

Neiva, Abril del 2017

Señores

CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN

UNIVERSIDAD SURCOLOMBIANA

Ciudad

El (Los) suscrito(s):

LAURA YERALDIN MEDINA RIVERA; con C.C. No. **1075256163**, autor de la tesis y/o trabajo de grado, titulado: **Emergía como indicador sistémico de sustentabilidad del sector agrícola en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana**, presentado y aprobado en el año **2017** como requisito para optar al título de: **Magister en Ingeniería y gestión Ambiental**; autorizo (amos) al CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN de la Universidad Surcolombiana para que con fines académicos, muestre al país y el exterior la producción intelectual de la Universidad Surcolombiana, a través de la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

Los usuarios puedan consultar el contenido de este trabajo de grado en los sitios web que administra la Universidad, en bases de datos, repositorio digital, catálogos y en otros sitios web, redes y sistemas de información nacionales e internacionales "open access" y en las redes de información con las cuales tenga convenio la Institución.

- Permita la consulta, la reproducción y préstamo a los usuarios interesados en el contenido de este trabajo, para todos los usos que tengan finalidad académica, ya sea en formato Cd-Rom o digital desde internet, intranet, etc., y en general para cualquier formato conocido o por conocer, dentro de los términos establecidos en la Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, Decreto 460 de 1995 y demás normas generales sobre la materia.

- Continúo conservando los correspondientes derechos sin modificación o restricción alguna; puesto que de acuerdo con la legislación colombiana aplicable, el presente es un acuerdo jurídico que en ningún caso conlleva la enajenación del derecho de autor y sus conexos.

De conformidad con lo establecido en el artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, "Los derechos morales sobre el trabajo son propiedad de los autores", los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.

EL AUTOR/ESTUDIANTE:

Firma: _____



Vigilada Mineducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana



TÍTULO COMPLETO DEL TRABAJO:

Emergía como indicador sistémico de sustentabilidad del sector agrícola en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.

AUTOR O AUTORES:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Medina Rivera	Laura Yeraldin

DIRECTOR Y CODIRECTOR TESIS:

Primero y Segundo Apellido	Primero y Segundo Nombre
Pastrana Bonilla	Eduardo

PARA OPTAR AL TÍTULO DE: Magister en Ingeniería y Gestión Ambiental

FACULTAD: Ingeniería

PROGRAMA O POSGRADO: Maestría en Ingeniería y Gestión Ambiental

CIUDAD: Neiva

AÑO DE PRESENTACIÓN: 2017

NÚMERO DE PÁGINAS: 72

TIPO DE ILUSTRACIONES (Marcar con una X):

Diagramas: Fotografías: Grabaciones en discos Ilustraciones en general Grabados
Láminas Litografías Mapas Música impresa Planos Retratos Sin ilustraciones Tablas
o Cuadros:

SOFTWARE requerido y/o especializado para la lectura del documento: Ninguno.

PREMIO O DISTINCIÓN (En caso de ser LAUREADAS o Meritoria):

Vigilada mieducación

La versión vigente y controlada de este documento, solo podrá ser consultada a través del sitio web Institucional www.usco.edu.co, link Sistema Gestión de Calidad. La copia o impresión diferente a la publicada, será considerada como documento no controlado y su uso indebido no es de responsabilidad de la Universidad Surcolombiana.



PALABRAS CLAVES EN ESPAÑOL E INGLÉS:

<u>Español</u>	<u>Inglés</u>
1. Sistemas	Systems
2. Emergía	Emergy
3. Ecosistemas agrícolas	Agricultural ecosystems
4. Sustentabilidad ambiental	environmental sustainability

RESUMEN DEL CONTENIDO: (Máximo 250 palabras)

Los ecosistemas agrícolas son sistemas de interrelación que trabajan en conjunto para la producción de cultivos. El suelo es el sustento de la sociedad permitiendo la seguridad alimentaria, pero el uso desmedido del mismo, trae como consecuencia el deterioro del medio ambiente. Con el pasar del tiempo, los recursos naturales que brinda el entorno se están agotando o contaminando, generando la no aplicación del concepto de desarrollo sostenible para la sociedad, por ende, es de suma importancia conocer y darle el valor necesario a estos recursos.

El análisis emergético, deletreado con la letra M, es la metodología propuesta para evaluar la sustentabilidad ambiental en ecosistemas agrícolas, y aunque esta metodología fue propuesta desde el siglo pasado y diversos estudios a nivel internacional han demostrado su eficacia, en Colombia no se tienen los suficientes registros sobre su aplicación, siendo necesario nuevas investigaciones que den lugar a la evaluación del estado actual de los diversos ecosistemas. Teniendo como base estas ideas, en la presente investigación se utilizó la emergía como indicador de sustentabilidad ambiental del Sector Agrícola en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, evaluando los índices de producción de emergía – EYR (1,05), Índice de carga ambiental – ELR (21,24) e Índice de sostenibilidad ambiental – ESI (0,05), demostrando que el sistema agrícola no es sostenible ambientalmente con el pasar del tiempo, siendo necesario re-direccionar los procesos; así mismo, se determinó un rendimiento económico del 37% requiriéndose un cambio en metodologías de inversión y sustento económico.

ABSTRACT: (Máximo 250 palabras)

Agricultural ecosystems are interrelated systems that work together for crop production. The soil is the sustenance of society allowing food security, but the excessive use of it will lead to deterioration of the environment. Over time, the natural resources provided by the environment are being depleted or contaminated, this which does not contribute to the concept of sustainable development; therefore, it is of the utmost importance to know and give the necessary value to these resources.

The Emergy analysis, spelled with the letter M, is the methodology proposed to evaluate environmental sustainability in agricultural ecosystems, and although this methodology was proposed from the last century

Vigilada mieducación



and several studies at international level have proved their effectiveness, in Colombia there are not enough records about its application, being necessary new investigations that give rise to the evaluation of the current state of the diverse ecosystems. Based on these ideas, in this investigation the Emergy was used as indicator of environmental sustainability of the Agricultural Sector in the experimental farm of the Surcolombiana University, evaluating the emergy production indexes – EYR (1.05), Environmental load index – ELR (21,24) Environmental Sustainability Index – ESI (0.05), demonstrating that the agricultural system is not environmentally sustainable over time, being necessary to re-address the processes; also, an economic performance of 37% was determined, requiring a change in the methodologies of investment and economic sustenance.

APROBACION DE LA TESIS

Nombre Presidente Jurado: NÉSTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA

Firma:

Nombre Jurado: ALFREDO OLAYA AMAYA

Firma:

Nombre Jurado: NÉSTOR ENRIQUE CERQUERA PEÑA

Firma:

Vigilada mieducación

Emergía como indicador sistémico de sustentabilidad del sector agrícola en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana

LAURA YERALDIN MEDINA RIVERA

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Neiva, Colombia

2017

Emergía como indicador sistémico de sustentabilidad del sector agrícola en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana

LAURA YERALDIN MEDINA RIVERA

Trabajo de grado, requisito parcial para optar el título de Magíster en Ingeniería y Gestión Ambiental

Director:

PhD. Eduardo Pastrana Bonilla
Profesor Titular

Línea de Investigación:

Energética de ecosistemas naturales, agro-ecosistemas y sistemas urbanos industriales.

Universidad Surcolombiana

Facultad de Ingeniería

Neiva, Colombia

2017

Dedicatoria

A Dios: el encargado de brindarme situaciones a diario para aprender a ser Fuerte, Agradecida, Luchadora, a amar por sobre todas las cosas y nunca perder las esperanzas.

A mi Mamita: aquella que en el instante que sus hermosos ojos me detallaron, su único interés fue demostrarme que el verdadero amor existe y que trasciende la muerte, porque el que ama de verdad vive para siempre en su corazón y alma.

A mi Papito: porque cada día me demuestra que no es necesario ser perfecto para amar con todo el corazón, y que las expresiones de cariño no siempre vienen acompañado de un abrazo, sino con la mirada basta.

A mi Alejo: mi querido angelito en esta vida complicada y llena de prejuicios, pero cada día Él y sólo él me enseña que el amor, no es egoísta, es paciente, tranquilo cuando se debe y desenfrenado cuando la ocasión amerita, pero por sobre todas las cosas un amor completo y perfecto en medio de todas sus imperfecciones.

A mi Tía Rut y Vane: porque más que familia, son mi núcleo y apoyo incondicional, mi vida a diario es muchísimo mejor porque sólo Uds. hacen parte de ella.

Agradecimientos

Ha sido un camino largo e importante desde que inicie mi postgrado, pero se ha convertido tan enriquecedor, que me ha enseñado no sólo conocimientos académicos, sino personales y sobre todo emocionales, brindándome la oportunidad de cada día crecer y ser mejor persona, y nada de ello sería posible a todos aquellos que me acompañaron en este proceso. ¡Gracias y mil gracias!

Un reconocimiento con muchísimo cariño a:

Dr. Eduardo Pastrana Bonilla, pues quien además de ser el director en este proyecto, fue un guía incondicional y sobre todo siempre dispuesto a colaborar y enseñar, definitivamente mi Modelo a seguir en todos los aspectos posibles y conocidos.

Ing. Lina Meza, pues sin su colaboración nada de esto hubiera sido posible.

Ing. William Pinto, por sus aportes y consejos.

Ing. Nancy Vargas, por su colaboración incondicional y consejos.

Alejandro Martínez, pues su apoyo permitió que nunca decayera.

Resumen

Los ecosistemas agrícolas son sistemas de interrelación que trabajan en conjunto para la producción de cultivos. El suelo es el sustento de la sociedad permitiendo la seguridad alimentaria, pero el uso desmedido del mismo, trae como consecuencia el deterioro del medio ambiente. Con el pasar del tiempo, los recursos naturales que brinda el entorno se están agotando o contaminando, generando la no aplicación del concepto de desarrollo sostenible para la sociedad, por ende, es de suma importancia conocer y darle el valor necesario a estos recursos.

El análisis emergético, deletreado con la letra M, es la metodología propuesta para evaluar la sustentabilidad ambiental en ecosistemas agrícolas, y aunque esta metodología fue propuesta desde el siglo pasado y diversos estudios a nivel internacional han demostrado su eficacia, en Colombia no se tienen los suficientes registros sobre su aplicación, siendo necesario nuevas investigaciones que den lugar a la evaluación del estado actual de los diversos ecosistemas. Teniendo como base estas ideas, en la presente investigación se utilizó la emergía como indicador de sustentabilidad ambiental del Sector Agrícola en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, evaluando los índices de producción de emergía – EYR (1,05), Índice de carga ambiental – ELR (21,24) e Índice de sostenibilidad ambiental – ESI (0,05), demostrando que el sistema agrícola no es sostenible ambientalmente con el pasar del tiempo, siendo necesario re-direccionar los procesos; así mismo, se determinó un rendimiento económico del 37% requiriéndose un cambio en metodologías de inversión y sustento económico.

Palabras Clave: Sistemas, Emergía, ecosistemas agrícolas, sustentabilidad ambiental.

Abstract

Agricultural ecosystems are interrelated systems that work together for crop production. The soil is the sustenance of society allowing food security, but the excessive use of it will lead to deterioration of the environment. Over time, the natural resources provided by the environment are being depleted or contaminated, this which does not contribute to the concept of sustainable development; therefore, it is of the utmost importance to know and give the necessary value to these resources.

The Emergy analysis, spelled with the letter M, is the methodology proposed to evaluate environmental sustainability in agricultural ecosystems, and although this methodology was proposed from the last century and several studies at international level have proved their effectiveness, in Colombia there are not enough records about its application, being necessary new investigations that give rise to the evaluation of the current state of the diverse ecosystems. Based on these ideas, in this investigation the Emergy was used as indicator of environmental sustainability of the Agricultural Sector in the experimental farm of the Surcolombiana University, evaluating the emergy production indexes – EYR (1.05), Environmental load index – ELR (21,24) Environmental Sustainability Index – ESI (0.05), demonstrating that the agricultural system is not environmentally sustainable over time, being necessary to re-address the processes; also, an economic performance of 37% was determined, requiring a change in the methodologies of investment and economic sustenance.

