcanza a ser el 23% de la energía hidroeléctrica del país. Se entiende así que el agua y la energía hidroeléctrica sean los principales factores productivos de la Subregión (Toro, 2010).

También sobresale la biodiversidad de sus bosques y la riqueza biológica, de acuerdo con Toro (2010), si a esto se agrega el nivel cultural alcanzado por su población y su tendencia asociativa existe, a pesar de su insuficiente desarrollo científico y tecnológico, un potencial productivo y de desarrollo.

La economía del Oriente Antioqueño se caracteriza por tener variedad de actividades productivas, las cuales tan inmersas en un contexto de ventajas comparativas como los recursos naturales, especialmente el agua y la ubicación geográfica para desarrollar

actividades agrícolas, pecuarias, agroindustriales, industriales, minería y de servicios comerciales, recreativas y turísticas (Toro, 2010; PLANEAO, 2011).

Otras potencialidades que la ubican como una subregión estratégica es su sector agrícola al ser despensa de hortalizas, frutas, productos lácteos, flores, café, caña, entre otros productos factibles (CCOA, 2016).

De las actividades primarias para cada zona, tenemos que:

La zona de Bosques por su ubicación geográfica, riqueza de su biodiversidad, clima, regímenes de precipitación, terrenos muy pendientes e inestables y de difícil acceso se considera que esta zona tiene una vocación alta de conservación. En este territorio es imprescindible conservar los bosques naturales, sus aguas, y su biodiversidad; sin embargo, son aprovechables algunas áreas de productos maderables. En los espacios sin cobertura boscosa pero que tengan condiciones adecuadas (pluviosidad, clima y relieve) para el desarrollo de sistemas de producción agropecuaria y forestal son posibles maderas finas, follajes tropicales, cacao, caña (Cocorná y San Luis), piscicultura, ganado de carne o de doble propósito. Cabría también considerar una vocación eco-turística para aprovechar sin excesos la biodiversidad y riqueza de paisaje existentes (Toro, 2010). Zapata *et al.*, (2017) mencionan que la mayoría de la agricultura se ubica en propiedades pequeñas, microfundios y minifundios, lo que hace pensar que se trata de agricultura familiar.

En la zona de embalses las dinámicas han sufrido fuertes transformaciones producto de la construcción de los embalses, las tierras agrícolas más aptas para producir fueron inundadas, decayó la actividad agropecuaria tipo minifundio campesino y en gran medida se empezó a depender más del turismo como actividad principal (CCOA, 2016). Igualmente, se ha identifica la producción de frutales de clima frío (Granada), plantas aromáticas, medicinales y de condimentos, flores tropicales, caña (Granada, San Rafael, San Carlos) ,fríjol voluble o de arbusto (Concepción, El Peñol), café, peces y ganado de doble propósito, según sean los pisos térmicos correspondientes (Toro, 2010). De acuerdo con Zapata *et al.*, (2017), llama la atención que el municipio de Granada, donde son suelos sin aptitud agrícola los que se usan en esta actividad, mientras que los que tienen vocación en ese municipio están distribuidos entre tierras no agropecuarias, ganaderas y agrícolas en menor proporción. Este hecho reitera la brecha entre el uso y la vocación óptima del territorio. En Granada, Guatapé y El Peñol el indicador de impactos sobre el ambiente señala que hace falta mejorar la gestión de los residuos y los insumos agrícolas.

La vocación de la zona de Páramo es básicamente agropecuaria y de conservación, comprende la segunda más grande concentración de áreas agrícolas sembradas, representa el 30% y también es la segunda zona más generadora de empleo agrícola. Algunos suelos de esta zona son aptos para el establecimiento de sistemas de producción de frutales y

hortalizas de clima frío, papa y fríjol (Abejorral y Sonsón). En las extensas áreas de páramo y de bosques naturales el criterio más apropiado es conservarlas con su vegetación natural, en defensa de los suelos y de la preservación de las microcuencas hidrográficas. La población y los municipios de Argelia y Nariño merecen especial atención, dadas sus peculiaridades: marginalidad en varias materias, existencia de cultivos ilícitos, terrenos pendientes, degradados y vulnerables, falta de protección ambiental, calidad, deterioro y vulnerabilidad de sus suelos que en gran parte deben destinarse a la conservación (Toro, 2010).

Su principal vocación de la zona altiplano es ser centro de distribución general y de prestación de servicios para la Subregión. La realidad social y económica demuestra allí la existencia de industrias y agroindustrias destinadas a satisfacer necesidades de consumo masivo, y al procesamiento de materias primas (frutas, hortalizas, leche, entre otras). Por su ubicación estratégica en relación con el Valle de Aburrá y su localización en el eje vial de la autopista Medellín-Bogotá, la presencia del Aeropuerto Internacional José María Córdova y de la Zona Franca, además de la presencia cercana de institutos universitarios (Toro, 2010).

En el Altiplano se tiene la mayor cantidad de hectáreas agrícolas sembradas, con el 36% de las áreas en el Oriente Antioqueño, posee condiciones favorables para el desarrollo de actividades agropecuarias, tales como la producción de: frutales y hortalizas de clima frío (San Vicente, Marinilla Rionegro, El Retiro, El Carmen de Viboral, La Ceja, La Unión, Guarne y El Santuario); plantas aromáticas, medicinales y de condimentos; flores de corte, (Rionegro, Marinilla, La Ceja y El Carmen de Viboral); papa y frijol voluble o arbustivo (San Vicente Rionegro Marinilla, La Ceja, el Carmen y La Unión); explotaciones forestales comerciales (El Retiro y La Ceja) y producción de leche, producto en el cual es la segunda Subregión del Departamento (Toro, 2010; Zapata *et al.*, 2017). En esta zona se concentra gran variedad de cultivos que hacen uso intensivo de sustancias químicas (Zapata *et al.*, 2017).

En los municipios de El Carmen de Viboral y La Unión, donde están ubicadas las fincas de estudio (Hortícola agroecológica y convencional en primero y la Ecológica en la unión), Zapata *et al.*, (2017), destaca en el primero las actividades económicas principales son el chόcolo, repollo, zanahoria, papa, papa criolla, ganadería de leche, porcícola, avícola, industria de dulces y artesanías en loza o cerámicas; y en cuanto a el municipio de la Unión, se tiene papa, flores (hortensias), fresa, tomate de árbol, ganadería de leche, piscicultura y minerales no metálicos (caolines, caliza, arcilla y feldespato).

De acuerdo con Zapata *et al.*, (2017) en porcentajes de áreas sembradas para producción agrícola tenemos que la zona Embalses el 6% del área está sembrada, zona Bosques tiene el 4%, Páramos el 9,5% y en la zona Altiplano o Valle de San Nicolás el 15,4% de su territorio está sembrado con cultivos, para el caso de los municipios de El Carmen de

Viboral y La Unión (Municipios donde están ubicadas las fincas de estudio) tienen el 18,6% y 10,9% que ocupan el cuarto y quinto lugar entre los municipios del Altiplano en mayor áreas sembradas respectivamente, seguidos de los municipios de El Santuario, Marinilla y San Vicente.

La ocupación en labores agrícolas en el Oriente Antioqueño se estima en 41,754 empleos que en términos de ocupación laboral equivale a 6.6%. Al interior de la región este indicador oscila entre 23% y 0.3% en diferentes municipios. El indicador generado sugiere que la agricultura actualmente tiene la mayor participación en el mercado laboral rural. La actividad agrícola genera empleo ya sea de manera directa en la producción o de manera indirecta en el transporte, la industria, el mercadeo mayorista y minorista que se hace de él (Zapata *et al.*, 2017).

### **1.3. Panorama de la producción hortícola**

Aproximadamente 1.075 millones de toneladas de hortalizas se producen en el mundo en 57 millones de hectáreas para el año 2016, siendo la China, India, Estados Unidos, Egipto y la Federación de Rusia los principales países productores de hortalizas frescas y procesadas. Por continentes Asia comprendería el 75% de la producción, seguido de Europa con el 9%, América con el 7% y África con el 7%. Por otra parte, los tomates, cebollas, pepinos, coles crucíferas, berenjenas y chiles comprenderían el 47% de la producción global de hortalizas (FAOSTAT, 2016 en Rengifo y Salazar, 2018).

Colombia en el año 2015 produjo 1.090.700 toneladas de hortalizas en un área aproximada de 108.711 hectáreas, con un rendimiento promedio de 18 Ton/Ha y las hortalizas con mayor producción fueron el tomate, cebolla de bulbo, cebolla de rama, zanahoria, ahuyama, lechuga, repollo y habichuela. La producción de hortalizas se reporta en 29 departamentos y 600 municipios, con un portafolio de 30 productos diferentes. Antioquia está entre los 5 departamentos con mayor producción participando con 18% de la producción nacional y 4,6% del área nacional sembrada en Hortalizas (Anuario 2015 MADR–Base Evaluaciones Agropecuarias Municipales “EVA 2007 –2015” en Rengifo y Salazar, 2018).

Para el año 2017 la producción de hortalizas en Antioquia fue de 449.299 toneladas en un área de producción de 10.534 hectáreas, con un rendimiento promedio de 42.654 Kg/Ha. La producción de hortalizas en Antioquia, se concentra principalmente en las subregiones Oriente, Suroriente, Norte, Valle de Aburra y Occidente, siendo los de mayor producción en los municipios del Oriente (en el año 2017, 8.367 hectáreas, 365.088 toneladas con un rendimiento de 43.633 Kg/Ha), en mención los municipios son El Peñol, Marinilla, El Santuario, El Carmen de Viboral, Sonsón y Guarne (Anuario Estadístico Antioquia, 2017 en Rengifo y Salazar, 2018). De acuerdo con Zapata *et al.*, (2017), en el orden de mayor

área cosechadas de hortalizas son las zonas Altiplano, páramo, embalses y por último la zona bosques.

Antioquia, genera en el Año 2016 aproximadamente 241.719 empleos directos (38.215 empleos directos en cultivos transitorios; 3.544 empleos directos en cultivos anuales y 199.960 empleos directos en cultivos permanentes). El empleo directo generado por la producción de hortalizas es de 11.311, esta cifra representa el 29% del empleo directo en los cultivos transitorios mencionado y el 4% del total del empleo agrícola Departamental. El Oriente Antioqueño es la subregión que más aporta empleo rurales con 78% (Anuario Estadístico Antioquia, 2017 en Rengifo y Salazar, 2018).

## METODOLOGÍA

Para la investigación se llevará un lente metodológico Interpretativista, donde existiría una interdependencia entre el investigador y el objeto de estudio, comprendiendo la realidad mediante modelos. La estrategia de investigación será intensiva porque interesa conocer en profundidad muchos detalles en pocas unidades de análisis, para tal caso sistemas hortícolas convencional, ecológico y agroecológico (Navarro y Ramírez, 2001). Se llevará a cabo los siguientes momentos:

- *Primero momento:* Las tres unidades de análisis correspondientes a una finca hortícola convencional, una ecológica y una agroecológica, se escogieron haciendo recorridos por varias de fincas en la medida que se realizaba una entrevista abierta para recopilar información clave, para el cual se usó un guión de temas claves para orientar al entrevistado hacia aspectos de interés asociados a los objetivos de la investigación (Rubio y Vara, 1997) (Ver Anexo I). Teniendo en cuenta que la clave de la elección de los entrevistados es su significatividad en relación a los objetivos de la investigación (Rubio y Vara, 1997), se entrevistó a los agricultores que posean fincas con sistemas de producción hortícola convencional, ecológica y producción agroecológica.
- *Segundo momento:* Análisis de estructura y funcionamiento de cada uno de los predios seleccionados. Para este momento se optó por hacer “Mapeo” con ayuda de un GPS, esto permite registrar de manera gráfica los diferentes subsistemas de la unidad de estudio (finca para este caso), dado lugar a ubicarlos y describirlos en el espacio, también favorece la documentación de percepciones que los agricultores tiene sobre el estado, su distribución y manejo. Teniendo el mapa y datos de funcionamiento de cada una de las fincas y concibiendo el enfoque de sistemas, se elaboraron esquemas para visualizar mejor el funcionamiento de las unidades de producción, con sus subsistemas y los diferentes flujos e intercambios, indicando todo lo que sale de cada componente (producción, subproductos, desechos) y

adónde va (hacia la casa para el autoconsumo, hacia el exterior para el mercado, etc.), de igual manera todo lo que entra y de donde proviene, por último se hizo la cuantificación de los flujos de energía y biomasa (Geilfus, 1997 (Anexo II).

- *Tercer momento:* Evaluación del metabolismo de los predios con sistemas de producción hortícola convencional, ecológica y agroecológica, determinando los flujos de biomasa y energía dentro de los sistemas productivos y determinando los indicadores Retorno de Energía Invertida EROIs, para el cual se tomaron datos (pesos y cantidades) de insumos externos, de las diferentes hortalizas (residuos, partes socializables), arvenses, plantas con funciones alelopáticas, arreglos de cultivos, densidades de siembra, diversidad vegetal, tiempos laborales, distancias de transporte de insumos externos, entre otros aspectos claves.

## **Técnicas**

### **a. Tipo de muestreo: intencional – Opinático.**

El muestreo es de tipo intencional – opinático, por lo que no es al azar, se sigue criterios estratégicos personal y las muestras contienen la información necesaria para entender el fenómeno que se analiza (Olabuenaga, 1996; Navarro y Ramírez, 2001), por lo que está condicionado en abordar el estudio de procesos agroecológicos que repercuten en el metabolismo de las unidades de información, que para tal caso son las fincas que cumplen las condiciones de ser sistemas de producción hortícola convencional, ecológica y agroecológica.

### **b. Codificación del lenguaje:** se realiza de forma categorizada priorizando en la clase teórica, siguiendo procesos deductivos e inductivos simultáneamente (Olabuenaga, 1996).

### **c. Técnicas de recolecta de información:**

- Recorrido a predios
- Entrevistas semi-estructuradas y abiertas
- Mapeo
- Esquematización de los sistemas fincas y subsistemas, flujos de biomasa y energía

En el Anexo III (Metodológico) se encuentra información más amplia de la metodología llevada a cabo para la recopilación de datos y sistematización de los mismos.

## RESULTADOS Y ANÁLISIS

### *1. Diagnóstico con enfoque sistémico de los sistemas hortícolas convencional, ecológico y agroecológico*

#### **1.1. Resultados del diagnóstico de las fincas hortícolas agroecológica, ecológica y convencional**

La Finca hortícola Agroecológica Renacer que se encuentra en la vereda La Milagrosa, del municipio de El Carmen de Viboral, Zona Altiplano del Oriente Antioqueño, Colombia (N 6° 03'09,46" W 75° 21'36,84") (figura 2), es el resultado de una transición agroecológica que hizo Don Carlos Osorio a partir dificultades de salud que tuvo por estar constantemente trabajando la agricultura con agroquímicos en su predio y en otros. Esta transición empezó en el año 1994 y hasta el 2000 hacía aplicaciones de productos biológicos con bomba de espalda para el control de plagas y enfermedades, hace 25 años Don Carlos se ha esmerado por nutrir el suelo con materia orgánica, compost y biofertilizantes, de manera que actualmente no hace ninguna aplicación de productos para hacer control fitosanitario y ha generado mayores bases ecológicas para que el sistema productivo sustente la producción hortícola sin depender mucho de insumos externos.

En el año 1996 al ver que era factible trabajar la agricultura de forma orgánica, colocaron entre cinco familias un punto de venta, la tienda "Hojarasca", a partir del año 2000 la asociación se disolvió, pero Don Carlos continuó solo. Hace 8 años se montó un restaurante vegetariano ubicado en la cabecera municipal del Carmen de Viboral al cual Don Carlos le proporciona las hortalizas agroecológicas.

La Finca de Don Carlos es muy contrastante con su entorno biofísico, dado que alrededor de predio la explotaciones agrícolas son de tipo convencional, de hecho, la mayoría de sus vecinos producen flores quizás esto esté impulsado por factores económicos, pero don Carlos tiene la convicción de que lo social, ambiental y económico pueden sostenerse en un mismo escenario.

La finca de Don Carlos es de 12.800 m<sup>2</sup>, tiene un bosque de 877,27 m<sup>2</sup>, barrera viva con 852,2 m<sup>2</sup>, la zona de producción de cultivos ocupa 2767,55 m<sup>2</sup>, el potrero 3596,17 m<sup>2</sup>, la demás área lo ocupa la casa, la bodega, el vivero, el gallinero, la zona de lombricompost, biofertilizante y caminos.



1. Zonas de cultivo -hortalizas; 2. Zona de cultivos – invernaderos; 3. Barrera Viva; 4. Potrero; 5. Bosque; 6. Casa; 7. Gallinero; 8. vivero; 9. Zona de elaboración de lombricompost; 10. Zona de elaboración de biofertilizante.

**Figura 2:** Mapa Finca Hortícola agroecológica Renacer en el municipio de El Carmen de Viboral

La finca hortícola ecológica El Herbolario se encuentra ubicada en la vereda Buena Vista del municipio de la Unión, zona Altiplano del Oriente Antioqueño, Colombia (N 5° 58'31,74" O 75° 21'12,73") (Figura 4), Cristina Montoya la propietaria argumenta que se implementa lo que se llama una agricultura Bioracional, término que vienen trabajando porque utilizan varias tecnologías, por ejemplo los paneles solares para generar electricidad, el sistema de riego es sistematizado, recolectan agua lluvia, tienen un ambiente controlado por medio de invernadero y usan plásticos como mulch para las camas de cultivo, pero que tratan de darle el mejor uso y aprovechamiento a los recursos, por ejemplo el plástico lo reutilizan las veces que más sea posible.