Keywords: *Systems, Emergy, agricultural ecosystems, environmental sustainability*

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen.....	5
Lista de tablas	8
Lista de figuras.....	9
Lista de ecuaciones	10
Capítulo I	11
Introducción	11
Descripción del problema.....	13
Planteamiento del problema	13
Justificación.....	15
Objetivos	16
Objetivo general	16
Objetivos específicos	16
Marco teórico	17
Antecedentes.....	17
Marco contextual	23
Capítulo II.....	40
Metodología	40
Fase I. Recopilación de información del sistema agrícola de la granja experimental.....	40
Fase II. Definición del proceso agrícola como ecosistema.	46
Fase III. Cálculos de flujos e indicadores emergéticos	47
Fase IV. Análisis de resultados.....	48
Capítulo III.....	49
Resultados y discusión	49
Conclusiones y recomendaciones	62
Conclusiones	62
Recomendaciones.....	63
Bibliografía	65

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1. Símbolos energéticos para diagramas de flujo.	35
Tabla 2. Ecuaciones emergéticas.	38
Tabla 3. Principales índices utilizados para la evaluación emergética.	39
Tabla 4. Fases para cumplimiento de objetivos.	40
Tabla 5. Distribución de cultivos en la granja experimental.	42
Tabla 6. Caracterización de estanques de la granja experimental.	44
Tabla 7. Características de estaciones meteorológicas.	50
Tabla 8. Tabla de conversiones a unidades de Joules o gramos de los recursos utilizados en la granja experimental.	52
Tabla 9. Ingresos y egresos en la granja experimental.	53
Tabla 10. Conversiones de los recursos utilizados en la granja experimental a unidades de energía (seJ)	56
Tabla 11. Ecuaciones y clasificación de los recursos para cálculo de los índices emergéticos.	57
Tabla 12. Índices emergéticos.	58
Tabla 13. Rentabilidad económica del sistema agrícola.	59
Tabla 14. Conversión de fuente energética.	60
Tabla 15. Composición química de los peces.	60
Tabla 16. Conversiones a unidades de emergéticas del sector piscícola.	61

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Cadena trófica.....	30
Figura 2. Cadena alimenticia con niveles de transformación sucesiva de energía.	31
Figura 3. Cadena energética de una población urbana, basada en combustible.	32
Figura 4. Esquema general de un sistema en términos de energía.	36
Figura 5. Ubicación de la granja experimental.	41
Figura 6. Lotes A, B y C de la granja experimental.	43
Figura 7. Zona de frutales de la granja experimental.....	43
Figura 8. Distribución espacial de la granja experimental.....	44
Figura 9. Sector piscícola en la granja experimental.	45
Figura 10. Estaciones meteorológicas aledañas a la granja experimental.	49
Figura 11. Diagrama de flujo de energías en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.	54

Lista de ecuaciones

	Pág.
Ecuación 1. Calculo de transformidad	34
Ecuación 2. Emergía	34
Ecuación 3. Ecuación universal de pérdida de suelo USLE	46
Ecuación 4. Índice de erodabilidad K.	50
Ecuación 5. Pérdida neta de suelo.....	51
Ecuación 6. Conversión de unidades de diesel.	53

Capítulo I

Introducción

Uno de los principales sustentos del hombre es mediante la producción de alimentos, donde los sistemas de producción de cultivos son la base de la supervivencia y el desarrollo humano porque pueden producir granos y materias primas industriales, teniendo como fuente principal el suelo que no sólo es la base de la agricultura sino también de la ganadería; así mismo, con el transcurrir de los años, este recurso considerado como un cuerpo natural compuesto de sólidos (minerales y materia orgánica), líquidos y gases, que comprende la superficie terrestre (Torrente, 2014), se va maltratando con la práctica masiva de estas actividades, trayendo consigo el deterioro del medio ambiente. El hombre, como ser social, necesita avanzar y desarrollarse, pero pese a las consecuencias de las actividades anteriores, que no se consideraba parte de un ecosistema, se ha tenido que direccionar en su desarrollo, no deteniéndolo, sino aplicándolo en una relación amigable con su entorno, llamándolo desarrollo sostenible, así que la sostenibilidad futura depende del difícil equilibrio entre la producción de alimentos y el impacto ambiental.

La sostenibilidad de un proceso desarrollado en un ecosistema, permite evaluar si las practicas llevadas por el factor antrópico son las correctas, pero en el momento que se hace esto necesario, no se encuentran los estudios completos e integrales de sustentabilidad, ya que se evalúan las variables por separado, tanto cualitativas como cuantitativas (Odum, 1996). La metodología del análisis emergético de un sistema ambiental, permite la unión de estas variables, siendo necesario aplicarla para conocer el estado actual ambiental de cada uno de los procesos que el hombre realiza a diario, en especial, aquellas situaciones que inciden directamente con el medio ambiental, con la naturaleza, el suelo, como el sector agrícola. El ser humano, se ha desarrollado en varios ámbitos, sociales, económicos, académicos, políticos, permitiendo su

integralidad, pero todo gira en torno al lugar donde habita, donde vive, donde crece, así que la cuantificación de las variables que inciden en sus diferentes procesos de desarrollo, se considera imperioso mantener y preservar estos recursos tanto económicos como ambientales para futuras generaciones.

Teniendo como base las necesidades de un desarrollo sostenible, se realizó esta investigación la cual se basa en analizar la sustentabilidad ambiental que tiene un sistema agrícola ubicado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, jurisdicción del municipio de Palermo (Huila), a partir de la aplicación metodológica del análisis de la emergía, que tiene como base la transformación de la energía solar para la producción de otras energías, que son fundamentales para el desarrollo de una sociedad, así que su aplicación es general y objetiva para cualquier campo, y para este caso, aplicada en un sistema agrícola.

La sostenibilidad que se quiso analizar y se hace mención anteriormente, se realizó de acuerdo al cálculo de los índices energéticos, específicamente tres, producción de emergía (EYR), índice de carga ambiental (ELR) e índice de sostenibilidad energética o ambiental (ESI), dando lugar a que su análisis permita re-direccionar los procesos llevados a cabo en la granja y todo conlleve a la conservación de su medio ambiente. Así mismo, se hizo una evaluación económica a partir del cálculo de rendimiento, que permitió comparar sus ingresos económicos respecto a sus ganancias.

Este estudio, se presenta como base para gestionar cambios en sistemas agrícolas, exponiendo su estado actual en términos de sostenibilidad ambiental, que dé lugar a la creación e implementación de políticas y metodologías permitiendo un desarrollo sostenible, y que su aplicación, no sea sólo en el lugar de estudio sino a nivel municipal, departamental y nacional.

Así mismo, con la presentación de esta investigación, se está innovando en una metodología eficaz para la evaluación de ecosistemas en el país, que traería consigo la generación de nuevos conocimientos divulgados a través de artículos científicos, tesis y ponencias, donde beneficiaría no solo a la comunidad universitaria y científica sino también, a la comunidad agrícola y ecosistémica.

Descripción del problema

Planteamiento del problema

Muchos de los estudios realizados a los diversos ecosistemas y sus interrelaciones, permiten conocer el estado actual del mismo, tomándose como base, a los ecosistemas como sistemas donde interaccionan todas sus partes, elementos de un todo del entorno manejado, permitiendo la organización de variables mutuamente dependientes (Bertalanffy, 1993). Las diferentes correlaciones dentro de estos sistemas han sido interrumpidas y manejadas por el hombre, tratando de satisfacer sus necesidades y dando lugar a procesos y metodologías nuevas, siendo un ejemplo claro de ello, la agricultura, ganadería, urbanización, entre otras. Actualmente, las diversas actividades antrópicas, no permiten un desarrollo y sostenimiento natural del medio ambiente, donde el componente social, debería manejar el desarrollo sostenible con una visión sistémica constituyendo los aspectos económicos, ambientales y políticos (Gianneti, Ogura, Bonilla, & Almeida, 2011). La postulación de teorías y principios, teniendo como punto de partida la sustentabilidad ambiental, ha surgido como solución a estos inconvenientes. Rutinariamente, la sustentabilidad no se había manejado desde un punto de vista cuantitativo, sino, por los cambios observados del ecosistema (cualitativos), planteándose métodos que no tenían en cuenta el valor de los servicios ambientales y ecosistémicos, subestimando la

conservación y el valor social de los mismos (Álvarez, Rodríguez, & Montes, 2006).

En los ecosistemas agrícolas, la eficiencia del uso de los recursos, es uno de los aspectos que se relacionan con sustentabilidad ambiental; puede decirse entonces, que el hecho de poder evaluar sistemáticamente el funcionamiento de un ecosistema agrícola y estimar el efecto que tiene sobre el ambiente, podría resultar en una contribución para el diagnóstico de su sustentabilidad. En la granja experimental de la Universidad Surcolombiana se realizan procesos agrícolas sin tener en cuenta la sostenibilidad ante su medio, así que se quiere aplicar procesos en el cual se pueda analizar la eficiencia integral del servicio agrícola.

Teniendo como base estas ideas, existe una metodología apta para la evaluación de sustentabilidad ambiental en ecosistemas de todo tipo, incluyendo ecosistemas agrícolas, teniendo como referente principal el uso de la Emergía, representada con la letra M, que plantea una metodología de análisis energético, permitiendo el estudio de impacto y sustentabilidad de sistemas (Álvarez, et al., 2006).

La emergía, se define como la energía de un tipo requerido en las transformaciones de los diferentes procesos de un sistema para generar un flujo, almacenamiento o producto, logrando expresar todos los recursos necesarios en términos de un equivalente de energía similar, en este caso la energía solar (Tennenbaum, 2015); la emergía toma como base la energía solar, como un equivalente solar del total de la energía, que se usa directa o indirectamente en el trabajo de hacer un producto o servicio (Le Corre, Truffet, & Lahlou, 2015). Esta metodología de cuantificación, utiliza la base termodinámica de todas las formas de energía, materiales, servicios brindados por el hombre, dinero e información, para convertirlas en una misma fuente, emergía, que es expresada en Joules de energía solar equivalente, seJ (Tennenbaum, 2014). De tal forma, La emergía se convierte en una valiosa herramienta para evaluar el desempeño de los ecosistemas

agrícolas en cuanto al consumo de recursos, durante el proceso productivo y la eficiencia resultante. Los cálculos de emergía, incluyen coeficientes de medio ambiente, a diferencia de otros análisis, convirtiéndose en una metodología que, aplicada en este tipo de ecosistemas, permite cuantificar las contribuciones provenientes de la economía y del ambiente para la obtención de un determinado producto.

Si se integran los conceptos de sustentabilidad ambiental en ecosistemas agrícolas, es necesario manejar la emergía como modelo de cuantificación para evaluar el desempeño de estos ecosistemas. Mediante la realización de este proyecto de investigación se pretendió analizar la sustentabilidad ambiental de un ecosistema agrícola específico, ubicado en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, por consiguiente, se planteó como referente de trabajo el interrogante:

¿El sector agrícola de la granja experimental de la Universidad Surcolombiana es sustentable ambientalmente determinado a partir del análisis de emergía?

Justificación

Era importante realizar esta investigación, primero, puesto que era indispensable conocer la sostenibilidad de un ecosistema agrícola, y en la granja experimental de la universidad Surcolombiana, no se tenían registros de evaluación sobre los procesos que se realizan en la misma, desconociendo la efectividad y estado de sus sistemas, sin poder analizar los costos ambientales y económicos de cada proceso, que les permitieran mejorar o cambiar, si era necesario, todo en un marco de desarrollo sostenible y relaciones amigables entre medio ambiente y el hombre.

En segunda instancia, en el momento que se trató de referenciar investigaciones de índole emergética, se encontró que aunque la metodología fue propuesta en el siglo pasado por Odum

desde 1996 (Tennenbaum, 2014), eran pocos los estudios referenciándose a la misma, y aunque los resultados y metodología son confiables y aptos para el objetivo, en Colombia, sólo existían dos investigaciones documentadas. Otros países, como China, Brasil, Argentina y en el viejo continente, se han encontrado variedad de estos análisis a diferentes ecosistemas y producciones tanto agrícolas como pecuarias, demostrando la viabilidad y eficacia de la evaluación.