Los vecinos al igual que las otras dos fincas cultivan flores, pero también frijoles o arveja de manera convencional, el viento aunque es fuerte no le afecta en gran medida porque tienen las plantaciones bajo invernadero y han implementado barreras vivas para ir aislándose físicamente de las explotaciones agrícolas vecinas. De la zona solo hay un grupo de productores orgánicos llamado Agro-descendientes de diferentes municipios y su enfoque es más por la soberanía y seguridad alimentaria, pero los demás productores son convencionales, que son los productos más consumidos por los habitantes de la región. Desde el inicio de la producción no han aplicado agroquímico, hacen control fitosanitario con productos biológicos.

El terreno del huerto es alquilado, el espacio en total es casi una cuadra, la parte productiva está en unos invernaderos con 1000 m<sup>2</sup> cada uno. Dado que son tan frecuentes las lluvias y es alta humedad, hay mayor incidencia y propagación de enfermedades, por lo que la mejor opción ha sido cultivar bajo invernadero. Antes de montar la huerta, era un potrero y el lote

era muy húmedo. Fue necesario poner drenajes, para comenzar en la construcción de las camas se utilizó compost que compraron a una productora de abonos.



**Figura 3:** Mapa de la finca hortícola ecológica El Herbolario en el municipio de La Unión

En El Carmen de Viboral, se encuentra la finca hortícola convencional El Raizal (N 6° 04'09,42" O 75° 21'16,67") (Figura 3), que está a cargo del señor Uber, pero el dueño del predio se dedica especialmente a la comercialización de las hortalizas, no participa en las actividades de campo. En este terreno se lleva alrededor de 7 años sembrando lechuga y repollo de manera convencional, antes de esto se sembraba maíz y frijol de igual manera convencional. Las fincas vecinas lo que más producen son flores de forma convencional.



**Figura 4:** Mapa de Finca Hortícola Convencional El Raizal en el municipio de El Carmen de Viboral

## 1.2. Caracterización de los sistemas productivos con enfoque sistémico

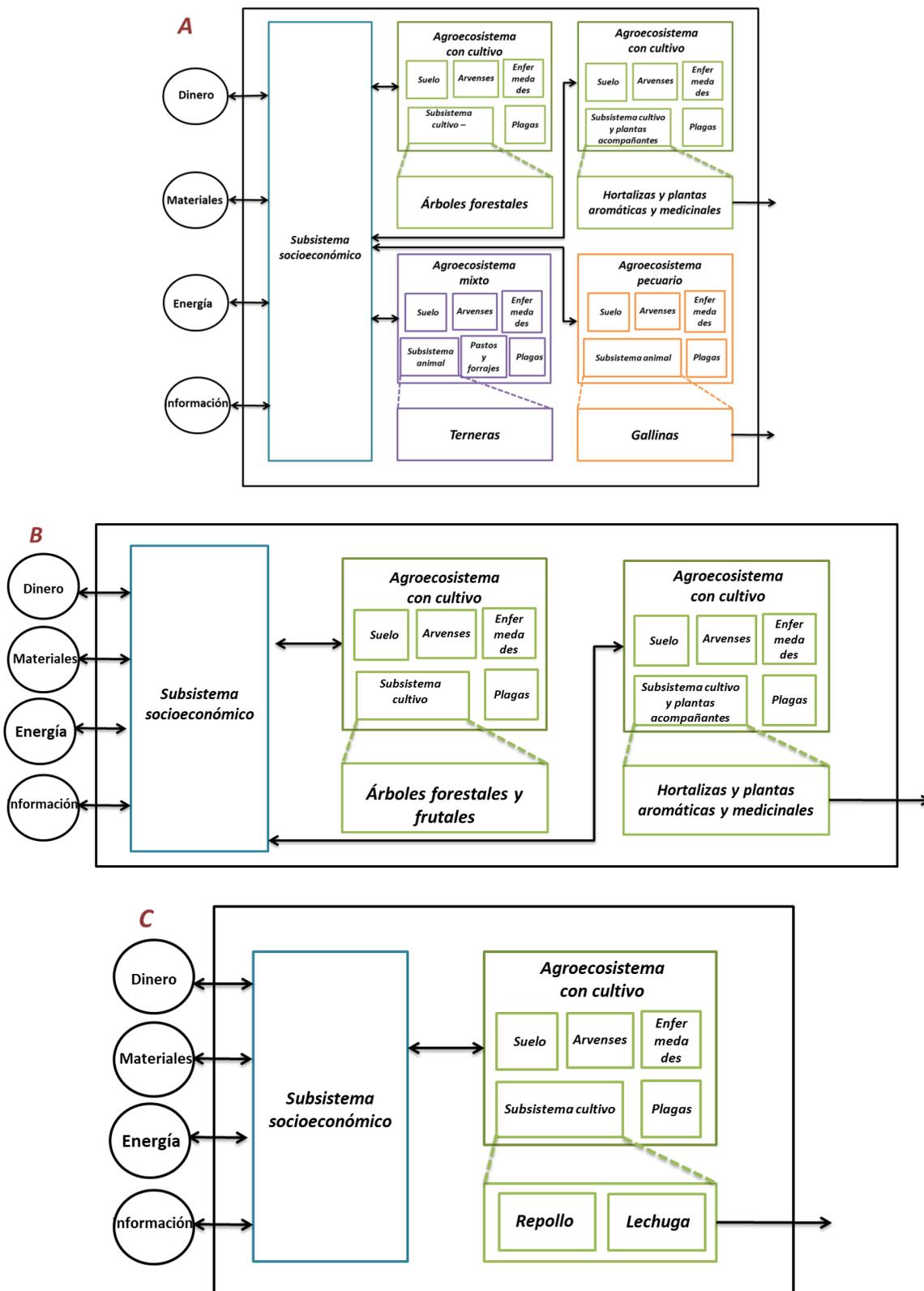
### *Sistema finca y agroecosistemas*

Si vemos a las fincas como sistemas, podemos evidenciar diferencias en los subsistema socio-económico de las fincas hortícolas agroecológica, ecológica y agroecológica, mientras el convencional está representado solo por la bodega donde guardan las herramientas de campo, fertilizantes, herbicidas, insecticidas y demás insumos, las fincas agroecológica está representada por la casa, el vivero, la zona de compost, zona de lombricompost, zona de biofertilizante y la bodega y la finca ecológica por la casa, la bodega, zona de compostera, zona de elaboración de biochar y biofertilizantes, el vivero y el área de post cosecha.

En los agroecosistemas también se evidencia grandes diferencias, la finca con producción hortícola agroecológico se tiene la multiplicidad de usos de los recursos naturales, por medio de la diversidad de especies lo que confiere una diversidad paisajística, fragmentación de las tierras en pequeñas áreas y diversos tipos de vegetación, se tienen varios agroecosistemas, uno tiene subsistemas de cultivo destacando por el área forestal que comprende desde el bosque hasta las barreras vivas con diferentes estratos; otro tiene un subsistema de cultivo con diversas hortalizas de ciclo corto, anuales y especies perennes combinadas con plantas medicinales, aromáticas y ornamentales; otro con subsistema animal con especies como las gallinas; y otro con subsistema mixto con pastos, especies forrajeras y 2 terneras, todo contribuye a la satisfacción dietética y económica del horticultor.

La finca ecológica tiene dos agroecosistema, uno consta de un subsistema de cultivo con diversas hortalizas y plantas medicinales y aromáticas y el otro comprende la barrera viva con árboles forestales y frutales. La finca con producción hortícola convencional cuenta con un agroecosistema con un subsistema de cultivo con dos tipos de cultivo que ocupa el 100% del área de la finca.

El subsistema socioeconómico y los agroecosistemas de las finca hortícolas interactúan para generar su estructura, lo que afecta la función a través de flujo de energía, materia, información, recursos económicos que sale y entra en la finca. Teniendo en cuenta que los horticultores realizan el ingreso de materia (insumos), lo que genera flujos internos de energía que sale después de los agroecosistemas y de las fincas como producto alimenticio y retorna como recursos económicos. En las siguientes figuras se muestra los diferentes flujos que generan dentro de las fincas agroecológica, ecológica y convencional estudiadas y sus diferentes subsistemas y agroecosistemas.



**Figura 5:** Esquema del sistema finca y sus subsistemas, flujos generados dentro de las fincas agroecológica (A), Ecológica (B) y Convencional (C)

## *Diseño de los agroecosistemas*

Para el agroecosistema con subsistema de cultivo de la finca con producción hortícola agroecológica Renacer, las hortalizas están sembradas en camas y eras en varios lugares de la finca con varias orientaciones y/o disposiciones en el terreno de manera que pueda aprovechar al máximo el espacio con el que cuenta la finca.

Se tienen dos huertas circulares, las cuales le ha traído buenos resultados en la productividad, Don Carlos Osorio considera que es más energética y que algunos cultivos que antes no le daban resultado con la huerta circular la producción ha sido mejor y más rápido. Se destaca que en el centro de las mismas ha sembrado un frutal, en este caso aguacate y en diferentes puntos de las camas tiene plantas aromáticas y medicinales que tienen funciones además de proporcionar material orgánico al subsistema suelo cuando mueren, de atraer insectos benéficos o ahuyentar posibles insectos plagas, entre las plantas tiene borraja, quinua, hinojo, flor amarilla, ruda, girasol, caléndula, caracucho blanco, lupinos, deja florecer algunas plantas como la zanahoria, el cilantro, la mostaza y la lechuga mizuna, por lo que se destaca una gran variedad de flores dentro y alrededor de las huertas.

Por otra parte, en la finca renacer hay dos invernaderos donde están sembrados principalmente tomate en uno y en el otro espinaca y otras especies vegetales acompañantes como la batatilla, albahaca, cilantro, hinojo, capuchina y tabaco.



**Figura 6:** Agroecosistema con subsistema de cultivo – hortalizas en la finca agroecológica

El agroecosistema de especies forestales comprende el bosque y la barrera viva junto al potrero los cuales cuentan con especies como el falso laurel, guayacán manizaleño, guadua y aliso.

También está el agroecosistema con subsistema animal, el cual tiene gallinas las cuales son alimentadas con salidas del agroecosistema con subsistema de cultivo y con insumos exteriores (Concentrado). El agroecosistema mixto (cultivo y animal) comprende el potrero con pasto Kikuyo y plantas forrajeras con el quiebrabarrigo, falso girasol, maralfalfa, pasto imperial, lupinos principalmente y las dos terneras, éstas últimas de igual manera son alimentadas con salidas del agroecosistema con subsistema de cultivo (ejemplo con maíz, hojas del brócoli y taruja de la arracacha) (Figura 8).



**Figura 7:** Hojarasca del bosque (A); y Guadua de la barrera viva (B) en la finca hortícola agroecológica.



**Figura 8:** Pasto imperial (*Axonopus Scoparius*) (A), Maralfalfa (*Pennisetum purpureum* *Milheto x Pennisetum glaucum*) (B) del agroecosistema mixto; y subsistema animal (Gallinas) (C) en la Finca hortícola Agroecológica.

El agroecosistema con subsistema de cultivo de la finca hortícola ecológica El Herbolario, cuenta con 70 eras en la misma orientación en dos invernaderos donde están sembradas las hortalizas y al borde de todas las camas hay plantas medicinales y aromáticas como la ruda, la lavanda, la caléndula, la salvia, perejil, borraja, entre otras. El otro agroecosistema comprende diversos árboles y herbáceas en especial frutales.



**Figura 9:** Agroecosistema con subsistema de cultivo – Hortalizas en la finca ecológica

El agroecosistema de la finca convencional El Raizal, cuenta con muchas camas en varias orientaciones de manera que está en contra de la pendiente y se aprovecha al máximo el terreno.



**Figura 10:** Agroecosistema con subsistema de cultivo – Hortalizas en la finca convencional

*Intensificación en el uso del suelo (% de dedicación de áreas)*

Con relación a la distribución del espacio de las fincas, tenemos que en la finca agroecológica el agroecosistema con cultivo de hortalizas y demás plantas aromáticas y medicinales ocupa el 21,5%, el agroecosistema con árboles forestales (Barrera viva y bosque) ocupa el 13,51%, Agroecosistema mixto (Ternereras y potrero) 28%, agroecosistema pecuario (Gallinas) ocupa el 1%, la casa, vivero, zona de lombricompost y elaboración de biofertilizantes ocupan el 1,43%, el resto del predio lo ocupan caminos y espacios de dispersión.

La finca ecológica ocupa el 57% en el agroecosistema de cultivo con hortalizas y plantas aromáticas y medicinales, 2,3% el agroecosistema de cultivo (Barrera viva), 1,9% ocupa la casa, compostera, bodega y zona de post-cosecha, el resto lo ocupa caminos y espacios de dispersión. Por su parte, la finca convencional casi el 100% es dedicado al agroecosistema de cultivo con hortalizas.

La distribución de los espacios dentro de las fincas, evidencia la heterogeneidad espacial que hay en las fincas hortícolas agroecológica y ecológica, siendo tan simplificada en la convencional. Las superficies de las fincas son diferentes debido a la diversidad de subsistemas que comprenden las mismas, siendo mayores en la finca agroecológica y ecológica, como también por la diversidad de especies vegetales, los arreglos espaciales y el manejo de los subsistemas de cultivo.

#### *Diversidad de especies vegetales*

La finca con producción hortícola agroecológica es la que posee mayor diversidad de hortalizas, tanto en el espacio como en el tiempo, por medio de asociaciones y rotaciones, seguida de la ecológica, siendo bastante precaria la diversidad en la finca hortícola con producción convencional, por lo que han cambiado totalmente la estructura del ecosistema y reemplazando la diversidad por un número mínimo de especies vegetales (Lechuga y repollo), concibiendo un monocultivo dependiente de agroquímicos y fertilizantes.

#### *Asocio con plantas con funciones alelopáticas*

Estas plantas tienen funciones alelopáticas, ya sea para atraer insectos beneficiosos o para evitar que insectos plagas afecten los cultivos de interés o para generar beneficios mutuos entre las plantas para mejor crecimiento, desarrollo y productividad. Estas plantas son la ruda, la caléndula, la borraja, la manzanilla, el perejil, entre otros.



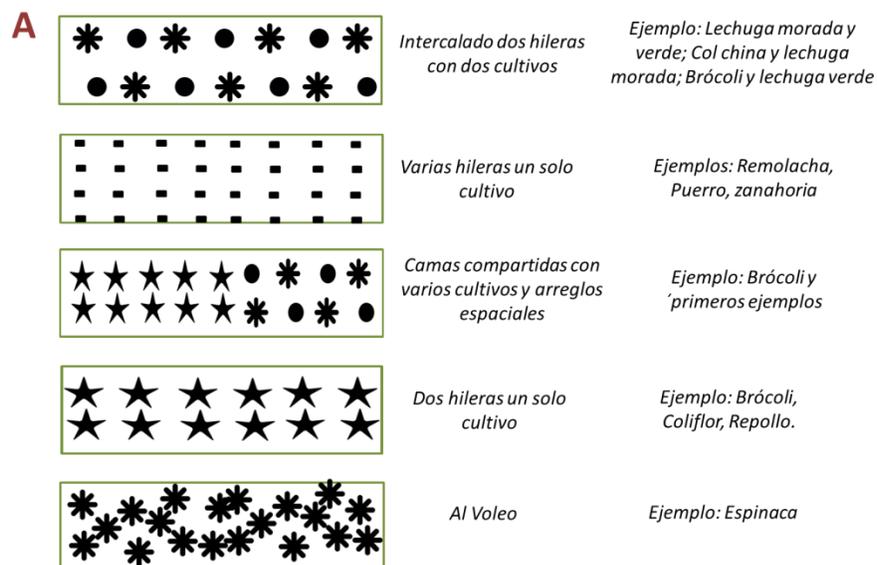
**Figura 11:** Plantas acompañantes de las hortalizas en la finca agroecológica (Cicuta (*Conium maculatum*) (A); Amaranto (*Amaranthus sp*) (B); Tabaco (*Nicotiana tabacum*) (C); Quinoa (*Chenopodium quinoa*) (D); Girasol (*Helianthus annuus*) (E); Ruda (*Ruta sp*) (F); Lupino (*Lupinus sp*) (G) y Mostaza (*Sinapis alba*) (H).