Así mismo, en el momento que se analizaron las evidencias y registros, se notificó los resultados importantes que se obtienen a partir de los análisis emergéticos, dando lugar a la continuidad de investigaciones y estudios, convirtiéndose en punto de partida para cambios de estrategias y metodologías en sus actividades ecosistémicas, considerándose como sistemas de interrelación de sus componentes.

Objetivos

Objetivo general

Determinar la sostenibilidad ambiental a partir del cálculo de la emergía, del componente de producción agrícola en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana, Vereda El Juncal-Huila.

Objetivos específicos

- Analizar los flujos energéticos de insumos y productos involucrados, que participan para la obtención de los productos agrícolas del sistema en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.
- Analizar e Interpretar los indicadores emergéticos como índice de producción de emergía (EYR), Índice de carga ambiental (ELR) e Índice de sostenibilidad ambiental (ESI)
- Realizar la valoración económica del sistema agrícola en la granja experimental.

- Cuantificar las contribuciones económicas y ambientales para la obtención de los productos agrícolas en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.

Marco teórico

Antecedentes

Para el manejo de antecedentes en cuanto a estudios e investigaciones emergéticas, se realizó una consulta bibliográfica de lo particular a lo general, iniciando desde el departamento del Huila, Colombia, Suramérica, nuevo continente y finalizando en los estudios realizados en la zona oriental del globo terráqueo.

En el departamento del Huila, no se encontraron investigaciones y estudios referentes a los análisis emergéticos, pues se considera un tema nuevo y poco relevante, ya que el conocimiento del mismo es poco en la región.

En cuanto a Colombia, se encontraron dos investigaciones, una de ellas fue realizada en el municipio de Palmira (Valle del Cauca), realizando un análisis energético de la sostenibilidad ambiental al respectivo municipio definido como tecnoecosistema (López & Rodríguez, 2013), mediante la aplicación de cinco fases, basada en el método de la síntesis emergética, permitiendo valorar al municipio de Palmira como sistema ecológico, diferenciando la economía ambiental de la economía ecológica, dando valor a los recursos naturales en conjunto con todo el sistema económico y social, en una sola contabilidad y así, direccionar las áreas de sostenibilidad, con el cálculo de índices emergéticos, para la toma de decisiones en políticas públicas. Los índices emergéticos utilizados fueron: índice de producción de energía (EYR), índice de carga ambiental (ELR), e índice de sostenibilidad ambiental (ESI). La segunda investigación realizada, fue por el señor Camilo Ernesto Buitrago Soto (2014), el cual se basó en una evaluación

energética para el Páramo de Guerrero (Cundinarma) y calcular su sostenibilidad ambiental a partir de todas sus entradas naturales y salidas necesarias para el sustento del hombre, estimando una gran pérdida del ecosistema y suelo, materia orgánica y agua que es suministrada para actividades antrópicas aledañas.

Ya cuando se habla de la aplicación energética en investigaciones a nivel suramericano, se encuentra una cantidad importante de estudios relacionados, destacándose el realizado en la provincia de Córdoba, Argentina, donde los señores Patricia Benzi y Diego Ferraro (2014) realizaron una evaluación histórica del consumo de bienes ecológicos y económicos en un sistema agrícola pampeano, utilizando la emergía como indicador sistémico de sustentabilidad, teniendo como objetivo evaluar el patrón de desempeño de diversas alternativas agrícolas, con rotación de cultivos y secuencias diferentes entre el maíz y la soja. Utilizando el análisis energético, se permitió conocer cómo se modifica el funcionamiento y el desempeño biofísico y económico del ecosistema agrícola a través de un determinado periodo de tiempo.

En Nicaragua, se realizó una evaluación de emergía en la producción, procesamiento y exportación del café, con el fin de evaluar las contribuciones ambientales a los productos comercializables; los índices de emergía calculados y analizados, muestran que el procesamiento de café y la industrialización, son actividades intensivas que requieren de apoyo ambiental (Cuadra & Rydberg, 2006).

En Perú se realizó la contabilidad de la huella ecológica a través de la emergía, donde realiza la conversión pertinente de energía a emergía, y tomándolo como referente realizan el cálculo de la capacidad de carga y la huella ecológica, demostrando que Perú es sustentable siendo necesario reconocer que es posible solo si se dejase de exportar todos sus productos (Siche, Ortega, & Rodríguez, 2006).

Así mismo, en el sur del municipio de Lempira (Honduras), se utilizó la metodología emergética en tres sistemas agroforestales para evaluar el uso de sus recursos y sostenibilidad ambiental; se analizaron índices emergéticos como: índice de sostenibilidad e índice de huella ecológica, demostrando que estos son sistemas que favorecen el uso de recursos renovables y locales (Ferreira, Hurtado, García, & Bonilla, 2010).

Brasil es uno de los países con más experiencia y uso de la metodología emergética para el análisis de sustentabilidad ambiental, y esto queda demostrado con los estudios referenciados a continuación.

En el 2011, se evaluaron los servicios ambientales y desempeño ambiental en una finca de café situada en Coromandel (Brasil) a partir de un análisis emergético. Se evaluaron varios índices de emergía para determinar el precio del medio ambiente y de esta forma equilibrar operaciones en el mercado internacional (Giannetti, Ogura, Bonilla, & Almeida, 2011). De igual forma, al sur de Brasil, se evaluó la eficiencia ambiental de sistemas integrados de granos, cerdo y pescado en pequeñas granjas, mediante la aplicación del análisis emergético (Cavalett, Ferraz, & Ortega, 2006), donde sus resultados señalaron que tiene mayor eficiencia ambiental, es más sostenible y menos estresante, un sistema integrado que los subsistemas de granos, cerdos y pescado por separados.

En el 2011, se realizó un estudio en un cultivo de café en la región de Savannah (Brasil), un ecosistema que se encuentra en destrucción masiva e inminente después de la selva amazónica; utilizaron los cálculos e índices emergeticos para determinar el modelo más óptimo para un sostenimiento ambiental y económico ante la producción de café, todo dentro de un marco de desarrollo sostenible, concluyendo que el apropiado y que cumple a cabalidad con las expectativas, es la siembra de café verde (Giannetti, Ogura, Bonilla, & Almeida, 2011).

La carga ambiental que puede generar cierto proceso se puede calcular o hacer una estimación mediante diferentes metodologías, tal como se hizo en una investigación que realizaron en Brasil, donde compararon cuatro metodologías diferentes, como la energía incorporada, huella ecológica, la densidad energética renovable y la emergía, para determinar la sostenibilidad ambiental de los cultivos de caña de azúcar y maíz, demostrando que la más efectiva es mediante el cálculo emergético, pues toman en cuenta todos los ingresos tanto económicos como ambientales (Agostinho & Pereira, 2013).

Para poder restablecer la sostenibilidad regional, en zonas aledañas a Sao Paulo (Brasil) se hicieron evaluaciones y análisis de cultivos de hortalizas de forma sostenible a partir del cálculo de índices emergéticos, que dieran lugar a la transición hacia los sistemas agroecológicos a nivel general, y con ello permitir la recuperación de la biota del suelo y la vegetación, reciclaje de residuos urbanos y disminución de pesticidas y fertilizantes químicos en cultivos convencionales (Sayoko & Ortega, 2014).

De igual forma, en Brasilia (Brazil), se evaluó la eficiencia del cultivo de caña de azúcar para la producción de etanol, teniendo como base que ha sido de gran incidencia este factor en la economía brasileña, era importante tener la confiabilidad económica y ambiental, llegándose a la conclusión que es más viable la caña de azúcar para esta actividad en comparación de otras fuentes como la yuca, trigo y maíz, y todo a partir de los cálculos de índices emergéticos (Vitória & Paraguassú, 2016).

Ya a nivel mundial, se referencia mayor aplicabilidad de la metodología emergente, iniciando en el 2001, donde se realiza un estudio al suelo y las granjas comerciales en el centro de Alemania y todo para determinar la entrada total de energía en los diferentes tratamientos de fertilización, teniendo como base un análisis termodinámico y entradas de energía con un

referente único, energía solar (energía). Se obtienen como resultados, que aunque las técnicas de fertilización cambian constantemente, el suelo sólo se ve afectado si la cantidad de nitrógeno en los fertilizantes cambia, y que la aplicación de este elemento de forma moderada, sea necesario para realizar la salida máxima de energía neta cuando hay rotación de cultivos (Hulsbergen, Feil, Biermann, Rathke, Kalk, & Diepenbrock, 2001).

En Italia utilizaron la energía para evaluar el desempeño y sostenibilidad del sistema agrícola italiano a lo largo del tiempo, de igual forma, identificar los principales impulsores de cambio en cuanto al desempeño y ecosistema, a partir de dos casos de estudios, al norte y sur de Italia (Guisellini, Zucaro, Viglia, & Ulgiati, 2014).

En China, se han realizado numerosos estudios basados en la aplicación del análisis energético para la evaluación de ecosistemas. Uno de estos casos, fue el que se realizó en la zona rural de China, evaluando a cuatro sistemas de cultivos, dos sistemas de producción tradicionales locales como plantación de maíz y estanque de piscicultura, un pato Shaoxing reducido (*Anas Platyrhyncha var. domestica*) sistema de cría, y un sistema de producción recientemente introducido de champiñón (*Agaricus bisporus*), y todo con el fin de evaluar y comparar los beneficios de la diversidad agrícola (Zhang, Song, & Chen, 2012). En el 2010 se realizó una evaluación económica de la producción de arroz y vegetales integrando los sistemas de energía y energía, permitiendo analizar que cultivo y de qué forma es más viable para el país, dando lugar a su posterior evaluación en las implicaciones agrícolas de la política China (Lu, Bai, Ren, & Campbell, 2010). En la provincia de Shandong, se evaluó el desarrollo sostenible del medio ambiente en coordinación con la energía y la economía, integrando estos tres sistemas, durante un periodo de 2004 a 2012 (Wang, Yuan, Cheng, Mu, & Zuo, 2014). La evaluación demostró que la energía y la economía, son la fuerza motriz del desarrollo del sistema, sin

embargo, el medio ambiente es el factor limitante para cualquier actividad que se incluyan los mismos. En el río Mekong, se realizó un análisis de emergía en la zona superior, donde es interceptado por la construcción de la hidroeléctrica Manwan (Fang, Chen, & Chen, 2015), el cual, se quiso demostrar, evaluar y describir la condición de los ecosistemas fluviales alterados, a través de la aplicación del análisis emergético, donde sus índices, se establecen para tener perspectivas en situaciones actuales de ecosistemas fluviales. En la llanura Norte de China, se realizó un análisis de emergía de los sistemas de producción de granos a gran escala, específicamente de trigo y maíz, centrándose en el análisis de sus ciclos de vida y de esta forma, determinar la eficiencia de cada cultivo, ya sea en sistema de monocultivo o policultivo a gran escala (Wang, et al., 2014).

En Taiwan, por medio de una investigación realizada en el 2015, dieron a conocer el uso de los índices y conceptos emergéticos para evaluar la vulnerabilidad de las inundaciones urbanas en su llanura costera occidental, con ayuda del sistema de información geográfica (SIG) de la región y proporcionando una unidad de medida común efectiva para evaluar la exposición, la sensibilidad y capacidad de adaptación de las inundaciones, logrando identificar que las zonas con mayor riesgo de las mismas, son aquellas áreas con mayor impacto de urbanización (Chag & Huang, 2015)

En el suroeste de China, en la provincia de Guizhou, se evaluaron los impactos reales ambientales de la aplicación de pequeñas hidroeléctricas, pues su manejo ha sido masivo ya que se considera como energía limpia, pero la evaluación y análisis realizado a partir de la emergía, determina que tiene una incidencia negativa fuerte en la fuente hídrica, pues su nivel de agua se ve directamente afectada, recomendando que se investigue rigurosamente todos los impactos ambientales que el uso de estas hidroeléctricas concluyen en el medio ambiente (Pang, Zhang,

Ulgiati, & Wang, 2014)

El análisis emergético, no sólo es de gran aplicación para ecosistemas, sino para la evaluación de cualquier tipo de sistemas, siendo un claro ejemplo, un sistema de tratamiento biológico para aguas eutrofizadas, que se realizó en Taihu Lake, China (Lu, Yuan , Campbell, Qin, & Cui, 2014), donde se basaron en la evaluación de eficiencia de tres sistemas diferentes de tratamientos biológicos con cambios en su biomasa, demostrando que la herramienta metodológica de la emergía, era útil para cuantificar las características ambientales y ecológicas de forma integral a diferentes escalas, dando lugar a la toma de decisiones futuras a partir de los resultados.