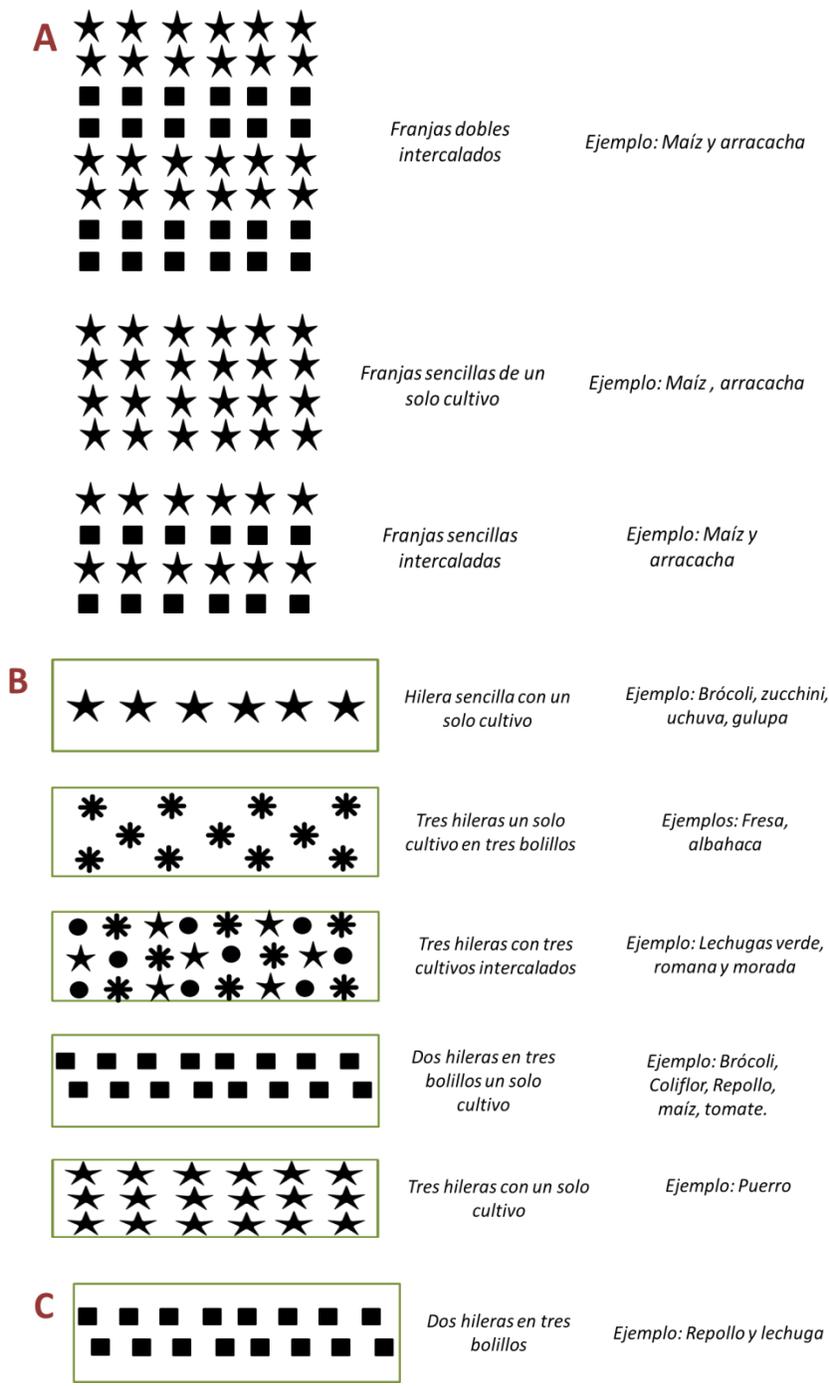


**Figura 12:** Plantas acompañantes de las hortalizas en la finca ecológica (Lavanda (*Lavandula sp*) (A); Verdolaga (*Portulaca oleracea*) (B); Salvia (*Salvia sp*) (C); Hinojo (*Foeniculum vulgare*) (D); Manzanilla (*Chamaemelum nobile*) (E); Ruda (*Ruta sp*) (F); y Caléndula (*Calendula officinalis*) (G)).

*Prácticas desarrolladas dentro de los sistemas hortícolas que contribuyen a la eficiencia energética*

En las siguientes figuras se muestran los diferentes arreglos espaciales de las hortalizas presentes en los agroecosistemas de cultivo de las fincas Agroecológica, ecológica y convencional.





**Figura 13:** Esquema de arreglos espaciales en los tres sistemas productivos: Finca Hortícola agroecológica (A); Finca Hortícola Ecológica (B); Finca Hortícola Convencional (C).

Las forma en cómo se distribuyen las especies vegetales en las camas, sus arreglos de siembra y su cosecha escalonada genera cambios en el crecimiento de las arvenses y modificaciones en el comportamiento de los insectos y enfermedades. Además de dejar dentro de los agroecosistemas (alrededor de las plantas de interés económicos), especies

atrayerentes de fauna benéfica, alelopatía y extracción de nutrientes en estratos inferiores del suelo e incorporación de materia orgánica al suelo cuando dichas plantas mueren por ejemplo se presenta mucha mostaza (*Sinapis alba*) y lupinos (*Lupinus sp*) en la finca agroecológica, ésta última planta está repartida en muchos diversos puntos de la finca porque fijan nitrógeno y son muy vistosas; hay presencia de plantas ornamentales como el fosforito (*Cuphea ígnea*) que atrae colibrís, otra como la cicuta (*Conium maculatum*) que atrae muchas mosquitas; en el bosque y barrera viva con diversas plantas y árboles, por ejemplo la mermelada (*Streptosolen jamesonii*) atrae polinizadores, tiene flores vistosas.

Los arreglos cronológicos de las especies vegetales responden a las necesidades del mercado y a las necesidades y preferencias del horticultor para el caso del sistema agroecológico y ecológico, Don Carlos de la finca agroecológica Renacer hace una rotación permanente de los cultivo y asocia dos o más especies de hortalizas o varias variedades de un mismo cultivo en una cama, aunque no tiene una planificación estricta; en la finca ecológica El herbolario no se repite dos ciclos continuos de la misma especie en una misma cama.

El convencional responde al mercado ya que no hacen arreglos cronológicos en sentido estricto, solo hacen rotación de lechuga y repollo, no está dentro de su planificación incorporar otras especies que aporten nuevos alimentos y nuevos mercados.

Entre los aspectos que contribuyen a la sostenibilidad de los agroecosistemas está que los arreglos cronológicos permiten generar cerca al sistema radicular poros que posteriormente circulará el agua, los nutrientes, el aire y la fauna, lo cual contribuye a las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo. Las interacciones generadas en los arreglos permiten autorregulación de plagas y enfermedades, un micro-hábitat más conveniente, una mejor disponibilidad de nutrientes y por tanto una mayor resistencia de las plantas a plagas y enfermedades, lo que repercute en la disminución de dependencia al uso de insumos externos como son los fungicidas, insecticidas y fertilizantes.

#### *Manejo de los agroecosistemas con subsistemas de cultivo- hortalizas*

El plan de manejo de los subsistemas de cultivo es diferencial en los modos de producción hortícola en gran medida porque está influenciado por la racionalidad campesina, si se dá prioridad a la reproducción social más que a la acumulación, si hay interés de suplirse y comercializar alimentos sanos en la medida que se cuida los recursos naturales y sí se tiene presente establecer bases que le permita la sostenibilidad de la productividad en el tiempo.

Otro aspecto que tiene influencia en el manejo de los sistemas productivos es la relación directa o indirecta que tienen los horticultores con los consumidores, lo que permite que los consumidores tengan motivaciones sociales. Los consumidores de las hortalizas producidas de manera convencional son más lejanos al territorio no hay relacionamiento con los

horticultores lo que hace que se establezcan otras motivaciones individualistas, donde se establecen criterios de compra como calidad, precio y cantidad; caso contrario de los consumidores de las hortalizas producidas de manera agroecológica y ecológica hay relaciones más directas y horizontales, que permite generar motivaciones para producir de manera limpia y crea confiabilidad entre las partes. Entonces se tornan procesos de planificación predial en concordancia con mecanismos que lleven a actividades agrarias más sostenibles y que suplan los requerimientos nutricionales al interior del territorio, por lo que hay un criterio de estabilidad que le permita tener mayor autonomía en el tiempo.

Don Carlos de la finca agroecológica utiliza criterios de la agricultura biodinámica para llevar a cabo las labores de campo, trabajando con los 4 elementos de la naturaleza correspondiente a cada cultivo, por ejemplo elemento tierra para trabajar los tubérculos, agua para sembrar los cultivos de hoja, fuego para sembrar los cereales y frutales, y el aire para sembrar la flor (ejemplo, caléndula y manzanilla). En 10 días pasa los 4 elementos.

En la finca agroecológica y ecológica se dejan en reposo después de varios ciclos (alrededor de 4) las camas. En la agroecológica se deja que crezcan las arvenses, después son removidas e incorporadas en el suelo. En la finca convencional se deja en reposo las camas, pero esto está determinado por los tiempos que tienen o no disponibles los trabajadores, más que con el propósito de dejar descansar el suelo, de hecho, se hace aplicación de herbicidas para que las camas no sean invadidas con arvenses.

En cuanto al componente animal, en la finca agroecológica hay 15 gallinas que duermen, comen y ponen huevos dentro del gallinero de aproximadamente 127 m<sup>2</sup>. Su alimentación se 20% concentrado, 30% maíz y otro 50% lombrices del lombricompost y pastos residuos de los cultivos (ejemplo hojas de brócoli) y otras plantas como la cerraja.

En el vivero de la finca agroecológica se conserva y reproduce plantas como la alfalfa, hierba de gato, rúgula, poleo, albahaca, orégano, hinojo, eneldo, flor eléctrica, entre otras, Don Carlos conserva las semillas de los cereales, maíz, tubérculos y de plantas aromáticas principalmente. En la finca ecológica se conserva especialmente las semillas de maíz y tomate, para las hortalizas se compran plántulas.

Como fuentes de agua dentro de las fincas, Renacer (agroecológica) tiene ingreso de agua por el acueducto y por cuerpos de agua dentro de la finca y el agua lo recoge con ayuda de mangueras; en El Herbolario (ecológica) disponen varios tanques para recolectar agua lluvia desde la altura de los invernaderos y en El Raizal (convencional) obtienen agua desde el acueducto.

En todas las fincas hacen análisis químicos y físicos del suelo muy esporádicamente, siendo menos en la finca agroecológica.

Para la siembra, en la finca agroecológica se hace la mínima remoción de las camas, se aplica compost y/o gallinaza, se hace los huecos donde se sembrará; la finca ecológica hace mayor remoción del suelo a comparación de la agroecológica al incorporar el compost y el biochar; la convencional remueve totalmente las camas, dado que lo que era calles se transforman en camas (y viceversa), se incorporan los residuos de la cosecha anterior, se aplica cal y gallinaza para proceder a la siembra.

Las cosechas en la finca agroecológica y ecológica se realiza semanalmente de acuerdo a los requerimientos de los clientes y la necesidad de autoabastecimiento de alimentos; en la convencional se hace en repollo a los 4,5 meses (contando con el tiempo de preparación del terreno y siembra), la lechuga cada 2,5 meses, no se tienen cosechas semanales.

**Tabla 1:** Cuadro comparativo de manejo de subsistemas de cultivo.

<i>Finca agroecológica</i>	<i>Finca ecológica</i>	<i>Finca Convencional</i>
Introduce material de reproducción (plántulas) y tienen también material de reproducción (propia - Semillas).	Introduce material de reproducción (plántulas).	Introduce material de reproducción (plántulas).
Realiza actividades de manejo de cultivo como raleo, podas, aporque, abonado.	Realiza actividades de manejo de cultivo como raleo, podas, aporque, abonado.	Realiza actividades de manejo de cultivo como abonado, aporque.
Se prepara el suelo para la mineralización natural; incorpora material orgánico: compost y biofertilizante (interno) y gallinaza (externo).	Se prepara el suelo para la mineralización natural; añade nutrientes: fertilizante biológicos (externos); incorpora material orgánico: compost, biochar y biofertilizante (internos).	Se prepara el suelo para la mineralización natural; añade nutrientes: fertilizante de síntesis química (externo); incorpora material orgánico: gallinaza (externo).
No se incorpora insumos químicos ni biológicos para control de plagas, enfermedades y arvenses.	Se incorpora insumos para control de enfermedades y plagas: productos biológicos (externos).	Se incorpora insumos para el control de plagas, enfermedades y arvenses: productos químicos (externo).
Hace control manual de arvenses	Hace control manual de arvenses	Hace control químico de arvenses
Se contempla en el subsistemas de cultivo plantas de interés económico	Se contempla en el subsistemas de cultivo plantas de interés económico	Sólo contempla en el subsistema de cultivo especies vegetales de interés

<i>Finca agroecológica</i>	<i>Finca ecológica</i>	<i>Finca Convencional</i>
y otras con funciones alelopáticas	y otras con funciones alelopáticas	económico.
Se contempla especies vegetales: hortalizas, árboles, plantas herbáceas, anuales, perennes, ornamentales, medicinales, aromáticas, pastos y especies forrajeras; Animales: Gallinas y terneras.	Se contempla especies vegetales: hortalizas, árboles, plantas herbáceas, anuales, perennes, ornamentales, medicinales y aromáticas.	Se contempla especies vegetales: hortalizas.
Hay pequeñas áreas dedicadas a un solo cultivos, es decir, los mismos cultivos están repartidos en diferentes puntos de la finca, lo que genera mayor cantidad de asociaciones.	Hay pequeñas áreas dedicadas a un solo cultivos, es decir, los mismos cultivos están repartidos en diferentes puntos de la finca.	Hay extensiones grandes dedicadas a un solo cultivo.
Se tienen árboles frutales y ornamentales para alimentación de la fauna (pájaros, ardillas y chuchas).	Se tienen árboles frutales y ornamentales para alimentación de la fauna (pájaros).	No se tienen árboles.
Se hacen rotaciones y asociaciones intensamente.	Se hacen rotaciones y asociaciones.	No se hace asociaciones y rotaciones de solo dos especies vegetales.
Cosecha la biomasa de cultivos de interés agrícola para comercialización y autoconsumo.	Cosecha la biomasa de cultivos de interés agrícola para comercialización y autoconsumo.	Cosecha la biomasa de cultivos de interés agrícola sólo para comercialización.
Un día laboral es repartido en diversas prácticas de campo, en diversos cultivos y agroecosistemas.	Un día laboral es repartido en diversas prácticas de campo, en diversos cultivos del agroecosistema.	Un día laboral es repartido en pocas actividades y en uno o dos cultivos.
Laboran en actividades de campo hombres y mujeres.	Laboran en actividades de campo hombres y mujeres.	Laboran en actividades de campo solo hombres.
Grado de tecnificación bajo - medio: 2 invernaderos, secador solar, vivero, bodega zona de compostaje, y lombricompost, tanques de	Grado de tecnificación alto: 2 invernaderos, sistema de fertirriego – cuarto de máquinas para sincronizar el riego, tanques de recolección	Grado de tecnificación bajo: bodega y riego.

<i>Finca agroecológica</i>	<i>Finca ecológica</i>	<i>Finca Convencional</i>
elaboración de biofertilizantes, gallinero.	de agua, estación meteorológica, paneles solares - baterías, equipo de elaboración de biochar, compostera, bodega, tanque de elaboración de biofertilizante, sitios para escáner código QR e internet	
La finca es un lugar abierto para el aprendizaje, dado que son visitados por académicos, estudiantes y consumidores para conocer el sistema productivo.	La finca es un lugar abierto para el aprendizaje, dado que son visitados por académicos, estudiantes y consumidores para conocer el sistema productivo.	La finca solo es visitada por los horticultores.

### *Fertilización*

Una peculiaridad de los sistemas productivos agroecológicos y ecológicos es que no solo se esmera por nutrir las plantas sino el suelo, siempre está impregnada esa intención cuando se hace el manejo integral de todo el sistema.

La finca agroecología cuenta con espacio para elaborar constantemente dos pilas de abono orgánico tipo compost, para el utiliza los residuos de cosecha y residuos de las comidas (de la casa, de la tienda donde vende en fresco las hortalizas y del restaurante que utiliza las hortalizas del predio para hacer sus alimentos), esto hace que la mayor cantidad posible de la energía dentro de sistema permanezca y no se pierda, y que a su vez mejore las condiciones del suelo de manera sostenida y que brinde nutrientes a la planta.

También se tiene un espacio para la elaboración de los biofertilizantes (anaeróbico) a base de boñiga, ceniza, melaza, suero y levadura, siendo un proceso anaeróbico, este material es principalmente para las plantas de tomate.

Don Carlos también tiene lombricompost que hace con boñiga, saca alrededor de 200 Kg cada 2 meses, este lo comercializa igual que las lombrices.



**Figura 14:** Bio-insumos elaborados en la finca hortícola agroecológica. Lombricompost (A); Biofertilizante (B); Compost (C)

En la finca ecológica se elaboran para fines de nutrición del suelo y las plantas, el biochar, el compostaje y los biofertilizantes que llaman bioreactor. El biochar consiste en obtener char (carbón) y ácido acético a partir de la quema de madera en un sistema cerrado lo que genera mucho menos contaminación. El char lo incorporan en las camas para cultivo y en el compost, este material de acuerdo con Cristina, ayuda a retener la humedad y adecuar el espacio apto para el crecimiento y reproducción de los microorganismos.

El compostaje es elaborado con residuos de cultivos, arvenses y residuos de los alimentos (De la casa y de la tienda donde comercializa las hortalizas frescas). El compost se aplica en las camas en el momento de la preparación para un nuevo ciclo productivo. Se logra tener compost en un mes.

Lo biofertilizantes (bioreactor), es un proceso aeróbico donde utiliza microorganismos de bosque cercanos a la finca, cada 4 meses se traen nuevos y la forma de capturarlo es en frascos de vidrio con una mezcla de arroz cocinado con melaza, después lo tapan con una malla porosa y lo entierran en el bosque a ras del suelo y tapan con la hojarasca presente en el bosque, a los 15 días en el frasco esta reproducidos muchos microorganismos. Después de recolectar los microorganismos hacen una mezcla con agua, melaza y harina de maíz. Continuamente por 4 meses se está utilizando el biofertilizante y se va enriqueciendo con melaza, harina de maíz y agua. El biofertilizante se aplica al compost, al suelo de las camas con fertirriego (20%) y de forma foliar con la ayuda de una bomba de espalda (25%) semanalmente en todos los cultivos.

Para complementar la nutrición, en los cultivos con frutos como tomate, fresa, uchuva, gulupa y granadilla, se aplica junto con el bioreactor, fertilizantes líquidos que proporcionan macro y micronutrientes.



**Figura 15:** Bio insumos elaborados en la finca hortícola ecológica. Biochar (A); compost (B); biofertilizante (C)

La finca hortícola convencional para la nutrición de sus cultivos de lechuga y repollo, aplica en el momento de la siembra gallinaza y junto a las fumigaciones con insecticidas y fungicidas, fuentes de macronutrientes, además aplican otros fertilizantes como urea, 10-20-20 y triple 15.



**Figura 16:** Aplicación de cal y gallinaza en el momento de siembra en la finca hortícola convencional

#### *Control de plagas, enfermedades y arvenses*

En busca del manejo sustentable de los recursos naturales, la finca hortícola agroecológica implementa estrategias para reducir la presencia de plagas y enfermedades, por ejemplo ubicando las arvenses después de desmalezar en las calles y no en las camas, esto para evitar babosas en los cultivos de interés (por lo menos cuando están pequeñas las plantas), que son favorecidas por la humedad y bajas temperaturas.

Otra estrategia que Don Carlos Osorio implementa en su finca es asociar al cultivo principal plantas como el tabaco, la ruda, tabaco, los girasoles, entre otras muchas, para que las plagas no sean un limitante, que no hagan tanto daño, el tomate de aliño es el cultivo más afectado (entre el 10 y 15%). Don Carlos menciona que el girasol por ser amarilla, brinda esa energía que necesita el huerto, lo considera algo esotérico y místico. Las flores amarillas y blancas son importante para él tenerlas dentro del huerto porque son hospederos de insectos benéficos, mostaza, tiene la cicuta, la flor del cilantro, la flor de la zanahoria, entonces los insectos benéficos llegan a esas plantas y atacan insectos plagas, parasitándolos. No todas las camas y eras tienen una planta control, por ejemplo la mostaza es muy melífera, que atrae mucho insecto polinizador. La presencia de mostaza de acuerdo con Don Carlos es un buen indicador de tierra fértil. La planta de tabaco es clave para el huerto de Don Carlos para hacer control de plagas.

Además dispone otras plantas para que se alimenten los insectos visitantes y animales para que ellos no ataquen los cultivos de interés, por ejemplo muchos aguacates caen al suelo pero Don Carlos no los recoge, los deja porque son consumidos por los pájaros, las ardillas y las chuchas.

En cuanto al control de las arvenses, se hace manualmente y se incorporan en el suelo en las calles.

Este manejo del sistema productivo hortícola agroecológica le ha permitido a Don Carlos no tener que hacer control de plagas ni enfermedades usando productos químicos ni biológicos. Una concepción de Don Carlos en cuanto a la presencia de plagas, es que los fertilizantes químicos en especial cuando se aplica mucho nitrógeno son rápidamente absorbidos por las plantas y rápidamente crecen pero las vuelve susceptibles a las plagas, por lo que se torna la necesidad de tener a disposición el plaguicida.

En cuanto al control de enfermedades y plagas que se realiza en la finca hortícola ecológica, Cristina hace control de los mismos cuando realmente las plantas estén siendo afectadas y depende del órgano de la planta que la plaga o enfermedad que esté afectando, porque de acuerdo con ella, no amerita o no es necesario hacer control estricto de una plaga o enfermedad cuando esté afectando un órgano de la planta que no sea comercializable si este daño no está causando disminución de rendimientos.

Para controlar las plagas y enfermedades en la finca hortícola ecológica se utilizan productos biológicos como el aji-ajo, yodo y el jabón de coco que se aplican con ayuda de una bomba de espalda y el control de las arvenses que salen sobre las calles se hace manualmente, arrancándolas antes de florecer y se coloca sobre las mismas calles, sobre las camas no hacen estrictamente un control de las arvenses porque en la mayoría de las camas se utilizan plásticos para cubrirlas de manera que el crecimiento de plantas indeseadas es muy precaria.

Un particularidad del control de plagas y enfermedades en la finca hortícola convencional es que las fumigaciones con agroquímicos se basa en decisiones que los productores hagan según las condiciones ambientales, sobre el grado de incidencia que perciban de las enfermedades, por ejemplo cuando aumentan las lluvias hacen fumigaciones cada 5 días, cuando disminuyen las lluvias cada 10 días, pero aunque no evidencien enfermedades hacen fumigaciones continuas (alrededor de cada 8 días) con mezcla de insecticidas, fungicidas y fertilizantes desde los dos días después de la siembra hasta la última semana de cosecha. El plan de fumigaciones lo va planeando el horticultor según vaya surgiendo los cultivos y tiene el plan de fumigaciones siempre en su mente.

Aunque se apliquen muchos agroquímicos en el sistema hortícola convencional, se evidencia mucha presencia de enfermedades y las plantas crecen disparejas, muchas con las raíces cortas y atrofiadas, esto favorecido por la falta de asociaciones, rotaciones entre otras prácticas que mantengan un suelo más sano y que contribuya a la resistencia de las plantas a las plagas y enfermedades. Las plantas que se pierden por daños fitosanitarios graves se pican en el terreno, se les aplica cal y se incorporan en el suelo en la preparación de las camas para el próximo ciclo productivo.

El control de las arvenses es completamente químico y se hace especialmente cuando está iniciando el ciclo productivo.



**Figura 17:** Finca hortícola convencional. Fumigación (A); Lechugas enfermas (B); Repollo con raíces cortas y atrofiadas (C).

El manejo que se le da a los empaques de los agroquímicos cuando se termina el producto, es el triple lavado y después lo recogen los encargados de llevarlos al destino final. El agua del lavado lo aplica a los pastos alrededor de los lotes productivos.

Entre los ingredientes activos usados en el control de plagas, enfermedades y arvenses se tiene:

Herbicidas: Glifosato, Paraquat y Metribuzim.

Insecticidas: Cipermetrina, Clorpirifos, Metomil, Flubendiamide, Lambda cihalotrina, Carbosulfan y Triclorfon.

Fungicidas: Clorotalonil, Mancozeb, Kasugamicina, Difenoconazole, Azoxistrobin y Flutriafol.

También utiliza coadyuvantes que tienen la función como humectante, acidificante, neutralizador de sal y controlador de espuma.

### *Economía del trabajo*

La mano de obra requerida para las diferentes labores como la adecuación de las camas, elaboración de abonos, siembra, cosecha, fertilización, entre otras, son desarrolladas en la finca agroecológica y ecológica el 50 % por los integrantes de la familia y el otro 50% por mano de obra contratada o externa. Para el caso de la finca convencional, el 100% de la mano de obra es contratada.

Otro aspecto que vale la pena destacar es el rol de la mujer en las actividades productivas, en la finca agroecológica y ecológica la mujer participa, tiene autonomía y hace labores importantes e indispensables como son la planificación de siembra y de cosecha, manejo de plagas y enfermedades, desyerbas, raleos, aporque, entre otros. En la finca con producción convencional, estas actividades el 100% son desarrolladas por hombres, es nula la participación de la mujer.

En el Oriente Antioqueño llega mucha gente porque hay mucha fuente de empleo, pero la mayoría se vincula a cultivos de flores, lo que le es más rentable y conveniente para los trabajadores (con producción convencional). Don Carlos de la finca agroecológica no tiene un relevo generacional en un sentido estricto porque los hijos no lo acompañan en las labores del predio, pero de igual manera continuamente llegan estudiantes, voluntarios donde la mujer es bastante significativo, que llegan para aprender, para apoyar ya sea mano de obra y/o compartiendo conocimiento.

En términos de uso del tiempo laboral la finca hortícola convencional invierte en un año el 73% del tiempo en preparación de terreno y siembra (adecuación de residuos de cosecha anterior, armando la cama y aplicando cal y gallinaza y sembrando), el 17% cosechando y el 9% fumigando.

La finca hortícola ecológica el 28,5% haciendo podas (el cultivo principal requiere de podas, fresa), el 26,1% en desmalezar las calles y las camas que no se les coloca plástico, el 16,1% cosechando, 12,8% haciendo control de plagas y enfermedades y aplicando fertilizantes, 6,2% en preparación de las camas (remover, aplicar biochar, aplicar compost, adecuar el sistema de riego y colocar el plástico), el 4% en la preparación del compost, el

biochar y el biofertilizante, el 3% haciendo raleo, el 2% en siembra, el 1,3% removiendo los cultivos.

La finca hortícola agroecológica el 28,1% del tiempo lo dedica a la siembra (Limpieza de la cama, ahoyado en puntos de siembra, aplicación de abono y siembra), 19,5% a desmalezar las calles y camas, 16,2 a cosechar, 12,9% a labores de postcosecha (en su mayoría por desgrane de maíz) 10,8% a remover los cultivos que han finalizado su ciclo productivo, el 8,4% a aporcar, 1,8% alimentado a los animales, 1,1% al raleo, 1,1% haciendo compost, biofertilizantes y lombricompost.

#### *Autoconsumo*

En la finca con producción convencional el 100% de la producción que se socializa es vendida, en la ecológica el 2,16% es auto consumida; en la agroecológica 0,36% es auto consumida.

#### *Uso de conocimientos y habilidades*

Se evidencia mayor habilidad, nociones y conocimientos de los productores agroecológicos y ecológicos para hacer manejo adecuado de los recursos naturales, el suelo y el agua, al desarrollar prácticas como las asociaciones, las rotaciones, abonos orgánicos, que son prácticas que no solo contribuyen a la conservación de elementos fondos como el suelo, la biodiversidad, el agua, sino que hacen más eficiente energéticamente al sistema productivo.

#### *Maximización de valor agregado y complementación con otras actividades para optimizar las ganancias*

Los sistemas hortícolas son sistemas agrícolas en el que los componentes funcionan bajo alto grado de interacción, lo que permite haya mayor productividad, por lo que muchos productos resultan de éstos sistemas productivos. En la finca agroecológica por ejemplo se compra leche y con esto se hace queso, y el suero que resulta se utiliza para hacer los biofertilizantes, entonces se generan insumo para fertilizar las plantas de tomate y se tiene queso para autoconsumir y para comercializar 30 quesos semanales, además con la nata que resulta del proceso de elaborar los quesos se hace mantequilla, para autoconsumo o comercializar. Otra actividad que realiza es germinar el maíz, el cual es más palatable para los animales. Don Carlos también tiene un secador solar artesanal, para deshidratar el limoncillo, la caléndula, la manzanilla para hacer bebidas aromáticas para autoconsumo y comercializar (Figura 18).



**Figura 18:** Queso (A); Mantequilla (B); deshidratador solar artesanal (C); y Maíz germinado para gallinas (D) en la finca hortícola agroecológica.

En finca ecológica El Herbolario cuenta con una tienda donde comercializan los productos propios y de otros productores, se hacen mermeladas (les conceden a sus clientes un descuento en la próxima compra si hacen retorno del frasco de vidrio), frutos deshidratados, salsa pesto, bouquet de lechugas y se comercializan plantas ornamentales (Figura 19).



**Figura 19:** Presentación de alimentos de la finca hortícola ecológica

En la finca convencional El raizal se comercializa las lechugas empacadas en cajas y los repollos en costales (figura 20).



**Figura 20:** Presentación de lechugas y repollos listos para la comercialización de la finca hortícola convencional.

### *Comercialización hortícola*

Los horticultores agroecológicos y ecológicos son más flexibles en reacomodar sus sistemas productivos según las dinámicas del mercado, es decir, a los requerimientos, a los gustos y cultura de los consumidores, además de darle gran importancia a su alimentación, porque tiene la particularidad de autoabastecerse de alimentos el cual tienen interés en que sean nutritivos y sanos.

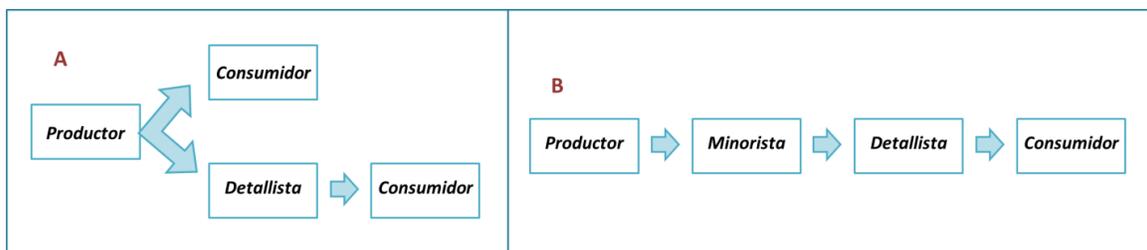
Hay particularidades en la comercialización que hacen los horticultores agroecológicos y ecológicos y primero es generar valor agregado a los productos que comercializan, segundo en buscar estrategias de comercialización directa al consumidor estableciendo tiendas, y tercero generar alianzas que le permitan dar salida a sus productos sin tantos intermediarios, esto por medio de venta en restaurantes, esto les permite lograr mejores precios, tener una comercialización más estable y garantizada, mayor rentabilidad e incrementar su participación directa en el mercado.

Las hortalizas agroecológicas son comercializadas en una tienda propia y en un restaurante, además suele comercializar esporádicamente desde la propia finca a vecinos.

Las hortalizas ecológicas son comercializadas también en Medellín, un cliente muy estable y le hace envío de productos dos veces a la semana. La otra mitad de los productos son comercializados por medio de la tienda en la zona llamado Lácteos Buenavistas y otra modalidad por pedidos de grupos de consumo. Una particularidad de la comercialización de los productos ecológicos es que los consumidores y/o clientes potenciales son de un nivel socioeconómico más alto, los precios de los productos son más alto que las hortalizas convencionales (los precios son más o menos el 15% más de lo que cuesta los productos convencionales, esto porque es más costoso el mantenimiento de la infraestructuras como los invernadero y el sistema de riego) por lo que los pobladores del territorio no suelen comprar éstas hortalizas, prefieren comprar más económico así sea producidos con agroquímicos.

Todas las hortalizas convencionales de la finca El Raizal se envían a la ciudad de Medellín (Aproximadamente 67 Km de distancia).

En las siguientes figuras se muestra los diferentes canales de comercialización de las hortalizas de cada uno de los sistemas productivos:



**Figura 21:** tipos de canales de comercialización de hortalizas. Finca hortícola Agroecológica y Ecológica (A); Finca hortícola Convencional (B)

*Coherencia agro-técnica que se da por el entorno cultural, socioeconómico y biofísico de cada sistema hortícola.*

De acuerdo con Loyola (2017) para analizar los sistemas de producción de los horticultores hay que conocer las diferentes actividades agrícolas, pecuarias y no agropecuarias, para establecer las fuerzas productivas y su interdependencia dentro del sistema productivo que el agricultor ha desarrollado en el tiempo, según las exigencias de bienestar de su familia y de las necesidades sociales y económicas externas. Es probable que todos los productores quieren desde sus sistemas productivos mejorar las condiciones materiales, pero dada las diferencias en las condiciones económicas y sociales de los mismos no todos tiene el mismo interés en maximizar los elementos económicos, además hay muchos criterios de gestión que consideran los productores en el funcionamiento de sus sistema productivos y lo que le confiere la coherencia técnica (Dufumier, 1990; Loyola, 2017).

#### Entorno socioeconómico:

Finca hortícola Agroecológico: Minimización de riesgos por malas cosechas, muchas hortalizas diversas en un mismo periodo, diversas asociaciones, distribuyendo las mismas hortalizas en diferentes puntos del predio, generando valor agregado a sus productos, complementa sus ingresos por actividades agrícolas con otras actividades no agrícolas (Atención de visitas académicas para conocer el sistema productivo agroecológico), poca especialización del sistema productivo (Agricultor, pecuario, transformados) agroecológicos, autoabastecimiento de alimentos, establece relaciones sociales con académicos, otros agricultores agroecológicos o no y consumidores, relación directa con los consumidores, se resalta que puede haber escenarios agrarios donde lo social y económico se puede sostener e interactuar.

Finca hortícola Ecológico: Adecuar infraestructuras (Invernaderos) para hacer frente condiciones ambientales desfavorables y así tener mayor control fitosanitario, diversas asociaciones, diversidad de especies en el mismo periodo, poca especialización del sistema productivo (productos frescos y transformados) ecológicos, autoabastecimiento de alimentos, establece relaciones sociales con académicos, otros agricultores ecológicos o no y consumidores, relación directa e indirecta con los consumidores

Finca hortícola Convencional: Especialización en dos tipos de cultivos, intensificación productiva, uso de medios de producción de origen industrial (Fertilizantes, agroquímicos), toda la producción se comercializa, se establecen relaciones sociales con agrónomos que trabajan sólo la agricultura convencional, relación indirecta con los consumidores.

#### Entorno biofísico:

Finca hortícola Agroecológica: Sistema hortícola, pecuario y forestal, máxima utilización de los procesos biológicos que se generan al interior de un agroecosistema (Fijación de nitrógeno, reciclaje de nutrientes, uso de estiércoles), maximización de flujos de materia y energía dentro de todo el sistema productivo.

Finca hortícola Ecológica: Sistema hortícola, maximización de flujos de materia y energía dentro de todo el sistema productivo.

Finca hortícola Convencional: sistema hortícola, maximización del espacio para producción agrícola.