En el 2015, para la producción agrícola china, realizaron un análisis de sostenibilidad ambiental durante los años 2000-2010, a cultivos de colza, cacahuates, frutas, trigo, arroz, maíz y algodón, y todo mediante la metodología emergente, demostrando que con el pasar de los años, la agricultura se ha convertido en menos sostenible debido a los insumos utilizados para la actividad, permitiendo dar recomendaciones que den lugar a un desarrollo sostenible (Zhang, et al., 2015).

Marco contextual

Al momento de tratar el tema de emergía, es necesario inicialmente concebir la idea de que todo lo que rodea al ser humano, es un sistema de interacción entre sí, donde se ve reflejado las acciones y consecuencias unidas entre cada eslabón del proceso, no sólo un ecosistema es la relación existente entre sus componentes, sino que todo lo que está alrededor es bien tomado como sistema, manejándose a modo de teoría desde el año 1993. La Teoría general de los sistemas (TGS) tiene como base la inclusión del concepto que ha revolucionado el pensamiento a

partir de los ideales del señor Ludwig Von Bertalanffy (1993), “Sistema”, entendiéndose como la interacción de todas las partes, elementos, de un todo del entorno a tratar, fundamentando la reorientación del pensamiento científico, y dando lugar a trabajarse como una teoría global y general. Los fenómenos sociales (Sociología), el comportamiento del hombre (Psicología), como ciencias puntuales y trabajadas desde muchas décadas atrás, han encaminado sus ideologías vinculando esta teoría y dando lugar a que su objeto de estudio se maneje como un sistema (sociedad y hombre respectivamente).

Desde la inclusión y aplicación de esta teoría, muchas actividades del hombre, como la política, ejército, empresas, etc. han querido trabajar desde el punto de vista de Sistema, entendiéndolo como “la organización de variables mutuamente dependientes” (Bertalanffy, 1993), y como concepto clave en la investigación científica (Scott, 1963). Cuando se trabajaba la investigación científica desde la ciencia clásica, se dedicaban a la indagación y especialización de los estudios puntuales dentro de un mismo contexto, y cuando se maneja desde la perspectiva de la TGS, da lugar a los isomorfismos de conceptos, leyes y modelos en varios campos, que hacen referencia a la aplicación de abstracciones y modelos conceptuales coincidentes a fenómenos deferentes; de igual forma, permite la transferencia de conocimientos de una ciencia a otra, y promueve la unidad de la ciencia mejorando la comunicación entre especialistas.

Ahora bien, ¿Por qué el uso repentino de esta teoría en la ciencia? La ciencia llegó a un punto donde se enfrentó a problemas que no lograba solucionar de forma separada y aislada, así que una de las soluciones planteadas fue a partir de los conceptos y teorías manejadas por la TGS, como las Leyes Isomorfas (Bertalanffy, 1993),

“Estas consideraciones conducen a proponer una nueva disciplina científica, que llamamos teoría general de los sistemas, su tema es la formulación de principios válidos para

<sistemas> en general, sea cual fuera la naturaleza de sus elementos componentes y las relaciones o <fuerzas> reinantes entre ellos”

Esta teoría propone principalmente el manejo de los sistemas en general independientemente de la naturaleza de sus componentes, y con base a ello plantea cinco metas puntuales: la integración de las ciencias naturales y sociales, que giren en torno a esta misma teoría siendo un recurso importante para buscar una teoría exacta en los campos no físicos de la ciencia, a elaborar principios unificadores que “corren” verticalmente por el mundo de la ciencias, acercándolos a la unidad de la misma, y por último, que ésta integración sea conducida ya que es necesaria para la instrucción científica (Bertalanffy, 1993).

Ahora bien, si se toma como base la TGS específicamente en sectores agrícolas, se observa la necesidad de manejar este campo como sistema, pues todos sus componentes tienen relación directa y permiten analizar y evaluar su producción, productividad (Saravia, 1985) y específicamente para esta investigación, su sostenibilidad ambiental. Los Sistemas Agrícolas se consideran conjuntos de aprovechamiento agrícola individuales con recursos básicos como tipo de tierra, maquinaria especial para uso agrícola, uso de fertilizantes y pesticidas, nuevas tecnologías como prácticas, mano de obra y dinero para producción e inversión, que permitan estrategias de desarrollo social y natural (Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO, 2001). Todos estos factores, se deben de tener en cuenta pues tienen que trabajar en conjunto y en relación uno con otro, para que dé lugar a un proceso óptimo y eficiente.

Los sistemas agrícolas o también llamados agro-ecosistemas (Odum, 1988), son la fuente principal mundial de alimentos para la población, donde el ser humano actúa como administrador y consumidor, pues de ellos depende suplir sus necesidades básicas. Estos sistemas tienen una

particularidad descomunal, pues con el avance de la ciencia y el hombre, sus actividades matutinas tienen que ir avanzando del mismo modo que permita abarcar la demanda, dando lugar, a la sinergia de las técnicas antiguas y actuales de los sistemas agrícolas, un ejemplo claro, es en la agricultura primitiva, pues usaban al 100% al hombre y otros animales para todas sus actividades, incluyendo la adecuación del terreno y sostenimiento del cultivo, pero actualmente, se tiene una dependencia constante de los combustibles fósiles, fertilizantes, pesticidas y otros tantas actividades que no permiten la conservación y sostenimiento del medio ambiente, teniendo como parte de ellos al ser humano, usando de forma insostenible las energías, minerales y recursos ambientales, que dan lugar a la consideración de la agricultura moderna, como una actividad difícilmente sostenible y que pueda satisfacer las necesidades humanas (Guisellini, et al., 2014). Es importante resaltar, que aunque los sistemas agrícolas actuales son insostenibles por todas sus actividades, se tiene una gran necesidad y afán de buscar soluciones que permitan enmendar todas las acciones equivocadas para el medio, siendo necesario reconocer que aunque no existen sistemas completamente auto-suficientes (Odum, 1988), se quiere retomar métodos menos destructivos como se hacían antiguamente.

Para el diseño de metodologías que vayan de acuerdo al marco de desarrollo sostenible, es importante reconocer que todas las acciones que realice el ser humano, debe de realizarse en esquemas que tenga como consideración la sostenibilidad ambiental. Por tal razón, la Sostenibilidad Ambiental es catalogada como la preservación de los ecosistemas naturales y sus relaciones, sin dejar a un lado al ser humano ya que no solo actúa como un agente de cambio, sino que se ve afectado directamente por las condiciones ambientales cambiantes, de tal forma, esta sostenibilidad solo se puede lograr si se maneja el desarrollo de la sociedad con un uso responsable de los recursos, conservando y preservando el medio ambiente, todo con el fin de

asegurar una vida digna y con todas las facilidades actuales a las generaciones futuras, que enmarcan el desarrollo sostenible (López, et al., 2013). Teniendo como base lo antes descrito, es importante reconocer que el Desarrollo Sostenible se consideró pertinente su ejecución desde la Cumbre de la Tierra que dio lugar a la creación de la Comisión de Desarrollo Sostenible (CDS), gestionando el inicio de los indicadores de sostenibilidad y desarrollo sostenible, que permitieran medir el avance hacia la sustentabilidad, desde puntos de vista sociales, económicos, calidad de vida, biodiversidad y conservación de recursos naturales, siendo imperativo reconocer que aunque estos dos conceptos se maneja de forma global, se convierte en limitado estandarizarlos, pues las condiciones de cada sociedad y pueblos son diferentes, y las medidas y decisiones tomadas para cumplir con sus respectivos objetivos, tienen que ser adecuadas a sus contextos (Quiroga, 2001). Para manejar e implementar el desarrollo sostenible en cualquier ciudad, es necesario manejarlo desde su cuatro perspectivas, económica, social, ambiental e institucional, pues da lugar a un desarrollo completo y desde todos los puntos de vistas necesarios e incidentes entre sí, pero al momento de que estas acciones se quieren hacer realidad, se encuentran con barreras que no se pueden controlar ni manejar.

En Colombia, desde 1996 se empezó a trabajar en la creación y aproximación de indicadores de sostenibilidad ambiental, con ayuda del Ministerio del Medio Ambiente, Departamento Nacional de Planeación (DNP), Departamento Nacional de Estadística (DANE), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), Procuraduría General de la Nación, Contraloría General de la Republica y Auditoría General de la Republica, los cuales se han encargado de diseñar e idear estrategias que ayuden a la conservación y preservación de los recursos naturales colombianos, a través de indicadores de sostenibilidad, siendo importante resaltar algunas como (Quiroga, 2001): proyecto colectivo ambiental,

producciones más limpias (PML) y mercados verdes, Sostenibilidad de los procesos productivos endógenos y calidad de vida urbana, entre otros. Desde el año 2011, las empresas colombianas han adoptado estrategias que le permitan un desarrollo no solo económico, sino también social y por supuesto ambiental (Moncada, 2012), creando estrategias para la superación de la pobreza, al mejoramiento de la educación, productos amigables con el medio ambiente como cementos verdes, el reciclaje de residuos en edificios, una gestión integral del agua en procesos industriales, el uso racional y eficiente de la energía y el de recursos naturales como materias primas de productos industriales, con programas de conservación de la tierra a través de buenas prácticas agrícolas y protección de los cultivos, y todo esto dando lugar, a que estas empresas colombianas ingresen en el ranking mundial de los índices de sostenibilidad, empresas como: Alpina, Argos, Bancolombia, Cerromatoso, Corona, Ecopetrol, Empresas Públicas de Medellín, Holcim, Isagen (que en aquel entonces aún era colombiana), Nutresa, Pavco, Seguros Bolívar, Syngenta y Telefónica.

Es indispensable reconocer, que aunque Colombia se ha visto comprometida con el cambio paulatino hacia actividades con un marco de desarrollo sostenible (García, Barrera, Gómez , & Suarez , 2015), es aun notorio actividades que contradicen dichos principios, como lo son la tala indiscriminada por la ampliación de vías 4G, quemas “controladas” de muchos agricultores que dan lugar a incendios forestales, el uso excesivo de plaguicidas y pesticidas químicos, contaminación de agua por actividades agrícolas e industriales, dependencia hacia los combustibles fósiles, manejo inadecuado a residuos sólidos, uso irracional de los recursos naturales y desprotección de ecosistemas naturales prescindibles para el sostenimiento del ser humano. Por lo mismo, cada acción, cada estrategia, cada programa que los seres humanos diseñen y apliquen, cambiarían el rumbo de una o varias comunidades, dando lugar que con el

paso del tiempo sean más globales y permita cambiar el rumbo del medio ambiente y que las empresas y sociedades actúen de forma sostenible.

Para un actuar sostenible, es necesaria la aplicación de estrategias que permitan cuantificar los gastos de los recursos naturales por cada actividad que realiza el hombre, que dé lugar a la contabilidad ambiental y de esta forma controlar el uso y actividades que comprometan las reservas ambientales para las generaciones futuras; así mismo, la capacidad de sustentación de un área o zona determinada, es la cantidad de varios tipos de organismos que puedan vivir en esta zona sin perjudicar los recursos básicos, como lo sería el hombre y demás animales (Contreras, 2014).