#### Entorno cultural:

Finca hortícola Agroecológico: Conocimientos técnicos (experiencia, apoyo profesional, sabiduría ancestral), arraigo a la tierra y al cuidado de los recursos naturales, visualización del sistema productivo como eje de la vida.

Finca hortícola Ecológico: Conocimientos técnicos (experiencia, apoyo profesional, formación profesional), arraigo a la tierra y al cuidado de los recursos naturales.

Finca hortícola Convencional: Conocimientos técnicos (experiencia, apoyo profesional convencional).

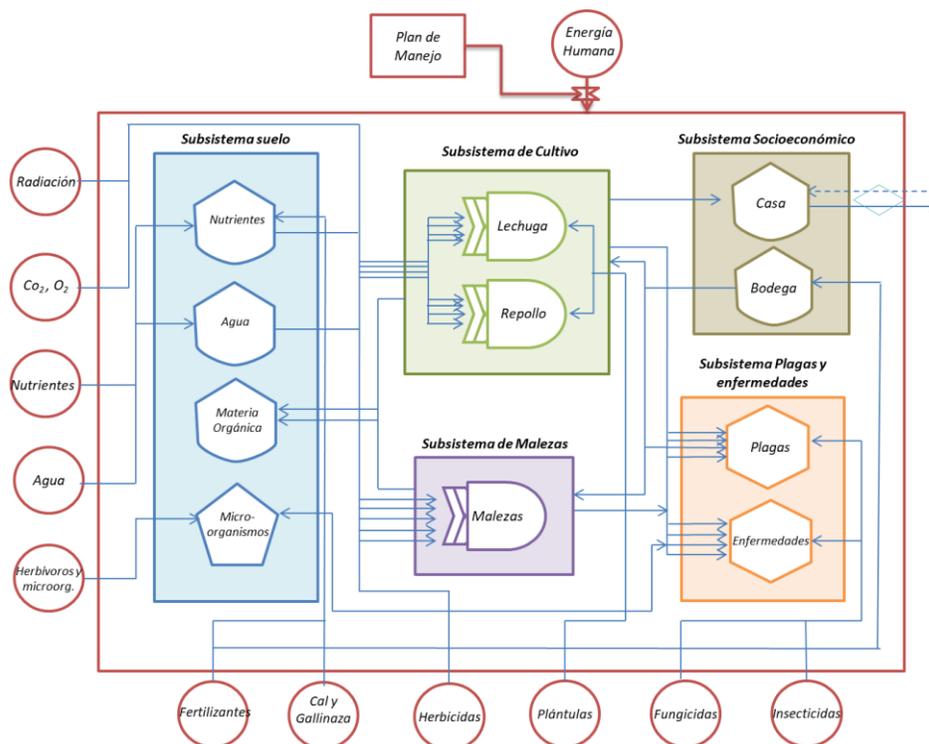
## ***2. Evaluación de procesos metabólicos de sistemas hortícolas***

### **3.1. Flujos de biomasa y energía que entran, circulan y salen de cada una de las fincas hortícolas**

La organización (estructura) y los subsistemas que poseen los sistemas productivos hortícolas, inciden en la eficiencia en el uso de la energía y el máximo aprovechamiento de la Productividad Primaria Neta que sustenta la economía de la finca y la producción y reproducción de los elementos fondos.

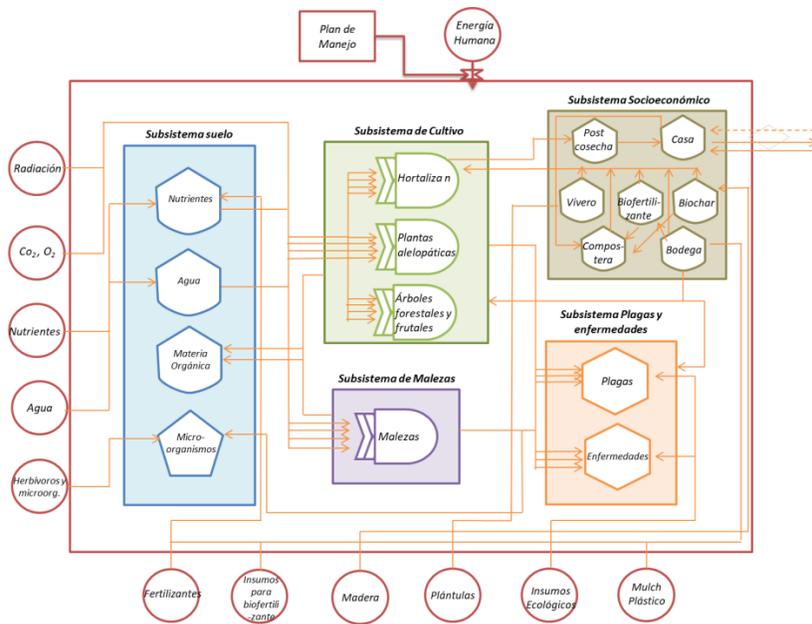
Si analizamos la finca con producción hortícola convencional (Figura 22), depende 100% de insumos externos, los cuales son para la fertilización y control de plagas y enfermedades, aunque irónicamente se evidencia mayores problemas de enfermedades, ataque de plagas y pérdidas por lo mismo, lo cual también hace que las enfermedades y plagas persistan en el sistema ya que no hay estrategias complementarias y/o distinta que

usar agroquímicos, además que se perjudica la biota benéfica que le brinda defensas a la planta, por lo que la dependencia a insumos externos sigue en el tiempo.

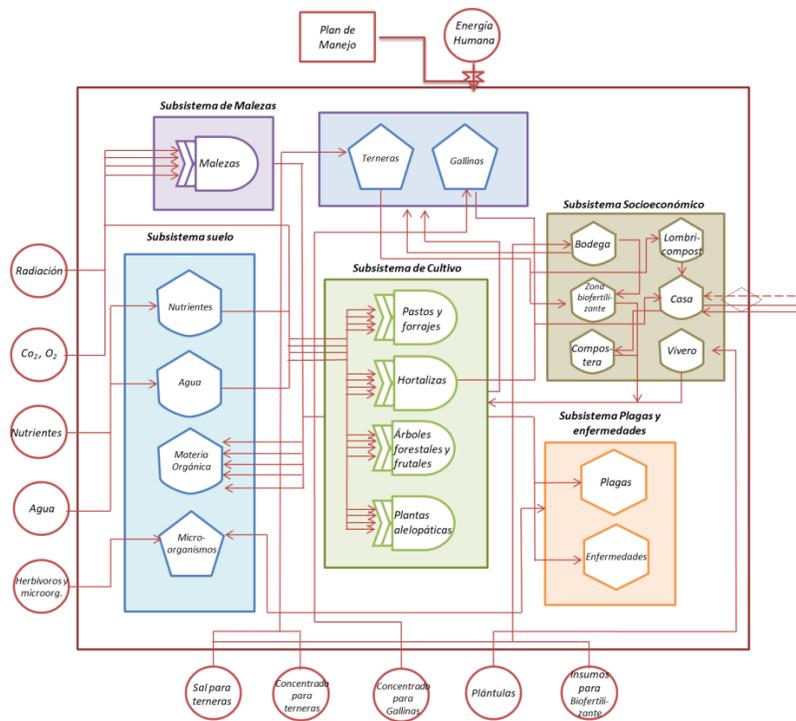


**Figura 22:** Flujo de materiales, energía e información en la finca hortícola convencional

A diferencia de las fincas con producción ecológica (Figura 23) y agroecológica (Figura 24) hay cierta dependencia a insumos externos, pero éstos son de tipo biológico o ecológico, entre ellos está la gallinaza, la melaza, la leche para el suelo que van a proporcionar la nutrición al suelo y a las plantas y en el tiempo va a contribuir a que el suelo sustente la producción sin depender en algún momento de los insumos externos, de igual manera, se busca que los diferentes subsistemas del predio proporcione en lo más que se pueda, los insumos que se requieren para suplir la fertilidad del suelo y crecimiento y desarrollo de las plantas, por lo tanto de la productividad.



**Figura 23:** Flujo de materiales, energía e información en la finca hortícola ecológica



**Figura 24:** Flujo de materiales, energía e información en la finca hortícola agroecológica

La productividad en la finca agroecológica en sí no es dependiente de los insumos externos para el sostenimiento de la productividad, por lo que el suelo ha adquirido las propiedades físicas, químicas y biológicas necesarias para sustentarla. Más sin embargo se requiere introducir insumos ya que la finca por sus dimensiones no proporciona por ejemplo la

alimentación completa de la alimentación de las gallinas y las terneras (concentrados), las cuales hacen parte de subsistemas claves para la sostenibilidad del sistema hortícola.

La finca convencional al poseer un solo agroecosistema no es posible las interacciones entre diversos componentes de otros agroecosistemas, pero junto con la finca hortícola agroecológica y la ecológica sí hay interacciones entre los componentes bióticos (cultivos, plantas medicinales y aromáticas, arvenses, insectos y microorganismo) y físicos (el ambiente en el que interactúan los componentes bióticos) dentro de cada uno de los agroecosistemas, que hacen que haya flujo de energía, materiales e información que entran y salen de los diferentes subsistemas ya sea por ejemplo cuando entra material orgánico al subsistema suelo cuando mueren las plantas y las arvenses, por lo que se torna muy dinámico.

En los productores agroecológico y ecológico está impregnada la importancia de las interacciones ecológicas que se dan dentro del sistema productivo. La apropiación que los productores hacen cuando es agroecológica buscan dar uso de los recursos naturales favoreciendo el reciclaje de nutrientes, el control de micro climas y al disminución de fauna plaga, el aprovechamiento y la conservación del suelo y el agua como elementos fondos indispensables para el funcionamiento del sistema productivo. Se implementan estrategias de diversificación, asociaciones y rotaciones (plantas de diferentes partes cosechables y de diferentes profundidades) de manera que brinde biomasa que permita recircular energía en el sistema, por ejemplo aportando biomasa para elaborar el compost.

La diversidad de subsistemas y especies vegetales y alto grado de interacción de los agroecosistemas en la finca agroecológica, hace que haya mayor diversidad estructural y funcional, importante para la promoción de residuos vegetales para la producción de materia orgánica, alimentos para el subsistema animal, permite tener un sistema un poco más cerrado y compensar la salida de nutrientes que se da en la cosecha y comercialización, por ejemplo, las plantas y productos agrícolas como el maíz, residuos del brócoli y de la arracacha son aprovechadas por las gallinas, el falso girasol, el pasto imperial y el queiebrabarrigo que están en el potrero son consumidos por las terneras. Tello *et al.*, (2015), destaca la importancia de los productos agrícolas que son utilizados para la alimentación animal, porque luego los animales ejercerán la energía por ejemplo para devolverla a los suelos a través del estiércol.

Al finalizar el ciclo de vida de las plantas alelopáticas proporcionarán biomasa que enriquecerá el suelo con materia orgánica para el caso de la finca con producción hortícola agroecológica y será como biomasa para elaborar compost en la finca ecológica. En la finca con producción convencional no se presentan estas plantas dentro del diseño.

Partiendo del hecho de que el sistema hortícola agroecología da importancia a la existencia de las arvenses, éstas también proporcionan biomasa que al incorporarse en el suelo apoyará la recirculación de nutrientes en el suelo y el sostenimiento de la biota del mismo.

Residuos como por ejemplo los tallos y las raíces del brócoli y del repollo, raíces de la col china, del puerro, de las lechugas verde cressa, morada y romana en la finca agroecológica se dejan en el suelo para su descomposición. Las raíces de las lechugas en la finca ecológica se dejan en el suelo, las hojas de la zanahoria, la remolacha, cebolla de huevo, el tallo, raíces y hojas del brócoli, hojas, tallo, raíces y capacho del maíz, tallos, hojas y raíces del zucchini, tallos, hojas y raíces de la fresa se usan para compostaje.

Por otra parte, restos de los alimentos como biomasa socializada que sale para autoconsumo, o para venta en tienda o restaurante en las fincas agroecológica y ecológica retorna de nuevo al sistema para la elaboración del compost.

La cantidad de flujos al interior de los agroecosistemas de la finca agroecológica es mayor dado que sus elementos fondos tienen mayor capacidad de contener energía y recircularlo en los diferentes subsistemas, y requieren menos incorporación de flujos externos dado que su entropía es baja, eso refleja mayor capacidad para sostener la productividad en el tiempo. De acuerdo con Guzmán y González de Molina (2017), hay estructuras disipativas de alta entropía que requieren mayor suministro de energía externa (es decir, mayor extracción y/o importación de energía), en los sistemas hortícolas convencionales, la plantación es tan simplificada que no hay elementos fondos que estén bajo continua recepción de energía (en forma de biomasa) que les permita reproducirse y proporcionar flujos continuos de energía que le confiera la sostenibilidad a todo el sistema productivo y no se da un manejo adecuado que permita que la biomasa que ingrese al suelo sea aprovechada eficientemente.

La estructura establecida en el sistema productivo convencional no permite la recirculación de nutrientes ni control de plagas y enfermedades en sentido estricto, aunque en el agroecosistema se realiza incorporación de residuos del anterior cultivo al preparar la cama para un nuevo ciclo (Hojas defectuosas de lechuga y repollo, tallos del repollo, raíces de lechuga y repollo y cabezas de lechuga y repollo defectuosos no comercializables), el inconveniente que tiene este sistema productivo es que por las constantes aplicaciones de agroquímicos que entran en contacto con el suelo afecta los microorganismos del mismo (en especial hongos y bacterias), que son los que apoyan en la descomposición y aprovechamiento de la materia orgánica para la liberación de nutrientes para que estén disponibles para las plantas, entonces la presencia de este material orgánico puede acarrear problemas sanitarios sino se les hace un buen manejo (Figura 25).



**Figura 25:** Residuos de brócoli (Tallos, hojas, raíces y cabezas defectuosas de repollo) de la finca hortícola convencional.

El hecho que la producción hortícola agroecológica y ecológica hagan aplicaciones continuas de material orgánico al suelo, ya sea por aportes de compost, biofertilizante (internos) o material orgánico muerto de arvenses, plantas alelopáticas o residuos de cultivo o por externos como la gallinaza, fomenta la diversidad biótica del subsistema suelo, además la estructura y funcionamiento que se configura es clave para recuperar los nutrientes y la energía que sale de la finca cuando se cosecha, mientras se logra mayor estabilidad productiva en el tiempo al causar que el suelo tenga mayor capacidad de suplir los requerimientos para la productividad de los agroecosistemas y menos dependencia al uso de insumos externos.

La diversidad hortícola que se conciben en el sistema agroecológicos y en cierta medida en ecológicos juegan un papel indispensable también para disminuir riegos en el espacio y el tiempo, dado que si algún cultivo falla hay otro de respaldo, por lo que es común ver diferentes subsistemas e integración de las especies animales con vegetales donde todos sirven al otro y todos se benefician mutuamente, pero esto a la vez hace que se disminuya la dependencia tanto de los problemas no controlados de la naturaleza, como del contexto socioeconómico externo.

Hay también interacciones indirectas debido a que la mano de obra es distribuida en los diferentes agroecosistemas y sus subsistemas dentro de la finca y el plan de trabajo también se hace pensando en la finca de manera integral.

Dado que cualquier restricción ambiental sobre la producción primera afecta la producción secundaria de un ecosistema, y que por medio de la agricultura la energía solar ya no es usada para seguir la cadena trófica sino para la apropiación del ser humano (Smith y Smith, 2007), desde la agroecología se busca que los agroecosistemas imiten los ecosistemas naturales, de manera que se fomente procesos de ciclaje de nutrientes y que parte de la

Producción Primaria Neta sea aprovechada para seguir las cadenas tróficas y así la producción secundaria, en los agroecosistemas de la finca hortícola agroecología por ejemplo se tienen frutales que cuya producción es para consumo de animales como la chucha, los pájaros, las ardillas y también para ser retornado al suelo lo que implica que meso y microfauna se beneficie también de ello, se propicien procesos de descomposición, mineralización, humificación y aprovechamiento de nutrientes por parte de las plantas para seguir generando producción primaria, todo esto hace parte de cuidar elementos fondos como la biodiversidad y el suelo y que se tenga menos dependencia de flujos de energía externa.

Esto mencionado está relacionado con lo que comenta Giamprietto et al., (2014), y es que las características de los flujos están estrechamente relacionadas con el fondo del que se origina y esto implica que los agroecosistemas hortícolas puedan o no sustentar la Productividad Primera Neta sin requerimientos nutricionales externos, por ejemplo cuando está balanceado la relación Carbono: Nitrógeno de la materia orgánica en el suelo se mejoran las tasas de descomposición, la mineralización y liberación de nutrientes disponibles para las plantas, por lo tanto la cantidad y la calidad de la materia orgánica es importante cuando no se quiere afectar la producción primaria (Smith y Smith, 2007); y la sostenibilidad de un agroecosistema depende del nivel de biodiversidad, abundancia de material orgánico o la reposición adecuada de la fertilidad del suelo, cerrando así ciclos biogeoquímicos a escala local (Guzmán y González de Molina, 2017).

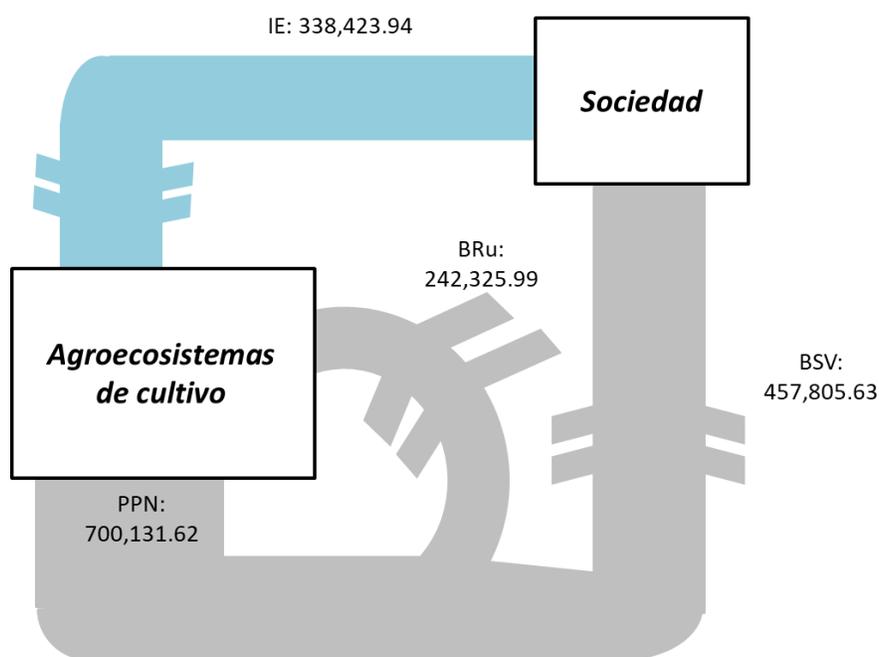
En las fincas agroecología y ecológica, se suministra materia orgánica de tipo vegetal y/o animal al suelo, ya sea compostada o incorporada fresca y ésta proviene de una gran diversidad de especies vegetales (por ejemplo, brócoli, lechugas, repollo, zanahoria, remolacha, maíz, entre muchos otros), lo que hace que la materia orgánica sea de mejor calidad y tenga mayor estabilidad y aprovechamiento dentro de los elementos fondos y se reproduzcan, esto es importante por lo que comenta Guzmán y González de Molina (2017), y es que los fondos son alimentados de flujos de energía en forma de biomasa y entre más complejo y dinámico sea el agroecosistema, mayor será su capacidad para albergar tales flujos dentro de él.

La producción agroecológica y ecológica contiene un nivel de complejidad que mantiene mayor biodiversidad y esto posibilita la reutilización interna de la biomasa, los sistemas convencionales con coberturas homogéneas no priorizan en darle uso a la biomasa sino a proporcionar insumos externos que dinamicen todo el sistema y se tenga producción primaria.

Tello *et al.*, (2015) comenta que las cadenas alimentarias disponibles para todas las demás especies no domesticadas dependen de la biomasa no cosechada y que además la biodiversidad asociada depende de haya biomasa reutilizada, porque las reutilizaciones

internas contribuyen a las cadenas alimentarias agroecológicas (principalmente subterráneas). Por su parte Tello y Galán del Castillo 2013; y Tello *et al.*, (2015) comentan que la importancia de la biomasa reutilizada radica en que está relacionada con una serie de diversas y usos integrados de la tierra que genera mosaicos de paisajes complejos, albergando diversas especies y generando un conjunto de micro-hábitats con gran complejidad espacial y temporal que confiere resiliencia ecológica a los agroecosistemas.

En las siguientes figuras 26, 27 y 28 se muestran las diferentes categorías de biomosas e insumos externos en los sistemas productivos convencional, ecológico y agroecológico.

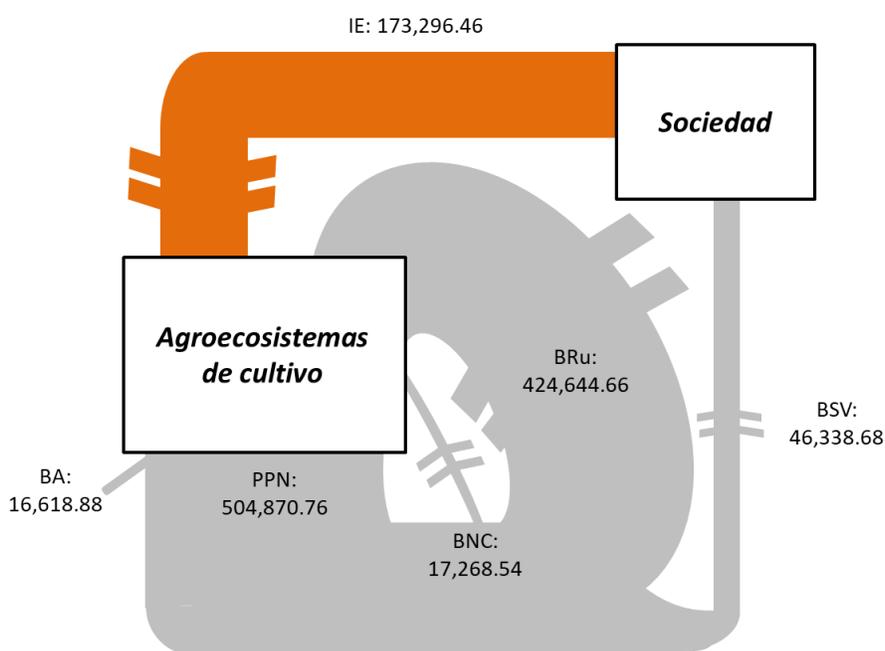


**Figura 26:** Insumos externos (IE) (MJ/Ha), Producción Primaria Neta (PPN) (MJ/Ha), Biomasa Reutilizada (BRu) (MJ/Ha) y Vegetal socializada (BSV) (MJ/Ha) en la finca hortícola convencional.

La Productividad Primaria Neta en la finca convencional es más alta con respecto a la que se produce en las fincas ecológica y agroecológica, porque el momento de cosecha de las hortalizas es más tardío en la convencional, tiene mayor peso cada hortaliza al momento de la cosecha, por ejemplo una cabeza de lechuga con producción convencional tienen un peso fresco aproximado de 2,28 Kg, la ecológica 0,25 Kg y la agroecológica 0,5 Kg, por otra parte, el 100 % del suelo de cultivo es dedicado a la producción de hortalizas, la PPN corresponde sólo a la biomasa de las hortalizas, por el contrario en la PPN en la finca ecológica y agroecológica está implicada la biomasa de las hortalizas, las plantas con funciones alelopáticas, las arvenses, los pastos, las plantas forrajeras y los árboles, sumado a esto la gran inyección de insumos fósiles en la finca convencional, que a corto plazo puede mejorar los rendimientos por unidad de tierra, pero que puede conducir a la pérdida

de hábitats y biodiversidad asociada a través de abandono de un uso múltiple integrado del paisaje (Tello y Galán del Castillo 2013; Tello *et al.*, 2015). Sumado a esto las fincas convencionales de por sí requieren mayor suministro de energía para poder disminuir su entropía, debido a que los elementos fondos que posee no son suficientes para tener entropía interna baja.

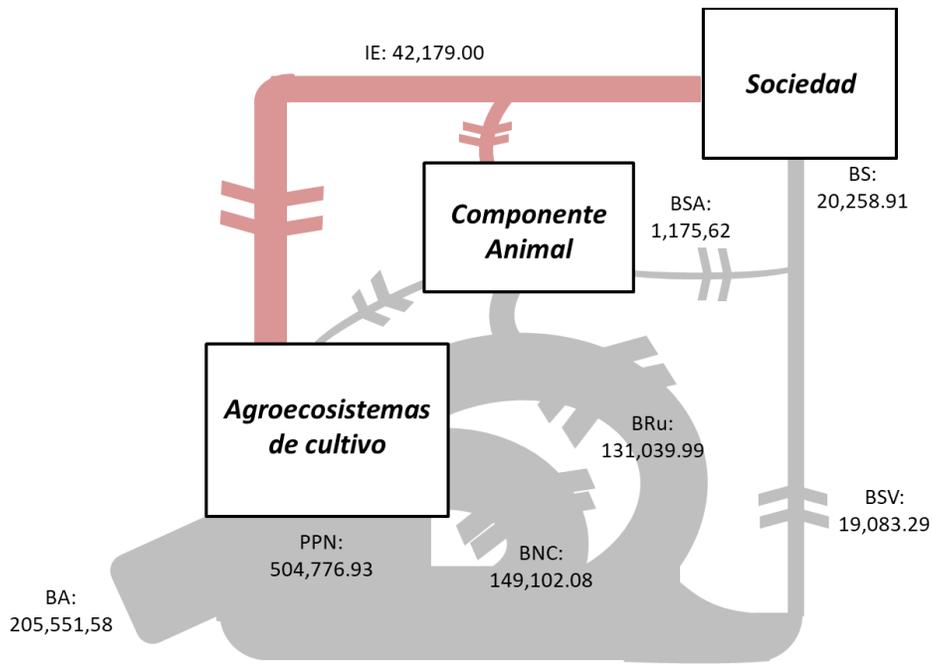
La biomasa reutilizada en el agroecosistema de la finca convencional, toda resulta de los cultivos de lechuga y repollo y en su totalidad son incorporadas en las camas en el momento de la preparación de las mismas. No se presenta biomasa no cosechada ni acumulada, el resto de toda la biomasa es socializada (0% auto-consumida) representando el 63% de la energía de la Productividad Primaria Neta.



**Figura 27:** Insumos externos (IE) (MJ/Ha), Producción Primaria Neta (PPN) (MJ/Ha), Biomasa Reutilizada (BRu) (MJ/Ha), Biomasa Acumulada (BA) (MJ/Ha), Biomasa No cosechada (BNC) (MJ/Ha) y Vegetal socializada (BSV) (MJ/Ha) en la Finca hortícola Ecológica.

Gran parte de la Producción Primaria Neta es reutilizada en la finca ecológica y está destinada al compost el 38,6% (94,14% son residuos de cultivos, 5,78% del pasto alrededor de los cultivos y 0,08% de las plantas con funciones alelopáticas) y el 61,6% se deja sobre la superficie del suelo (ésta biomasa proviene de las arvenses sobre las calles 92,2%, 4,5% restos de podas y 3,3 % de los cultivos).

La biomasa socializada representa el 9,17% de la PPN, del cual el 2,16% es autoconsumida y el resto sale para la comercialización.



**Figura 28:** Insumos externos (IE) (MJ/Ha), Producción Primaria Neta (PPN) (MJ/Ha), Biomosas Reutilizada (BRu) (MJ/Ha), Biomasa Acumulada (BA) (MJ/Ha), Biomasa No cosechada (BNC) (MJ/Ha) y Vegetal socializada (BSV) (MJ/Ha) en la Finca hortícola Agroecológica.

De la biomasa socializada 623,20 MJ son para autoconsumo, lo que corresponde al 3,26%.

De la biomasa reutilizada en la finca agroecológica el 40% es utilizada para alimentar a las terneras, (de los cuales el 80% de ésta biomasa proviene de pastos y forrajes, y el resto de residuos de cultivo y productos como el grano de maíz), el 27% de la biomasa reutilizada es para la elaboración de compost, el 26,5% de la biomasa se deja fresca sobre la superficie del suelo (de los cuales 41,5% resulta de las arvenses, 32,12% de los residuos de hortalizas y 26,38% de las plantas acompañantes de los cultivos con funciones alelopáticas), el 5,6 % es usado para la alimentación de las gallinas y el 0,9% es usada como semilla. Dichas biomosas tienen diferentes roles dentro de los agroecosistemas, las que son utilizadas para alimentación animal contribuirán a la fertilidad del suelo en la medida que proporcionen estiércol que apoyará en el retorno de nutrientes y principalmente como fuente de nitrógeno para el crecimiento y desarrollo de las plantas como también para el provecho de la microorganismos del suelo; con la biomasa dejada fresca en el suelo, ayudará a mantener la biodiversidad y fertilidad del suelo, lo que en el tiempo se reflejará en menos dependencia de insumos externos (para fertilización) para sostener la productividad.

En la finca agroecológica se dejan en campo los frutos de aguacate que caen en el suelo para ser aprovechados por los pájaros, ardillas y otros animales, esta biomasa no cosechada corresponde al 0,02% con respecto a la biomasa no cosecha y 0,008% con relación a la PPN.

A continuación se muestra la tabla 2, que muestran el resumen las biomásas y los valores que toman los EROIs en cada uno de los sistemas productivos convencional, ecológico y agroecológico.

**Tabla 2:** Biomásas y EROIs de los sistemas productivos convencional, ecológico y agroecológico.

	<i>Convencional (Conv) (MJ/Ha/Año)</i>	<i>Ecológico (Eco) (MJ/Ha/Año)</i>	<i>Agroecológico (Agro) (MJ/Ha/Año)</i>	<i>Eco/Conv (%)</i>	<i>Agro/Conv (%)</i>
NPPact	700131,62	504870,76	504776,93	72%	72%
Biomasa Socializada	457805,63	46338,68	20258,90	10%	4%
Biomasa Reusada	242325,99	424644,66	131039,99	175%	54%
Biomasa No Cosechada	0,00	17268,54	149102,08		
Biomasa reciclada	242325,99	441913,20	280142,07	182%	116%
Biomasa Acumulada	0,00	16618,88	205551,58		
Entradas externas	338423,94	173296,46	42179,00	51%	12%
Total entradas consumidas	580749,93	615209,66	322321,07	106%	56%
<i>EROIs propuestos desde el punto de vista económico</i>					
FEROI	0,79	0,08	0,12	10%	15%
EFEROI	1,35	0,27	0,48	20%	35%
IFEROI	1,89	0,11	0,15	6%	8%
<i>EROIs propuestos desde el punto de vista agroecológico</i>					
NPPact EROI	1,21	0,82	1,57	68%	130%
AE- FEROI	0,79	0,08	0,06	10%	8%
Biodiversity EROI	0,00	0,03	0,46		
Woodening EROI	0,00	0,03	0,64		
NPPact EROI – FEROI	0,42	0,74	1,45		
AE- FEROI/ FEROI	1,00	0,98	0,49		
NPPact EROI /AE- FEROI	1,53	10,90	26,45		

De acuerdo con Tello *et al.*, (2015), el análisis del EROI supone que una dependencia cada vez mayor de los insumos externos va de la mano con la pérdida de biodiversidad puesto que los elementos fondos de los agroecosistemas no pueden ser sostenidos con insumos derivados del petróleo.

Si comparamos las biomásas de los sistemas ecológicos y agroecológicos con respecto al convencional, vemos que en la finca hortícola ecológica la biomasa reusada es 75% mayor y la biomasa reciclada (reusada más no cosechada) es 82% más que la convencional y el agroecológico es 46% menos de biomasa reusada y 16% más de biomasa reciclada con respecto a la convencional. Este aumento de las biomásas reciclada en las fincas ecológicas y agroecológicas reduce drásticamente la eficiencia interna, al reducir el retorno de energía de la biomasa reutilizada en forma de biomasa socializada (IFEROI) y por otra parte, la ineficiencia interna no se ve compensada por una eficiencia de energía externa (EFEROI), por lo que es lógico ver el retorno de energía de flujos internos y externos en forma socializable cae al 10% en la ecológica y 15% en la agroecológica (FEROI).

Vemos entonces que el EROI final (FEROI) se convierte en el EROI más relevante cuando queremos evaluar su rendimiento energético desde un punto de vista de asignación destinado a satisfacer las necesidades humanas (Tello *et al.*, 2015). El EROI final en el sistema convencional es significativamente mayor que el ecológico y agroecológico lo que indica que la primera tiene mayor eficiencia energética a modo general y esto se debe en gran medida porque en la finca convencional se socializa el 63% de la PPN, en cambio el ecológico el 9% de la energía de PPN y la agroecológica el 3,8%; el área que ocupa la finca convencional a producir biomasa socializable es 100%, en ecológica es 57% y agroecológica 21,5%, tiene mayor peso las hortalizas de la finca convencional y la finca ecológica y agroecológica tiene una gran variedad de hortalizas, donde la mayoría residuos tienen mayor biomasa (peso) que la parte consumible por la sociedad.

Después de ver que el sistema convencional es más eficiente energéticamente, vemos que toma valores mayores de EFEROI lo que indica que su comportamiento es más de proveedor de energía y los sistemas ecológicos y agroecológicos consumidores, esto se debe en gran medida a que el sistema convencional tiene la tierra de cultivo 100% ocupada para producir cultivo (lechuga y repollo), por lo contrario la ecológica y agroecológica tienen otras especies vegetales acompañantes y arvenses que no tienen el propósito ser consumidas por la sociedad, entonces tienen buena cantidad de PPN y menor consumo de energía externa, pero la biomasa socializable es comparativamente menor que el sistema convencional. Dado que la sostenibilidad energética no solo se puede evaluar analizando los insumos externos, resulta adecuado considerar la biomasa que es reutilizada.

Los IFEROI que resultan es mayor en el sistema agrícola convencional con un valor de 1,89, seguido del agroecológico con 0,15 y ecológico 0,11 lo que indica que los dos últimos sistemas asumen mayores flujos internos y por tanto mayor inversión en mantener los

fondos del agroecosistema. Esto es un comportamiento coherente dado que los sistemas ecológicos y agroecológicos poseen mayor diversidad de cubiertas terrestres y hábitats.