Cuando se habla de capacidad de sustentación, es importante incluir el gasto energético que tiene cada actividad, pues es la base de acción y sustento, y con base a una zona y su capacidad de sustentación, son directamente proporcionales a la energía que fluye en el mismo, generalmente, cuanta más energía fluye hacia el área, mayor capacidad de sustentación tendrá, y con menos energía, esta capacidad será menor (Odum, 1988). Por ejemplo, si la radiación solar o cantidad de nutrientes o agua, se ven reducidos por acciones indirectas al procesos natural, se verá reflejado en la población vegetal o capacidad de sustentación de las poblaciones. Ahora bien, esta capacidad para ciertos organismos, depende del lugar donde estén ubicados en la cadena alimenticia, consideradas como redes de transformaciones sucesivas de energía, categorizados en niveles a partir del tipo de alimento que los organismos consumen, conocidos como niveles tróficos (Curtis & Schnek, 2015). Si se habla de niveles tróficos a nivel energético, es necesario considerar que la energía se va transformando y perdiendo a medida que sobrepasa cada nivel, pues cada eslabón en la cadena necesita de un porcentaje para su producción y consumo, dando lugar a que la energía inicial sea reducida al final de la cadena alimenticia. El

paso de energía de un organismo a otro ocurre a lo largo de la cadena trófica o alimentaria (figura 1), que consiste en una secuencia de organismos relacionados unos con otros como presa y predador, partiendo desde un productor primario, que habitualmente son las plantas, seguido de los consumidores primarios (herbívoros) que se alimentan del productor primario, después de un carnívoro o consumidor secundario, donde en promedio, aproximadamente el 10% de la energía transferida en cada nivel trófico es almacenada en tejido corporal y el 90% restante, no se asimila el cual es utilizada por los detritívoros y finalmente por los descomponedores (Curtis, et al., 2015).

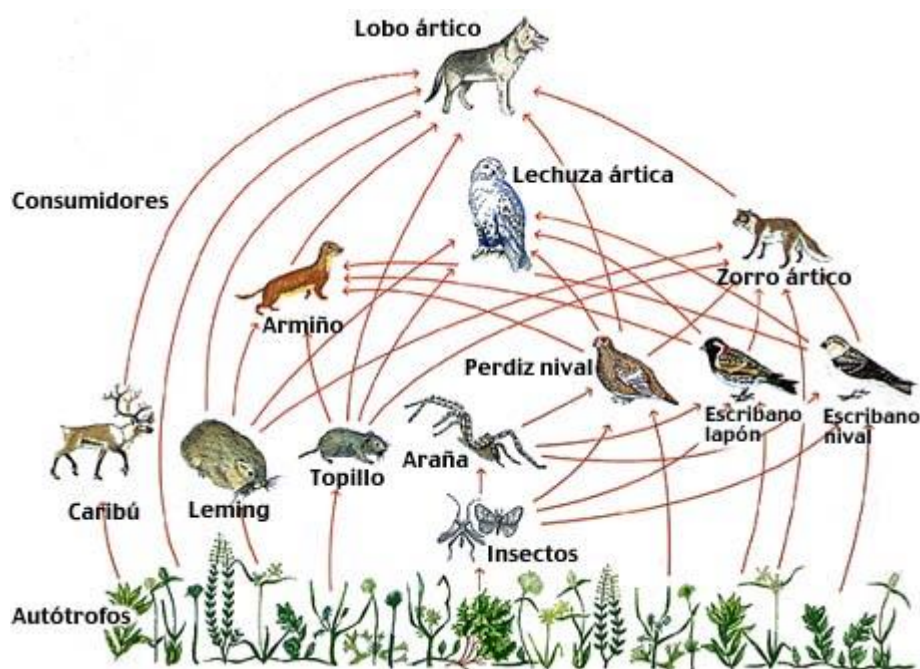


Figura 1. Cadena trófica.
Fuente: (Contreras, 2014)

Ahora bien, si se retoma nuevamente la cadena alimenticia en términos energéticos, se encuentra que para dar inicio de la cadena, se toma la vegetación como punto de partida, pues son los autótrofos quienes adquieren su energía a partir del sol y la transformación de esta energía por medio de la fotosíntesis (Bravo & Jiménez, 2014). La eficiencia de las plantas en la transformación de energía a partir de la fotosíntesis, se considera en promedio entre 0,01-2%

(Odum, 1988), y expresados en unidades de energía, se considera que si una planta está expuesta a una radiación solar de 1.000.000 Joules, solo será 10.000 Joules realmente los que se utilicen para convertir en biomasa vegetal, que representa el 1% del 100% de energía solar, pues el resto es disipada en el mar; de la misma forma, sucede con el resto de eslabones de la cadena alimenticia energética, dando lugar que al final de los niveles tróficos, que representa el consumidor terciario, solo se produce 1 Joule de energía en la biomasa de este consumidor, partiendo y necesitando 1.000.000 joules de energía provenientes del sol y de lluvia (figura 2).

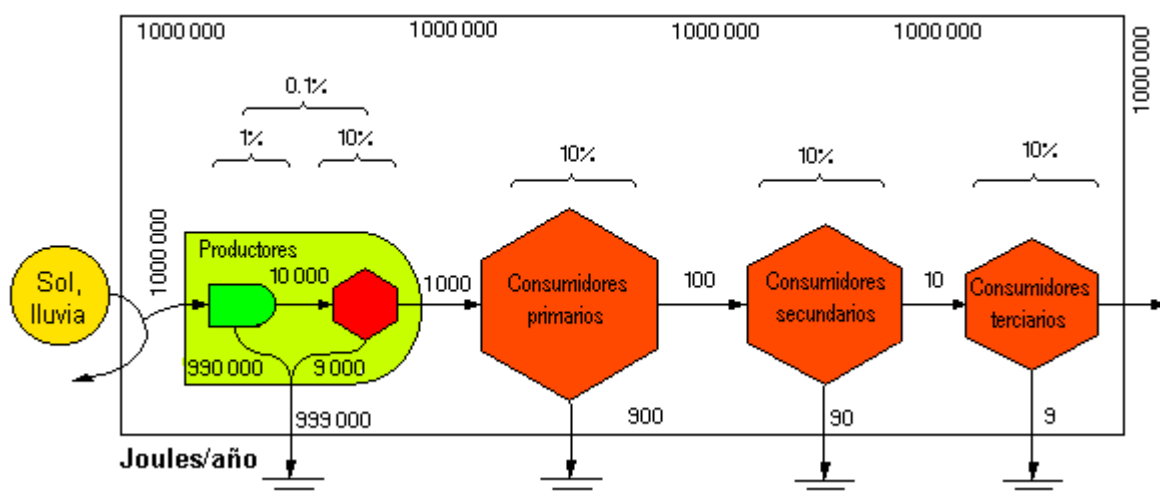


Figura 2. Cadena alimenticia con niveles de transformación sucesiva de energía.

Fuente: (Odum & Brown, 1997)

Si la capacidad de sustentación de una cadena trófica, se ve reflejada directamente en la capacidad que tienen sus organismos, es importante resaltar que el área donde se van desarrollando pueden soportar muchos productores y pocos consumidores, pues si esto se altera se vería reflejado en la deficiencia de productores, ya que la energía a medida que pasa por cada eslabón es menor. Si se observa este principio, desde una perspectiva que el hombre sea incluido como agente incidente de una cadena alimenticia, se considera el hombre como el nivel trófico de tercera categoría, siendo el consumidor mayor y partiendo su captación de energía igualmente

del sol ya sea de forma directa o indirecta (figura 3); los niveles tróficos manejados en este tipo de cadena alimenticia “moderna” (Odum, 1988), son todos los recursos pertinentes para poder satisfacer sus necesidades, como la formación de fósiles a partir de la materia orgánica, para su posterior transformación en combustibles, utilizado en la industria y comercio, que le brindaría al hombre su sustento alimenticio, casa y ropa, donde cada vez que trasciende un nivel energético, se disipa y merma su valor inicial, obteniéndose que si se inicia con 20.000.000 Joules de energía, solo se verá reflejado al final en 1 Joule de servicio humano en relación con el uso de combustibles fósiles, donde representa 20 veces más que en el patrón inicial de cadena alimenticia general.

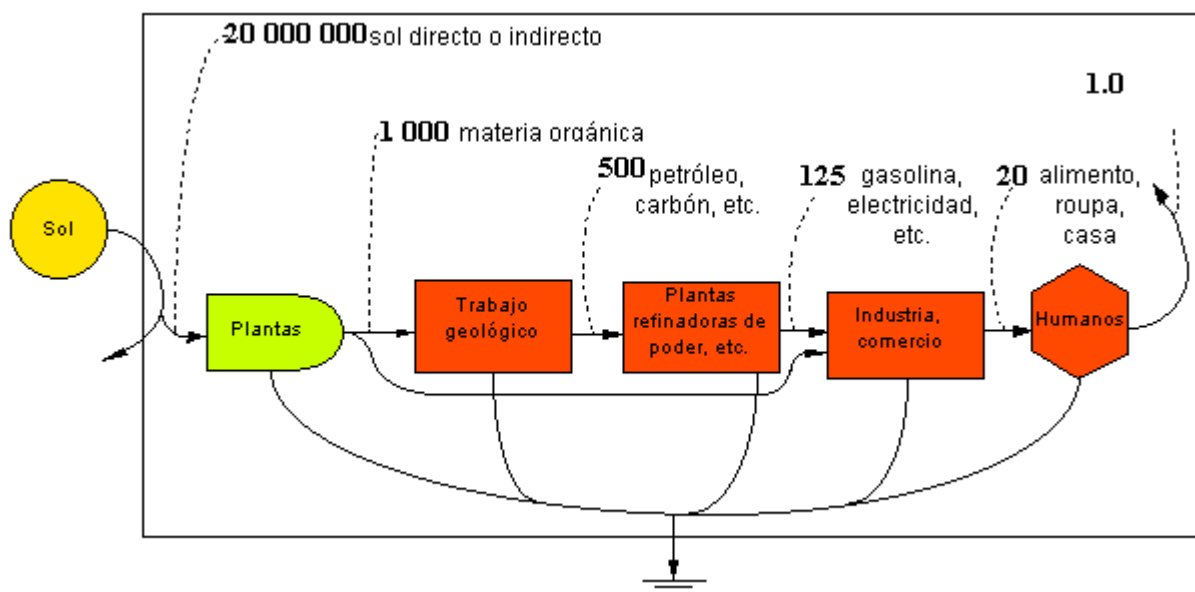


Figura 3. Cadena energética de una población urbana, basada en combustible.
Fuente: (Odum, et al., 1997)

Si se toma como referencia que para producir energía de alta calidad como combustible fósil, se necesita mucha energía solar considerada de baja calidad, ya que su transformación real es mínima desde que se absorbe, por ende se hace necesario un cálculo que permita tener la relación de la energía solar utilizada para producir otra fuente de energía, y es donde surge la

palabra eMergía que hace referencia a la expresión de la cantidad de energía solar transformada en otro tipo de energía considerada eMjoules. Por ejemplo, si se toma 40.000 joules de luz solar para producir 1 joule de carbón, la eMergía de un joule de carbón es 40.000 eMjoules solar, el cual se considera Transformidad Solar (unidad de eMjoules solares por joule, abreviado sej/J) (Odum, 1988). Así que, se considera la emergía solar como herramienta para determinar los valores del trabajo ambiental y humano en un sistema, considerándola como la máxima fuente de energía (Ferreira, et al., 2010), y a partir de aquí, la emergía se empezó a trabajar como metodología y herramienta ambiental para evaluar el uso de los recursos y sostenibilidad de los sistemas de producción (Odum, 1996).

La valoración energética, da valor al trabajo de la naturaleza independientemente del mercado, considerando flujos de bienes y servicios de manera sistémica, expresándolos en unidades de energía, y de esta manera hacer una contabilidad de sus procesos integrales, analizando su comportamiento como sistema ecológico, con el fin de priorizar la gestión ambiental, acorde al desarrollo sostenible. Existen modelos que permiten una contabilidad ambiental, donde se integren ecosistemas naturales y urbanos, siendo uno de los modelos más acordes, la síntesis emergética, deletreado con M (López, et al., 2013).

La emergía es considerada como la energía invertida para producir un bien o servicio, teniendo en cuenta los términos energéticos en cada paso de los eslabones alimenticios, reconociendo al final, que la emergía al final es la suma de todas las energías necesarias para realizar el producto o actividad (López, et al., 2013), manejado en unidades de emjulios solares (sej).