Es claro que son mayores los flujos internos en los sistemas productivos ecológico y agroecológico, debido a que son más basados en la energía solar que en la energía fósil, en la medida se mantiene los elementos fondos y se auto-sostiene la productividad. De acuerdo con Tello *et al.*, (2015), es evidente que ha habido una tendencia de sustitución histórica de insumos internos hacia externos a lo largo de la transición socioecológica de los agroecosistemas orgánicos tradicionales a los industrializados, si miramos los EFEROI y IFEROI notamos que en la ecológica y agroecológica, el primero de los indicadores toma mayor valor que el segundo y lo contrario pasa con el sistema convencional, por lo que en la finca convencional tiene mayor relevancia los insumos externos para lograr biomasa utilizable por el hombre, en cambio en la ecológica y agroecológica, tiene mayor peso la biomasa que es reutilizada.

Sabiendo en qué medida se satisfacen las necesidades humanas (EROI final), se puede verificar si estas necesidades se satisfacen de una manera sostenible que no socava los fondos ecológicos básicos y su funcionamiento teniendo en cuenta la biomasa cosechada y reutilizada en el agroecosistema por medio de NPPact EROI (Tello *et al.*, 2015).

Los valores que toman los NPPact EROI, es más alto en la finca agroecológica (1,57), seguido de la convencional (1,21) y por último la ecológica (0,82), la convencional es mayor que la ecológica porque ésta última tienen menor eficiencia energética, aunque contenga biomasa cosechada y la convencional no. La finca agroecológica puede tener el valor más alto por ser la menos dependiente de insumos externos y tener una buena PPN, debido a la producción y reproducción de los elementos fondos. Aunque desde una perspectiva económica las fincas agroecológicas y ecológicas son menos eficientes que la convencional, la relación de NPPact EROI entre estas y la convencional, nos muestran que en términos energéticos el retorno del Total de Insumos consumibles con respecto a la productividad total de los agroecosistemas, en la ecológica es el 68% de la convencional y en la agroecológica es 30% más que la convencional.

De acuerdo con Tello *et al.*, (2015), relacionando NPPact EROI y Final EROI nos podemos dar cuenta en qué medida la perturbación ejercida a los agroecosistemas a través de los Insumos Totales consumidos da cabida para que el resto de las especies no domesticadas encuentren hábitat y se nutran del agroecosistema. Si restamos el EROI Final del NPPact EROI vemos que la diferencia es mayor en el sistema hortícola agroecológico 1,45 seguido de ecológico 0,74 y por último el convencional con un valor de 0,42, lo que significa el sistema agroecológico tiene mayor capacidad de albergar la biodiversidad en un agroecosistema y por último el convencional. Y tiene lógica los resultados en el sentido en que el agroecosistema de cultivo de la finca hortícola agroecológica proporciona diversidad

de especies vegetales que puedan ser de provecho para el consumo humano, para los insectos y para la fauna silvestre, además hay diversos espacios no colonizados por el hombre que pueden ser ocupados por la biodiversidad no doméstica sin convertirse en un plaga debido a que hay diversos alimentos disponible para ellos.

Cabe señalar que en el sistema a productivo convencional no se tiene biomasa cosechada, por lo que dificulta el establecimiento y sobrevivencia de la biodiversidad no domesticada, puesto que las cadenas alimentarias dependen de la disponibilidad de dicha biomasa y de la reinvertida en el agroecosistema (Biomasa reutilizada).

El (agroecológico) AE -EROI es inferior en las fincas agroecológicas y ecológicas indica que hay menor rendimiento para la sociedad más que toda la energía que circula por el agroecosistema. Si notamos las comparaciones de los indicadores NPPact EROI y AE-EROI entre las fincas ecológica y la ecológica con la convencional, notamos menores diferencias en el primer indicador, el ecológico es el 68% del convencional y el agroecológico supera al convencional en un 30% más, por lo que en términos de producción de biomasa el sistema productivo agroecológico es el más adecuado, en cambio con el indicador AE-EROI hay una gran diferencia, el ecológico equivale al 10% del convencional y el agroecológico 8%, por la misma razón de que los sistemas ecológico y agroecológico destinan menor biomasa para la sociedad.

La relación entre los indicadores AE –EROI/ FEROI la finca convencional tiene un valor de 1, seguido el ecológico 0,98 y agroecológico 0,49, lo que reitera que en la convencional se hace apropiación masiva de los flujos de biomasa generados, la biomasa no cosechada está en colapso por lo que en el agroecosistemas no se da cabida para las especies heterótrofas. Es evidente que el sistema hortícola agroecológico combina la actividad productiva con la conservación de los elementos fondos, debido a que proporciona biomasa a las especies heterótrofas en la medida que genera una matriz espacial compleja y heterogénea.

La relación NPPact EROI /AE- FEROI resulta más alta en la finca hortícola agroecológica (26,45), seguida de la ecológica (10,90) y convencional (1,53) lo que indica de igual manera la gran proporción de PPN que es socializada en la finca convencional, puesto que la PPN es 1,53 veces la Biomasa socializada, en cambio en la agroecológica la PPN es 26,45 veces la biomasa socializada, esto refleja de la gran diferencia estructural y funcional de los agroecosistemas de cultivo de las tres fincas hortícolas.

Biodiversity EROI es de esperar que en la finca hortícola convencional sea cero por lo que no se contemplan especies vegetales que proporcionen biomasa no cosechada, siendo el valor de éste indicador mayor en la finca agroecológica (0,46) seguida de la ecológica (0,03). Es importante este indicador en la medida en que indica que se favorece la

reproducción del elemento fondo biodiversidad debido a la calidad y cantidad de flujos de biomasa que soportan las cadenas tróficas dentro de los agroecosistemas de las fincas hortícolas agroecológicas y ecológicas.

Con respecto a Woodening EROI de igual manera es cero en la finca hortícola convencional debido a que no hay especies arbóreas dentro del diseño del sistema productivo, el mayor valor lo tiene la finca hortícola agroecológico (0,64) , seguido del ecológico (0,03), esto se debe a que estas dos últimas fincas tienen árboles en barreras vivas y la agroecológica tiene un pequeño bosque que se comportan como elementos fondos al proporcionar servicios ecosistémicos como el de acumular biomasa, producción de hojarasca, sombra, diversos micro-hábitat, rompevientos, secuestro de carbono, entre otros, además de auto-reproducirse.

## CONCLUSIONES

La diferencias en los modos de producción hortícola, está relacionado con la sensibilidad y conectividad que tengan los horticultores con su entorno natural, con sus motivaciones económicas, sociales y ambientales.

Los sistemas productivos hortícolas convencionales ahorran tierra dedicándose al cultivo intensivo y generando mayor cantidad de biomasa socializable, a través del uso masivo de inputs externos, por lo contrario los sistemas hortícolas ecológicos y en especial agroecológicos es altamente consumidora de insumos internos que tiene un costo territorial y disminuye la cantidad de biomasa socializable por unidad de superficie.

La producción intensiva agroecológica se enfatiza más en la inversión de energía en forma de biomasa reciclada (reutilizada y no cosechada) para la producción y reproducción de elementos que sustentarán la Productividad Primaria Neta y la sostenibilidad de los agroecosistemas.

La mayor complejidad de los sistemas productivos hortícolas proporcionan fondos biofísicos como la biodiversidad y el suelo, necesarios para la disponibilidad de materia orgánica, diversidad biológica del suelo, para que se generen procesos de descomposición y mineralización, lo que refleja mayor productividad primaria, control de plagas, enfermedades y arvenses y menor dependencia a insumos externos.

La ineficiencia energética en la finca hortícola agroecológica desde el punto de vista económico, se debe en gran medida porque hay muy poca biomasa que se dispone a la sociedad, esto está acentuado por el hecho de destinar toda la producción del maíz que ocupa una buena superficie del agroecosistema de cultivo para la alimentación de las gallinas y terneras, cuando estas últimas no contribuyen en el momento en proporcionar

productos socializables y/o suministros que minimicen los inputs externos; si la producción del maíz se socializara en su totalidad la eficiencia energética se duplicara, aunque seguiría siendo menor que el de la finca hortícola convencional. La finca hortícola agroecológica está muy centrada en funciones demostrativas y/o enseñanza, por lo que los ingresos del horticultor no son solo por la producción agraria. Entonces es lógico que la finca tenga baja eficiencia energética desde el punto de vista económico y desde el punto de vista agroecológico sea apropiada.

## RECOMENDACIONES Y FUTURAS INVESTIGACIONES

Sería interesante realizar este tipo de estudios con diversos sistemas productivos agroecológicos y convencionales, complementándolos con análisis físico, químico y biológico de los elementos fondos biofísicos como la biodiversidad, el suelo y el agua según sea el caso.

Queda como reto que los productores tengan mayor conocimiento integral de los sistemas productivos, serán más capaces de diseñar agroecosistemas más complejos que confieran más biomasa de suministro a la producción y reproducción de los elementos fotos, mayor hábitats que sirvan para ser habitados y suministrar alimento a la biodiversidad no doméstica, para tener mayor producción primaria a consta de la biomasa reinvertida y la disminución o no uso de insumos externos en la medida que se tiene una rentabilidad económica.

Utilizar los elementos que da este tipo de estudios para buscar estrategias para las transiciones socioecológicas estén compaginadas con la dualidad de los agricultores de soportar su economía y a la vez dar un uso responsable de los recursos naturales.

## BIBLIOGRAFÍA

Alemán, R., Domínguez, J., Rodríguez, Y. y S. Soria, 2016. Indicadores morfológicos y productivos del cultivo del tomate en Invernadero con manejo agroecológico en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana. *Centro agrícola*, 43 (1): 71 – 76.

Altieri, M., 1987. *Agroecology, the scientific basis of alternative agricultura*. Westview Special Studies in Agriculture Science and Policy. 227 pgs.

Altieri, M., 1994. Bases agroecológicas para una producción agrícola sustentable, *Agricultura Técnica* (Chile), 54(4): 371 – 386.

Altieri, M., 1995. El estado del arte de la agroecología y su contribución al desarrollo rural en América Latina. En: Agricultura y desarrollo sostenible. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. España. Págs: 153 – 203.

Altieri, M., 2002. Capítulo 2: Agroecología: principios y estrategias para diseñar sistemas agrarios sustentables de Sarandón, S., 2002. Agroecología: El camino hacia una agricultura sustentable (Editor), Ediciones Científicas Americanas, La Plata. 460 Pgs.

Amador, A. y C. Boschini., 2000. Fenología productiva y nutricional de maíz para la producción de forraje. *Agronomía Mesoamericana*, 11 (1): 171-177.

Bernal, J., Díaz, C., Osorio, C., Tamayo, A., Osorio, W., y O. Córdoba., 2014. Actualización tecnológica y Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en el cultivo de aguacate. Medellín (Colombia). 410 p. Corpoica.

Budí, A., 2016. Estimación del potencial energético de la biomasa residual agrícola y análisis de aprovechamiento en los municipios de la comarca del Alto Palancia. Trabajo de Fin de Máster. Universidad Jaume.

Catálogo virtual de flora del Valle de Aburrá. Consultado en Agosto de 2019. Disponible en: <https://catalogofloravalleaburra.eia.edu.co/>

Cámara de Comercio del Oriente Antioqueño, CCOA., 2016. Concepto económico del Oriente Antioqueño. Rionegro, Antioquia – Colombia.

Capra, F., 1996. La trama de la vida. Una nueva perspectiva de los sistemas vivos. Editorial Anagrama.

Delgado, M., 2010. El sistema agroalimentario globalizado: Imperios alimentarios y degradación Social y ecológica. En: Revista Economía Crítica No 10, Segundo semestre. Págs: 32 – 61.

Dufumier, M., 1990. “La importancia de la tipificación de unidades de producción agrícola en el análisis de diagnóstico de realidades agrarias”, en Berdegú, J. y G. Escobar, Tipificación de sistemas de producción agrícola, Santiago, Chile, Red Internacional de Metodología de Investigación de Sistemas de Producción, pp. 63-81.

Fath, B., Jorgensen, S., Patten, B. y M. Straskraba., 2004. Ecosystem growth and development. *BioSystems* 77: 213 – 228.

Geilfus, F., 1997. 80 herramientas para el desarrollo participativo: Diagnóstico - planificación –monitoreo – evaluación. San Salvador, El Salvador.

Giampietro, M., Mayumu, K. y A. Sorman., 2011. The metabolic pattern of societies: Where economists fall short. New York: Routledge.

Gliessman, S., Engles, E. y Krieger, R., 1998. Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture, Chelsea, MI: Ann Arbor Press.

González de Molina, M. 2010. A guide to studying the socio-ecological transition in european agricultura. Sociedad Española de Historia Agraria. DT – SEHA No 10-06.

González de Molina, M. 2011. Introducción a la agroecología. Cuadernos técnicos SEAE – Serie: Agroecología y Ecología Agraria. Ed: Sociedad española de Agricultura ecológica (SEAE). 68 p.

González de Molina, M., 2012. Algunas notas sobre agroecología y política. *Agroecología* 6: 9 – 12.

González de Molina, M. y V. Toledo., 2011. Metabolismos, naturaleza e historia. Hacia una teoría de las transformaciones socioecológicas. Barcelona: Icaria.

González de Molina, M. y V. Toledo., 2014. The Social Metabolism. Springer. The Hague.

Guzmán, G., Aguilera, E., Soto, D., Cid, A., Infante, J., García, R., villa, I. y M. González de Molina. 2014. Methodology and conversion factors to estimate the Net Primary Productivity of historical and contemporary agroecosystems (I). Agroecosystem History Laboratory. Pablo de Olavide University. Sevilla, España.

Guzmán, G. y M. González de Molina., 2015. Energy efficiency in agrarian systems from an agroecological perspective. *Agroecology and sustainable food systems*, 39: 924 – 952.

Guzmán, G. y M. González de Molina., 2017. Energy in agroecosystems: a tool for assessing sustainability. CRC Press. Taylor & Francis Group. 471 p.

Hart, R., 1985. Agroecosistemas. Conceptos básicos. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 160 p.

Igartúa D., Moreno, K., Piter J., y S. Monteoliva, 2015. Densidad y propiedades mecánicas de la madera de *Acacia melanoxylon* implantada en Argentina. Maderas, *Cienc. Tecnol.* 17(4) Concepción Oct. 2015.

Instituto Colombiano de Bienes Familiar, 2015. Tabla de composición de alimentos colombianos. Bogotá Colombia.

León, T. y Altieri, A. 2010. Enseñanza, investigación y extensión en agroecología: la creación de un programa latinoamericano de agroecología. En: Vertientes del pensamiento agroecológico: fundamentos y aplicaciones. León, T y Altieri M. Eds. Pp 11- 52.

León, S., 2012. Agroecología: la ciencia de los agroecosistemas. La perspectiva ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Instituto de Estudios Ambientales., 261 pág.

López, R., 2017. Valoración de carbono en la necromasa y suelo del bosque protector Aguarongo, Provincia del Azuay, Ecuador. Tesis para obtener cargo de Ingeniería ambiental. Universidad Politécnica Salesiana.

Loyola, J., 2017. Prácticas agroecológicas de producción hortícola en la Parroquia de San Joaquín del Cantón Cuenca de la provincia del Azuay. Tesis de doctorado. Universidad de Antioquia.

Madrid, C., 2014. The water metabolism of socio-ecosystems. Epistemology, methods and applications. Tesis de doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona.

Moreno, A., Reyes, J., Preciado, P., Ramírez, M. y M. Moncayo, 2019. Desarrollo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.) con diferentes fuentes de fertilización bajo condiciones de invernadero. *Ecosist. Recur. Agropec.* 6(16):145-151.

Navarro, C. y A. Ramírez. 2001. Lentes sociológicas. Cómo ven y analizan la realidad las sociólogas y los sociólogos. Capítulo II: Los métodos de investigación en Ciencias sociales. Madrid: Ediciones Laberinto.

Olebuenaga, J., 1996. Metodología de la investigación cualitativa. Universidad de DEUSTO, Madrid.

Petersen, P., 2013. Metamorfosis agroecológica. Un ensayo sobre agroecología política. Universidad Internacional de Andalucía.

PLANEEO, Plan Estratégico para un pacto social por el desarrollo del Oriente Antioqueño, 2011. Perfiles del proyectos. Documento resumen. Medellín, Noviembre de 2011.

Rengifo, T. y Salazar, J., 2018. Secretaria de Agricultura y Desarrollo rural de Antioquia.

Reyes, J., Murillo, B., Nieto, A., Troyo, E., Reynaldo, I., Rueda, E. y J. Cuervo., 2014. Crecimiento y desarrollo de variedades de albahaca *Ocimum basilicum* en condiciones de salinidad. *Terra Latinoamericana* 32: 35-45.

Rodríguez, G, García, H., Camacho, J., Arias, F., Vera, J. y F. Torre., s.f. La harina de la arracacha *Arracacia xanthorrhiza*. Manual técnico para su elaboración. Corpoica.

Rosset, P. y M. Altieri. 1997. Agroecology versus input substitution: A fundamental contradiction of sustainable agriculture. *Society and Natural Resources*, 10: 283 – 295.

Rubio, M. y J. Vara, 1997. Análisis de la realidad en la intervención social. Métodos y técnicas de investigación. Madrid.

Sarandón, S. y C. Flores., 2014. Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables. 1ª Ed. Universidad Nacional de la Plata.

Sarria, P., Gómez, M., Rodríguez, L., Molina, J., Molina, C. y R. Murgueitio, 1994. Pruebas de campo en los trópicos con el uso de biomasa para sistemas integrados y sostenibles de producción animal. Fundación CIPAV.