Ahora bien, manejando la emergía y la transformidad solar para poder realizar el cambio de unidades de cualquier fuente de energía, es necesario tomar como base esta energía con

constante de transformidad (ecuación 1), que este último se basa en el cambio de energía solar a energía de combustible fósil, brindando al final la unidad de emergía (ecuación 2).

Ecuación 1. Calculo de transformidad

$$\frac{X_{Julios_{RadSolar}}}{Y_{Julios_{CombFosil}}} = Transformidad$$

Ecuación 2. Emergía

$$\text{Emergía (sej)} = \text{energía disponible (j)} * \text{Transformidad (sej/j)}$$

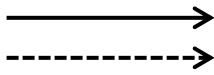
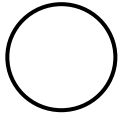
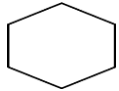


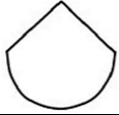
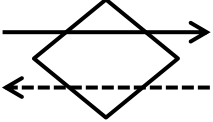

El análisis de emergía es una metodología que se puede aplicar a cualquier sistema, independiente si es netamente ecológico o no, pues todos los sistemas en el cual está involucrado el ser humano, se necesitan fuentes naturales, y eso representa la presencia del sol para dar inicio a los mismos. En esta ocasión, se centró en la aplicación de dicha metodología en un sistema agrícola, pues este campo es la base del sustento alimenticio del hombre, y su actividad constante y rutinario ha dado lugar a la creación de una brecha gigantesca en cuanto a desarrollo y sostenibilidad, no solo ambiental, sino también social y económico.

Las actuales actividades agrícolas, han dado lugar a la sencillez del paisaje y gran reducción a la biodiversidad, pues los monocultivos son la base de su sustento, trayendo como consecuencia el uso permanente de insumos químicos y tecnologías mecanizadas, que si bien aumenta a producción y eficiencia del sistema, resultan damnificando el medio ambiente con costos adicionales sociales, económicos y ambientales, provocando una disminución de la sustentabilidad de la agricultura (Peltzer, Lajmanovich, Attademo & Cejas, 2005).

El proceso agrícola se considera un sistema de relación, es decir, una entidad formada por unidades o componentes interdependientes que interactúan entre sí para suplir un producto final (López, et al., 2013). En esta fase y aplicando la metodología Emergética, el sistema ecológico agrícola, se esquematiza a partir de la información biofísica, modelando de forma explícita los

flujos entrantes al sistema para desarrollar un inventario de los procesos, reservas y flujos que están dentro de los límites, y para ello se usan los símbolos de la teoría general de los sistemas (TGS) que se muestran en la tabla 1 (Bertalanffy, 1993).

Tabla 1. Símbolos energéticos para diagramas de flujo.

Símbolos	Interpretación
	Flujos de Recursos. (El flujo de dinero es la línea punteada)
	Origen y entrada de energía, o recursos en bienes y servicios al sistema.
	Consumidores de recursos.
	Procesos de Producción o productos.
	Interacción entre flujos de diferentes cualidades (industria y reacciones).
	Almacenamiento de recursos o bienes.
	Transacción económica (Recursos vs Dinero).
	Límites del sistema para entrada y salida de recursos.

Fuente: Adaptado (Bertalanffy, 1993).

El diagrama que se realiza teniendo como base los recursos utilizados del cualquier sistema, representaría todos los procesos que involucran los flujos de energía como una cadena trófica, diferenciando y representando:

- a. **R:** Recursos naturales que representan las entradas de fuentes de energía (radiación,

alimentos, vientos) y producción primaria (cultivos)

- b. **N:** Recursos no renovables que estaría dentro de los insumos y pérdidas del ecosistema.
- c. **F:** Entradas al sistema adicional, que se manejan como importaciones del sistema, componentes sociales, bienes y servicios, combustible, entre otros.

A su vez, el diagrama de relaciones energéticas permite dar un panorama más claro de la organización y funcionamiento de todo el sistema agrícola, con su metabolismo social y los servicios naturales, permitiendo su análisis posterior para identificarlo como ecosistema sostenible. Así mismo, el diagrama permite realizar el cálculo energético de cada flujo para hallar su posterior equivalente energético (Le Corre & Truffet, 2015).

La estructura del diagrama de flujo se inicia con las fuentes de energía tanto de las materias primas, como de las importaciones, la cual se denota con el círculo por fuera del límite del sistema y fluye a la interacción (símbolo de producción). Se sigue el rumbo con la producción para su posterior almacenamiento o como el sistema este distribuido dentro de sus subsistemas, donde el importante reconocer que durante el proceso se pueden presentar retroalimentaciones de flujos energéticos, junto con cantidades de energías disipadas (Tennenbaum, 2014). Un ejemplo más claro se presenta a continuación (Figura 4), el cual se toma un sistema general con sus respectivos subsistemas y producto final graficándose con los símbolos de la TGS, pero siempre teniendo como base que es un sistema de interrelación entre sus partes.

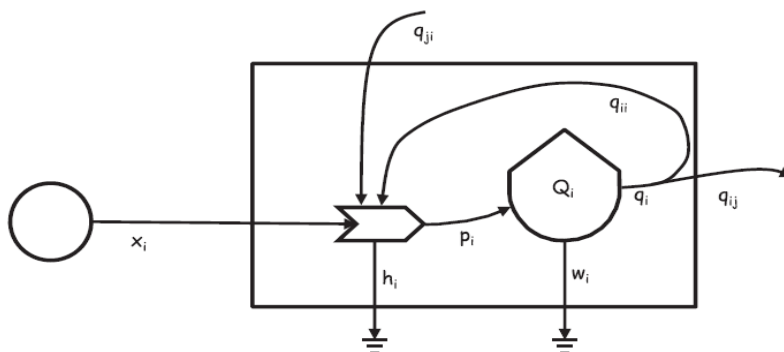


Figura 4. Esquema general de un sistema en términos de energía.
Fuente: (Tennenbaum, 2014)

El esquema se explica de la siguiente forma:

- X_i : fuentes de energía.
- P_i : producción bruta.
- h_i y w_i : energía disipada del sistema.
- Q_i : producto almacenado.
- q_i : flujos de energías de retroalimentación y exportaciones.

Después de realizar el esquema, se contabiliza todas las fuentes para la producción que provee el sistema agrícola, teniendo como base los datos del diagrama de flujo y calculando los componentes con la respectiva cantidad de energía y su transformidad, el cual parte de la unidad base de la fuente ya sea gramos o joules, para luego hacer la transformidad a energía, que la suma de ellas corresponde a la energía total del sistema, tomando como base, constantes de esta unidad trabajadas y citadas en diferentes investigaciones que se han realizado en el continente americano (López, et al., 2013), pues tienen condiciones climáticas similares a las de Colombia.

El álgebra lineal, es la herramienta utilizada para el análisis y cuantificación de la energía (Tennenbaum, 2014), y para iniciar, se debe tener en cuenta cuatro reglas primordiales, conocidas como “cuatro reglas del álgebra emergética” (Le Corre, et al., 2015):

1. Todas las fuentes de energía tienen un proceso de salida.
2. La energía total tiene subproductos lo cual tiene diferentes vías dentro del sistema.
3. Cuando se tiene una vía, la energía que se le asigna es en función al porcentaje de la energía total disponible para fluir en el camino.
4. La energía dentro de un sistema de los componentes interconectados, no pueden ser contados dos veces.
 - 4.1. Las evaluaciones emergéticas no pueden ser dos veces contadas.

- 4.2.** Cuando se suman la emergía de los subproductos, el valor no puede ser mayor a la fuente de emergía de la cual derivan.

En esta etapa del proceso, se incluye un concepto clave “co-emergía”, el cual se refiere a la emergía que sale de los compartimientos o subproductos y específica para un objetivo en particular, y solo emergía, es la fuente y salida principal del sistema; teniendo como base estos conceptos, se tienen dos métodos para calcular la emergía (Tennenbaum, 2015):

- OTB: Enfoque Odum - Tennenbaum – Brown; se basa en la suma de los ingresos de emergía por el porcentaje de forma acíclica.
- EC: Método emergía / co-emergía; suma de los ingresos de emergía de forma cíclica.

Ahora bien, es necesario determinar los índices o indicadores Emergéticos que se van a tener en cuenta para evaluar el sistema agrícola, y est n estipulados en la tabla 2 y 3 junto con sus ecuaciones y siglas.

Tabla 2. Ecuaciones emergéticas.

Ecuación Emergética	Siglas
$Y = I + F$	Y: Total de emergía
	I: Contribución Natural
	F: Retroalimentación económica
$I = R + N$	R: Recursos Naturales
	N: Recursos No renovables
$F = M + S$	M: Materiales
	S: Servicios
$M = M_R + M_N$	M_R: Materiales Renovables
	M_N: Materiales No Renovables
$S = S_R + S_N$	S_R: Servicios Renovables
	S_N: Otros servicios

Fuente: adaptado de (Cavalett, et al., 2006)

Tabla 3. Principales índices utilizados para la evaluación emergética.

Índice o Indicador	Símbolo	Fórmula	Descripción
Emergía total	Y	$Y = I + F$	Es la suma de todas las fuentes de energías.
Índice de producción de Emergía	EYR	$EYR = \frac{Y}{(M_N + S_N)}$	Mide la contribución de un proceso al sistema debido al consumo de recursos locales.
Índice de carga ambiental	ELR	$ELR = \frac{(M_N + S_N + N)}{(R + M_R + S_R)}$	Índice el estrés ambiental debido a un proceso, a partir de la presión de un proceso de incidencia sobre el medio ambiente.
Índice de sostenibilidad ambiental	ESI	$ESI = \frac{EYR}{ELR}$	Permite medir el rendimiento y la carga del medio ambiente en relación al sistema.

Fuente: adaptado de (Cavalett, et al., 2006)

Para realizar el análisis de los resultados y posteriores conclusiones, es necesario conocer los rangos de cada indicador y que representa cada valor (Gianneti, et al., 2011):

- EYR: Si $EYR < 5$ indica que la fuente de energía es secundaria, $EYR < 2$ indica consumo de productos o procesos de transformación. Procesos con $EYR \approx 1$ no proporcionan energía neta significativa a la economía y sólo transforma los recursos que ya están disponibles a partir de procesos anteriores.
- ELR: Si $ELR \approx 2$ sugiere un impacto ambiental relativamente bajo. $ELR > 10$ es indicativo de impacto ambiental relativamente concentrada y aquellos con $3 < ELR < 10$ podría considerarse moderado el impacto ambiental.
- ESI: Si $ESI < 1$ indicaría que los productos o procesos no son sostenibles a largo plazo. A mediano plazo de sostenibilidad estaría caracterizada por $1 < ESI < 5$, mientras que los procesos y productos con la sostenibilidad de largo alcance tienen ESI en consecuencia mayor.

Capítulo II

Metodología

Para realización de esta investigación, se tomó como base la literatura y trabajos realizados sobre la metodología de síntesis emergética, determinada a partir de cuatro fases relacionando los objetivos planteados (Tabla 4).

Tabla 4. Fases para cumplimiento de objetivos

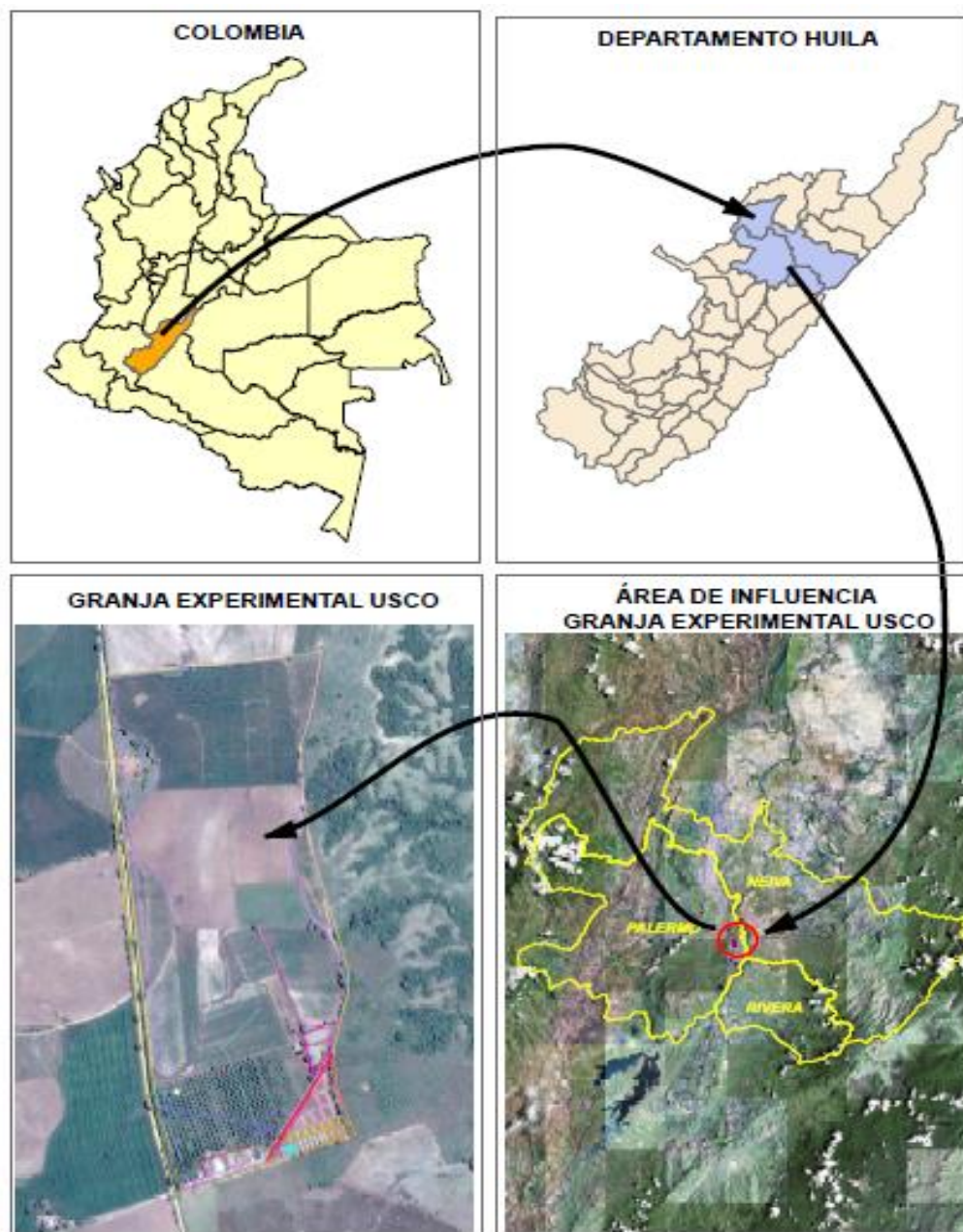
Objetivo	Fase
Analizar los flujos energéticos de insumos y productos involucrados, que participan para la obtención de los productos agrícolas del sistema en la granja experimental de la Universidad Surcolombiana.	Fase I: recopilación de información del sistema agrícola de la granja experimental.
	Fase II: Definición del proceso agrícola como ecosistema.
Analizar e Interpretar los indicadores emergéticos como índice de producción de emergía (EYR), Índice de carga ambiental (ELR) e Índice de sostenibilidad ambiental (ESI)	Fase III: Cálculos de flujos e indicadores emergéticos.
Realizar la valoración económica del sistema agrícola en la granja experimental.	
Cuantificar las contribuciones económicas y ambientales para la obtención de los productos.	
Determinar la sostenibilidad ambiental, a partir del cálculo de la emergía, del componente de producción agrícola.	Fase IV: análisis de resultados.

Fase I. Recopilación de información del sistema agrícola de la granja experimental.

La investigación se llevó a cabo en la granja experimental de la universidad Surcolombiana, considerado centro de estudio experimental. Se encuentra ubicado en el

municipio de Palermo, específicamente en el valle del juncal, en el departamento del Huila (figura 5), cuenta con un área aproximada de 30 hectáreas y geográficamente con una latitud norte de $2^{\circ}50'$ y longitud oeste de $75^{\circ}20'$ (Saenz & Meza, 2013).

Figura 5. Ubicación de la granja experimental.



La granja experimental está destinada a estudios que realiza la Universidad Surcolombiana en sus diferentes programas académicos, especialmente en el pregrado de

Ingeniería Agrícola y Tecnología en Acuicultura Continental. Se llevan a cabo sistemas agrícolas manejando cultivos de maíz, arroz, y frutales, con intenciones futuras de implementar sistemas piscícolas el cual se encuentran en la fase de diseño, implementación y adecuación de infraestructura.

La granja tiene una extensión de 30 hectáreas (ha), dentro de las cuales 21,7 ha son para uso agrícola, 3,2 ha para frutales como mangos y naranjos, y el resto para maíz y arroz, el cual no se maneja un estándar, pues tienen como base la cosecha del año anterior para rotar y cultivar el número de hectáreas para cada uno; por ejemplo, la distribución de cultivos para los años 2014, 2015 y 2016 se explica en la tabla 5:

Tabla 5. Distribución de cultivos en la granja experimental.

Año	Cultivos		
	Arroz	Maíz	Frutales (Mangos y naranjos)
2014	13 hectáreas	5 hectáreas	3,2 hectáreas
2015	13 hectáreas	5 hectáreas	3,2 hectáreas
2016	18 hectáreas	No se cultiva	3,2 hectáreas

Fuente: (Centro de experimentación, La Granja, 2016)

La clasificación de los cultivos de arroz y maíz, los tienen establecidos por lotes, el cual manejan 3 (A, B y C); su rotación depende de la cosecha y el manejo que se decida internamente. En el año 2016, se tomó un registro fotográfico de la distribución que se tenía en los respectivos lotes (Figura 6) y la zona de frutas (Figura 7). El abastecimiento de agua para el terreno, cultivos y lagos, lo hacen por medio de la concesión que tienen con el distrito de riego de ASOJUNCAL (Asociación de usuarios del distrito de adecuación de tierras a mediana escala-El Juncal), donde capta el agua del río Magdalena y la almacenan en la laguna El Juncal. Este distrito se encuentra en jurisdicción del área rural del municipio de Palermo y cubre una región de 5000 ha. Ellos destinan un caudal para el centro experimental de 3litros por segundo ($3 \text{ L}\cdot\text{s}^{-1}$).

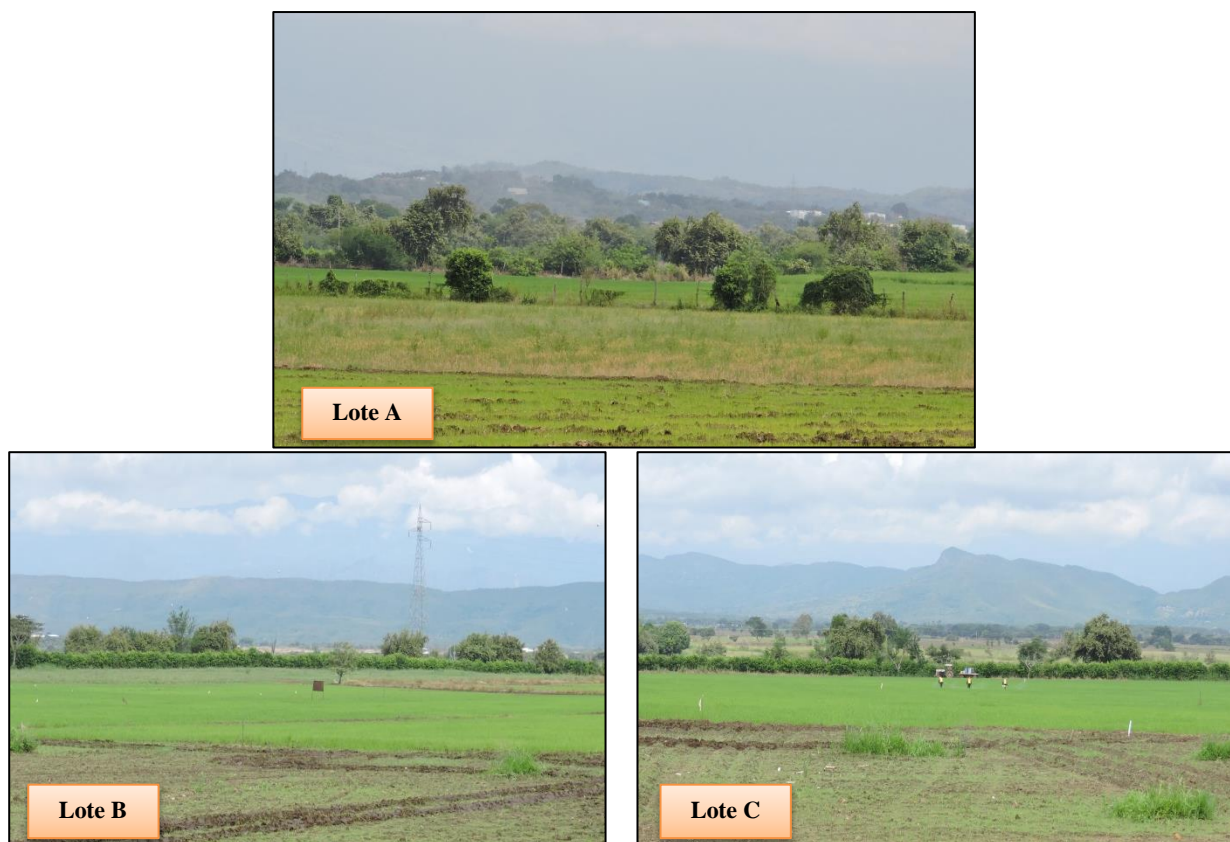


Figura 6. Lotes A, B y C de la granja experimental.



Figura 7. Zona de frutales de la granja experimental.

Se tiene como proyecto nuevo, la implementación del sector piscícola queriendo formar un espejo de agua de 7300 m² conformado por 34 estanques, y su distribución se encuentra a continuación en la tabla 6:

Tabla 6. Caracterización de estanques de la granja experimental.

Peces y Función	Área Promedio (m ²)	Cantidad	Área Total (m ²)
Manejo de reproductores	400	10	4000
Reproductores/Levante	200	12	2400
Manejo en alevinaje	75	12	900
Total		34	7300 m²

Fuente: Universidad Surcolombiana. (Valbuena, 2015)

De las 30 ha que corresponde al complejo de la granja experimental, se destinan 7300 m² para la zona piscícola. Las zonas clasificadas en el lugar de estudio, se encuentran representadas en la figura 8, tanto los lotes destinados al sector agrícola como el sector piscícola.