Sarria, P. s.f. Forrajes arbóreos en la alimentación de monogástricos. Consultado en Agosto de 2019. Disponible en: <http://www.fao.org/3/y4435s/y4435s0j.htm>

Sevilla, E. y M. González de Molina., 1996. Sobre la agroecología: algunas reflexiones en torno a la agricultura familiar en España. En: El Campo y la ciudad: sociedad rural y cambio social. Págs: 153 – 198.

Smith, T. y R. Smith., 2007. Ecología. Sext Edición. Pearson Educación, S.A, Madrid. 776 p.

Sorman, A. y M. Giampietro. 2013. The energetic metabolism of societies and the degrowth paradigm: analyzing biophysical constraints and realities. *Journal of cleaner production*, 38: 80 – 93.

Tello, E. y E. Galán del Castillo, 2013. Sistemas agrarios sustentables y transiciones en el metabolismo agrario: desigualdad social, cambios institucionales y transformaciones del paisaje en Catalunya (1950 – 2010). Departamento de Historia e Instituciones Económicas de la Universidad de Barcelona.

Tello, E., Galán del Castillo, E., Cunfer, G., Guzmán, G., González, M., Krausmann, F., Gingrich, S., Sacristán, V., Marco, I., Pradó, R. y D. Moreno, 2015. A proposal for a workable analysis of Energy Return On Investment (EROI) in agroecosystems. Part I: analytical approach. Viena.

Toledo, V. y M. González de Molina., 2005. El metabolismo social: las relaciones entre la sociedad y la naturaleza. En: El paradigma ecológico en las ciencias sociales (Garrido, F., González de Molina M., Serrano J.). Granada: Editorial Universitaria.

Toledo, V., 2008. Metabolismos rurales: hacia una teoría económico-ecológica de la apropiación de la naturaleza. *Revista Iberoamericana de Economía Ecológica*, 7: 1-26.

Toledo, V., 2013. El metabolismo social: una nueva teoría socioecológica., *Relaciones* 136: 41 – 71.

Toro, J., 2010, Proyecto Plan Estratégico para un pacto social por el desarrollo del Oriente Antioqueño.

Vargas, J., Sierra, A., Mancipe, E. y Y. Avellaneda., 2018. Kikuyo, una gamineia presente en los sistemas de rumiantes en trópico alto colombiano. *Rev. CES Med. Zootec.* 13 (2): 137-156.

Vignone, S. 2014. Principales maderas de frondosas de España.

Zapata D., Barrera M., Gómez R. y L. Naranjo, 2017. Plan de Crecimiento Verde y Desarrollo Compatible con el Clima en el Oriente antioqueño. Alianza Clima y Desarrollo, Corporación Autónoma Regional de las cuencas de los ríos Negro y Nare, Fundación Natura, WWF. 176 pp. Cali, Colombia.

## ANEXOS

**ANEXO I:** Selección de muestra. Guión de puntos de una entrevista abierta y semi-directa

- Diversidad de componentes productivos del agroecosistema: Agrícola, pecuario y forestal
- Planeación de cultivos
- Instalaciones (Bodegas de insumos agropecuarios, compostera, acopio, área de post-cosecha, entre otros).
- Manejo y conservación del agua
- Manejo y protección del suelo
- Nutrición vegetal
- Protección de cultivos y manejo de arvenses
- Conservación de semillas
- Compra y uso de insumos agropecuarios externos
- Cosecha y post-cosecha
- Empaque y transporte

- Comercialización
- Autoconsumo

**ANEXO II:** Análisis de estructura y funcionamiento de cada uno de las fincas Seleccionadas. Guión de puntos claves.

- Subsistema de la finca (agroecosistemas y sistema socioeconómico), límites y entorno del sistema (características del paisaje circundante).
- Flujos de residuos, subproductos y cantidades entre los diferentes componentes, uso de insumos externos y de recursos internos.
- Arreglos de cultivos en el tiempo y en el espacio
- Componentes bióticos del sistema, principales componentes de la biodiversidad y biodiversidad funcional (identificar especies claves).
- Información de manejo de los sistemas productivos (Control de plagas, enfermedades y arvenses, uso de maquinaria, elaboración de bio-insumos, horas de dedicación a labores de campo, nutrición vegetal y animal).

**ANEXO III:** Metodológica de recolecta y sistematización de datos: determinación Productividad Primaria Neta y sus categorías en biomasa socializada, reusada, no cosechada, energía de insumos externos y determinación de los indicadores Retorno de Energía Invertida EROIs para los sistemas hortícolas convencional, ecológica y agroecológica.

*Mapeo:* Se midió todas las áreas de los subsistemas socioeconómicos y agroecosistemas (según aplique, la casa, bodega, vivero, gallinero, zona de compostaje, zona de post-cosecha, zona de lombricompost, potrero, bosque, barrera viva, zonas de huertas, invernaderos) tomando Waypoints con ayuda de un GPS y por medio de Google Earth Pro se identificaron los subsistemas y determinó el área de cada una de ellas.

*Producción Primaria Neta (PPN):* Para la determinación de PPN en los agroecosistemas de cultivo (hortalizas) se midió cada una de las camas (ancho y largo), a las eras se les midió el largo y el ancho promedio, se tomó nota de los arreglos de cultivo y distancia de siembra en cada una de las camas y eras, para posteriormente calcular las densidades. En las barreras vivas se hizo identificación y conteo de los árboles con ayuda de los horticultores. En el bosque de la finca hortícola agroecológica se hicieron muestreos de 4 m x 4 m para determinar una cantidad aproximada de árboles presentes. Para la producción de pasto Kikuyo en la finca agroecológica, se consideró la información del área del potrero y la producción promedio teórico de cubierta aérea; el dato de la producción de pasto en la finca ecológica (utilizado para el compost) fue proporcionado por la horticultora. Para las plantas alelopáticas se hizo identificación y conteo, y muestreos (1m x 1m) para las plantas con mayor densidad por ejemplo la mostaza en la finca agroecológica, además se hizo pesaje de varias de éstas plantas para obtener un pesos promedios.

Además se hicieron cosechas de diversas hortalizas de las tres fincas, haciendo separación y pesaje de cada una de las partes de las hortalizas (Raíz, tallos, hojas, flores, frutos). Se hizo anotación de los destinos (Ejemplo: compost, superficie del suelo de cultivo, alimento para las gallinas y terneras, comercialización) de cada una de las partes de cada una de las hortalizas, con la finalidad de identificar los flujos de biomasa y posteriormente de energía.

Las arvenses en las fincas agroecológicas y ecológicas son una fuente importante de biomasa, por lo que en la primera finca se tomó nota de la cantidad de desmalezadas que se hacen en las camas por ciclo productivo para cada una de las hortalizas y con ayuda del horticultor se hicieron muestreos para determinar la biomasa por arvenses que se obtiene por metro cuadrado al desmalezar. Para la finca ecológica se hicieron muestreos en las calles, de la biomasa por malezas en un metro cuadrado y de acuerdo a la frecuencia de desmalezadas se determinó la biomasa obtenida anualmente.

La Producción Primaria Neta en cada una de las fincas, se extrapolo a 1 hectárea respetando el porcentaje de ocupación de los agroecosistemas de cultivo con respecto al tamaño de toda la finca y se hizo la proyección a un año, para tal caso no se consideró rotaciones sino que se simuló la repetición de los mismos cultivos durante el año según el número de ciclos productivos que pudieran darse particularmente para cada una de las hortalizas, cabe señalar que la duración de los ciclo productivo de cada uno de las hortalizas fue dado por los horticultores.

La categorización de la PPN en biomasa reutilizada, no cosechada, acumulada y socializada, se hizo de acuerdo al destino de los productos agrícolas y sus partes y la intervención o no del horticultor para que la biomasa se reincorporara en el sistema productivo.

Para la biomasa acumulada en tallos de los arboles maderables, se consideró el diámetro y alto promedio alcanzado al final de la vida útil, la vida útil (años) y la densidad de la madera (para los árboles que no se consiguió el dato de la densidad fue otorgado un valor de 0,5 gramos/cm<sup>3</sup>). Para la biomasa de las raíces de los árboles se consideró una relación raíz: parte aérea de 0,5 y para los pasto la relación raíz: parte aérea de 0,8.

La biomasa de las hojas de los árboles (B. No cosechada) fue determinada con base a un dato promedio obtenido por bibliografía (dispuesta en Bibliografía mas no en el cuerpo del documento) de un grupo de familias de árboles que se presentan en las fincas agroecológica y ecológica.

La determinación de biomasa seca se hizo con base a los factores de conversión de materia seca en el Anexo III en Guzmán *et al.*, (2014) y otras fuentes bibliográficas que están dispuestas en Bibliografía mas no en el cuerpo del documento. El contenido de humedad en la madera fue estandarizado en 25%.

Ya teniendo las biomásas en sus diferentes categorías con ayuda del anexo V en Guzmán *et al.*, (2014) y otras fuentes bibliográficas que están dispuestas en Bibliografía mas no en el cuerpo del documento, se obtuvo el dato de Mj/Kg fresco; para las biomásas de los residuos de cultivo, arvenses, plantas alelopáticas, cubierta aérea y subterránea de pastos y hojas de los árboles (B. No cosechada) se determinó la energía multiplicando la biomasa en fresco por el porcentaje de materia seca y 17,57 MJ/Kg de materia seca.

*Insumos externos:* Se hizo una lista de las labores que se desarrollan para cada cultivo y en general en toda la finca (ejemplo, desmalezada, aporque, raleo, siembra, cosecha, volteo de compost, preparación de camas, aplicación de insumos, fumigaciones, elaboración de bio-insumos, entre otros), los tiempos que duran cada labor (se preguntó al horticultor y se tomó la duración en campo en la medida de lo posible, aprovechando los momentos en que realizaban determinadas labores) y la frecuencia de las labores por ciclo productivo de cada una de las hortalizas.

La información de los insumos externos consumidos fue dada por horticultores (cantidad y frecuencia de aplicación según sea el uso), así como datos del proveedor (distancia (Km) del proveedor a la finca), datos que sirvió para estimar el costo energético por transporte considerando el tipo de vehículo usado para transportar, la cantidad de insumos transportados (Ton) y las distancias recorridas (Km) (datos de energía total incorporada (MJ/t-km) en el apéndice de Aguilera *et al.*, (2015)).

El plan de fumigaciones anual en cultivo de lechuga y repollo en la finca hortícola convencional fue elaborado conjuntamente con el horticultor. Para la energía de los insumos externos como los fertilizantes, pesticidas y materiales como plástico usado en la finca ecológica (mulch artificial) se obtuvo apoyo del apéndice de Aguilera *et al.*, (2015). Para los pesticidas (fungicidas, insecticidas y herbicidas) se consideró la energía del ingrediente activo, la formulación y empaque más el transporte, para los ingredientes activos que no se encontraban en el apéndice se consideró un valor de 411 MJ/Kg de ingrediente activo, cabe aclarar que los Kg de ingrediente activo que se consumen anualmente fueron determinados con base al plan de fumigaciones y la concentraciones de los ingredientes activos de los productos comerciales que se usan en la finca convencional. En cuanto a los fertilizantes, se hizo el cálculo de la cantidad de Nitrógeno, Fósforo y Potasio que se aplica anualmente en una hectárea, partiendo del plan de fertilización y las concentraciones de NPK de los productos comerciales en la finca convencional y se tomó a consideración la energía incorporada total (MJ/Kg (de N, K<sub>2</sub>O, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) que está en dicho apéndice.

La energía de las plántulas y demás insumos externos de las fincas ecológicas y agroecológicas para la elaboración de biofertilizantes y alimentación animal, incluye la energía inherente de los mismos y el costo energético de transporte (mencionado

anteriormente). La energía inherente de plántulas de las hortalizas se igualaron al contenido energético de los productos agrícolas correspondientes, que se han revisado en Guzmán *et al.*, (2014) y la energía de los demás insumos fueron obtenidos por bibliografía.

**ANEXO IV:** Biomosas y energía detallada en las fincas convencional El Raizal.

		<i>Biomasa (Kg materia seca/Año/Ha)</i>	<i>Energía Bruta (MJ /Año/Ha)</i>
<b><i>Biomasa Socializada</i></b>	Cabezas de lechuga	16565,74	257297,63
	Cabezas de repollo	13410,6	200508,00
	<b>Total B. socializada</b>	<b>29976,34</b>	<b>457805,63</b>
<b><i>Biomasa Reutilizada</i></b>	Hojas imperfectas de lechuga	1051,90	16338,10
	Cabezas imperfectas de lechuga	625,83	9720,32
	Raíces de lechuga	2567,81	45116,41
	Hojas de repollo	3600,00	63252,00
	Cabezas imperfectas de repollo	1047,17	15656,67
	Raíces y tallo de repollo	5250,00	92242,50
	<b>Total B. reutilizada</b>	<b>14142,71</b>	<b>242325,99</b>
<b><i>Biomasa No cosechada</i></b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b><i>Biomasa Acumulada</i></b>		<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
<b><i>Productividad Primaria Neta</i></b>		<b>44119,05</b>	<b>700131,62</b>

<b><i>Insumos externos</i></b>	
<b><i>ítems</i></b>	<b><i>Energía(MJ/Año/Ha)</i></b>
Plántulas	1212,86
Transporte	1014,10
Herbicidas, fungicidas e insecticidas	12501,94

Fertilizantes	130070,34
Gallinaza	129458,16
Cal	59523,81
Mano de obra	4642,73
<b>TOTAL</b>	<b>338423,94</b>

**ANEXO V:** Biomasa y energía detallada en la finca Ecológica El Herbolario.

		<i>Biomasa (Kg materia seca/Año/Ha)</i>	<i>Energía Bruta (MJ /Año/Ha)</i>
<b><i>Biomasa Socializada</i></b>	Hortalizas (Hojas, raíces tuberosas, tallos, yemas florares, frutos, raíces)	3324,82	46133,95
	Plantas acompañantes - alelopáticas (Hojas de Col Toscana liso y crespo)	14,96	204,732
	<b>Total B. Socializada</b>	<b>3339,78</b>	<b>46338,68</b>
<b><i>Biomasa Reutilizada</i></b>	Residuos de cultivo - hortalizas (Hojas, tallos y raíces)	9260,29	162278,18
	Residuos de plantas acompañantes - alelopáticas (Hojas, tallos, flores y raíces)	38,66	614,06
	Árboles (Restos de podas)	415,70	11807,51
	Arvenses - Pasto (cubierta aérea)	14225,66	249944,92
	<b>Total B. Reutilizada</b>	<b>23940,32</b>	<b>424644,66</b>
<b><i>Biomasa No cosechada</i></b>	Hojas de árboles frutales y forestales	77,99	1370,21
	Biomasa subterránea de árboles y pastos	855,08	15898,33

	<b>Total B. No cosechada</b>	<b>933,06</b>	<b>17268,54</b>
<b>Biomasa Acumulada</b>	Árboles forestales y Frutales (Madera)	846,31	16618,88
	<b>Total B. Acumulada</b>	<b>846,31</b>	<b>16618,88</b>
<b>Productividad Primaria Neta</b>		<b>29059,47</b>	<b>504870,76</b>

<b>Insumos externos</b>	
<b>ítems</b>	<b>Energía(MJ/Año/Ha)</b>
Plántulas	1726,42
Transporte	235,46
Insumos para control de enfermedades y plagas	113,35
Insumos para fertilización	0,04
Insumos para biofertilizante	3708,46
Insumo para Biochar	153901,44
Mano de obra	13611,29
<b>TOTAL</b>	<b>173296,46</b>

**ANEXOVI:** Biomasa y energía detallada en finca hortícola Agroecológica Renacer.

		<b>Biomasa (Kg materia seca/Año/Ha)</b>	<b>Energía Bruta (MJ /Año/Ha)</b>
<b>Biomasa Socializada</b>	Hortalizas (Hojas, raíces tuberosas, tallos, yemas florares, frutos, raíces)	1120,85	16333,75
	Árboles frutales (Frutos)	127,87	2749,54
	<b>Total B. Socializada</b>	<b>1248,72</b>	<b>19083,29</b>
<b>Biomasa Reutilizada</b>	Residuos de cultivo - hortalizas (Hojas, tallos y raíces)	3791,50	65520,93

	Residuos de plantas acompañantes - alelopáticas (Hojas, tallos, flores y raíces)	520,26	9140,97
	Arvenses - Pasto – Forraje	3205,64	56378,10
	<b>Total B. Reutilizada</b>	<b>7517,39</b>	<b>131039,99</b>
<b>Biomasa No cosechada</b>	Biomasa subterránea árboles y pastos	7782,54	146241,77
	Hojas de árboles frutales y forestales	153,01	2688,46
	Frutos de árboles frutales	2,22	171,85
	<b>Total B. No Cosechada</b>	<b>7937,77</b>	<b>149102,08</b>
<b>Biomasa Acumulada</b>	Árboles forestales y Frutales (Madera)	10617,33	205551,58
	<b>Total B. Acumulada</b>	<b>10617,33</b>	<b>205551,58</b>
<b>Productividad Primaria Neta</b>		<b>27321,22</b>	<b>504776,93</b>

<b>Insumos externos</b>	
<b>ítems</b>	<b>Energía(MJ/Año/Ha)</b>
Plántulas	426,90
Transporte	220,13
Gallinaza	26934,79
Insumos para biofertilizante	2567,15
Concentrado y Sal para gallinas y terneras	7216,34
Mano de obra	4797,81
<b>TOTAL</b>	<b>42179,00</b>