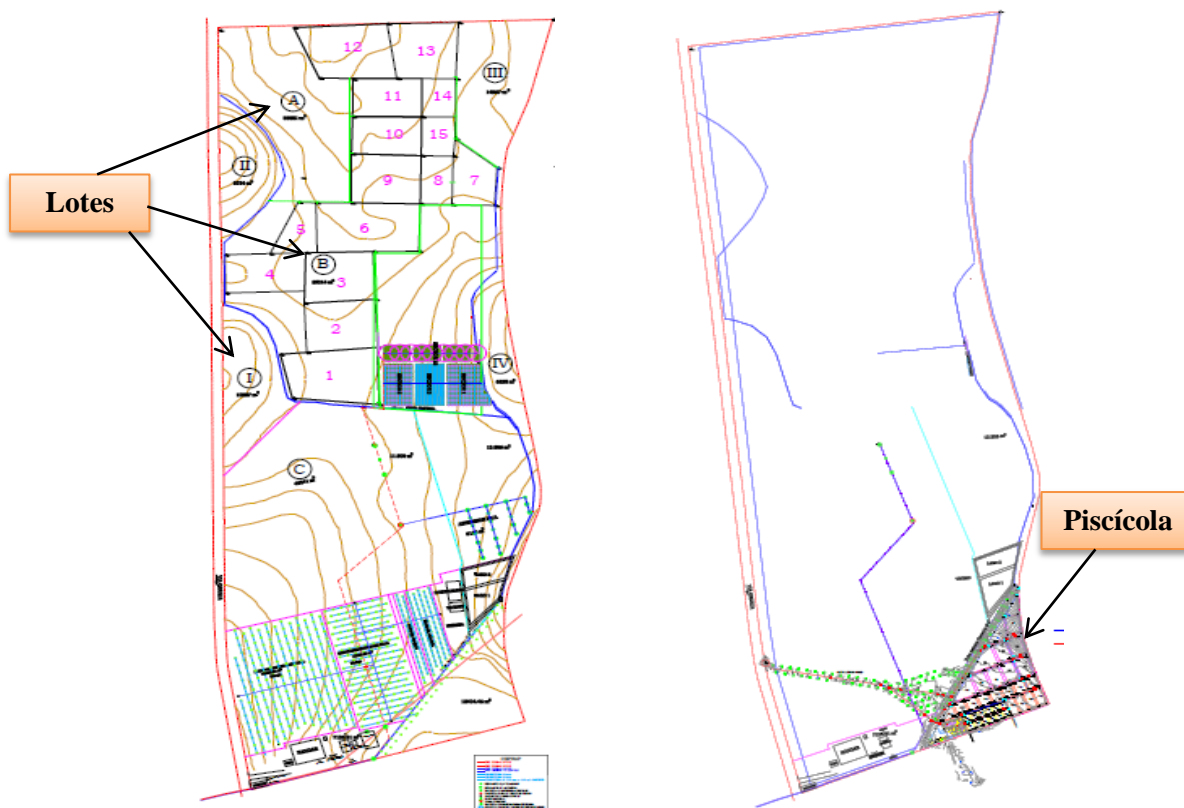


Figura 8. Distribución espacial de la granja experimental.

El sector piscícola, estaba en proceso de implementación de su infraestructura en mayo del 2016, en la etapa inicial de implementación de lagos y levante de peces en lagos pequeños dentro de un recinto controlando todas las variables (centro de peces) y los lagos de áreas más grandes (figura 9).



Figura 9. Sector piscícola en la granja experimental.

El centro de investigación, brindó todo lo pertinente a los componentes a evaluar del proceso agrícola de los años 2014 y 2015, información consolidada en informes (Centro de experimentación, La Granja, 2016), como la cantidad de insumos (fertilizantes, plaguicidas, combustible, agua del distrito de riego, semillas) y mano de obra. Para los valores de los recursos renovables, como brillo solar, precipitación y velocidad del viento, se utilizaron los recolectados por medio de las estaciones meteorológicas cercanas al lugar de estudio (Instituto de Hidrología, 2015), donde sólo se seleccionaron 10 de ellas, pues su información era la más completa.

Existe un valor que fue necesario calcular pues no se tenía exactitud del mismo, y corresponde a la pérdida neta del suelo de la granja, y para hallarla se tiene como base la ecuación denominada “Ecuación Universal de Pérdida de Suelo” (USLE), que permite predecir la cantidad de pérdida de suelo por escurrimiento en áreas específicas bajo determinados sistemas de manejo y cultivos (Corporación Autónoma del Tolima CORTOLIMA, 2013) y se

encuentra establecida a partir de la ecuación 3:

Ecuación 3. Ecuación universal de pérdida de suelo USLE

$$A = R * K * L.S * C * P$$

Dónde:

A, es la pérdida de suelo en $t.ha^{-1}.año$.

R, es el factor erosividad de la lluvia en $Mjmm.ha^{-1}.año$.

K, es el factor erosionabilidad del suelo en $(t/ha)/(Mj.mm.ha^{-1}.h^{-1})$

LS, es el factor longitud-pendiente del terreno.

C, es el factor cobertura y manejo de la vegetación

P, es el factor prácticas de conservación

Muchos de los valores recolectados no se encontraban en las unidades correspondientes para realizar la transformada a energía (joules o gramos), siendo necesario realizarla, y una de la fuente bibliográfica que se tuvo como base fue la investigación realizada en Palmira (Valle del Cauca) por el ingeniero Iván López (2013), para variables como brillo solar, velocidad del viento, precipitación, agua de concesión, pérdida neta de suelo y combustible. Para lograr el valor de la maquinaria en unidades de energía (joule), se tuvo en cuenta la eficiencia de los motores diesel, manejando la eficiencia térmica del 40 por ciento (40%) (Cengel & Boles, 2012).

Fase II. Definición del proceso agrícola como ecosistema.

Se determina la granja experimental de la Universidad Surcolombiana como un ecosistema, pues todas sus partes y recursos necesarios para su proceso habitual, están relacionados entre sí, logrando convertirse en un gran sistema, no sólo agrícola sino también piscícola con el nuevo proyecto en curso, permitiendo graficar el diagrama de flujo de energías.

Para el sector agrícola, se definieron y clasificaron sus ingresos y egresos en términos de recursos:

- Recursos Naturales: Brillo solar, precipitaciones, vientos y agua de la concesión.
- Recursos No renovables: Pérdida de suelo.
- Materiales Renovables: No se tienen en el lugar.
- Materiales No Renovables: Diesel, insumos (fertilizantes y plaguicidas) y semillas.
- Servicio Renovables: Mano de obra.
- Otros Servicio: Maquinaria.

Con respecto al sector piscícola, solo se hizo una proyección de sostenibilidad debido a que es un proyecto en marcha,

Fase III. Cálculos de flujos e indicadores emergéticos

Como se determinó en el marco teórico, el cálculo de los flujos emergéticos se realizaron por medio de conversiones de transformidad, y para ello se tomaron como base diferentes fuentes bibliográficas e investigaciones realizadas referenciadas en los antecedentes, que tienen en cuenta variables y sistemas similares. En cuanto a los indicadores emergéticos, se calcularon tres de ellos solo en el sector agrícola:

- EYR: índice de producción de Emergía.
- ELR: Índice de carga ambiental.
- ESI: Índice de sostenibilidad ambiental.

Cada uno de ellos, brinda un resultado que permite determinar la sostenibilidad ambiental del nuevo ecosistema determinado en la granja experimental.

Para el cumplimiento del tercer y cuarto objetivo específico, se calculó la rentabilidad económica que genera el sistema manejado, queriendo de esta forma realizar un comparativo

entre los recursos utilizados y sus consecuencias con respecto al valor económico.

Para la proyección del sector piscícola, se hizo su cálculo y conversiones energéticas tomando como base los valores de eficiencia de conversión de peces y comida, al igual que la proyección de comida que se maneja en este tipo de producción piscícola.

Fase IV. Análisis de resultados.

Se realizaron los respectivos análisis y conclusiones determinados a partir de los datos recolectados, pues se analiza si la granja es o no sostenible ambientalmente practicando las actividades actuales, y con ello, brindar recomendaciones que permitan mejorar los sistemas internos todo en pro al desarrollo sostenible y sustentabilidad ambiental.

Capítulo III

Resultados y discusión

Las estaciones meteorológicas utilizadas para la recolección de datos de los recursos naturales incidentes, son estaciones aledañas a la granja experimental, donde se tuvieron en cuenta 10 de ellas y en la figura 10 se muestra su ubicación y características (Instituto de Hidrología, 2015).

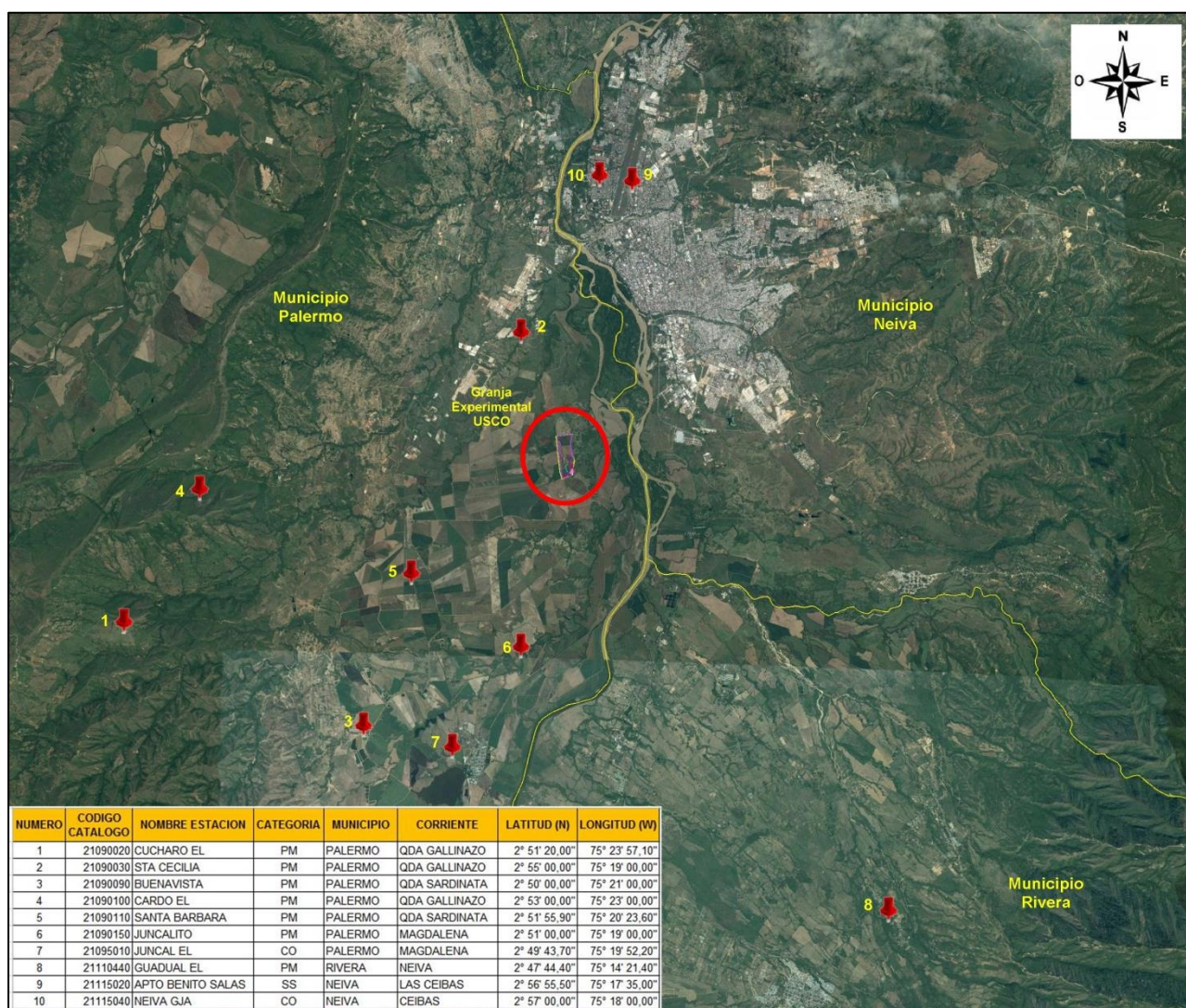


Figura 10. Estaciones meteorológicas aledañas a la granja experimental.

Fuente: (Instituto de Hidrología, 2015)

Tabla 7. Características de estaciones meteorológicas.

#	Código Catalogo	Nombre Estación	Categoría	Municipio	Corriente	Latitud	Longitud
1	21090020	Cucharo El	PM	Palermo	Qda Gallinazo	2° 51' 20,00"	75° 23' 57,10"
2	21090030	Sta Cecilia	PM	Palermo	Qda Gallinazo	2° 55' 00,00"	75° 19' 00,00"
3	21090090	Buenavista	PM	Palermo	Qda Sardinata	2° 50' 00,00"	75° 21' 00,00"
4	21090100	Cardo El	PM	Palermo	Qda Gallinazo	2° 53' 00,00"	75° 23' 00,00"
5	21090110	Santa Barbara	PM	Palermo	Qda Sardinata	2° 51' 55,90"	75° 20' 23,60"
6	21090150	Juncalito	PM	Palermo	Magdalena	2° 51' 00,00"	75° 19' 00,00"
7	21095010	Juncal El	CO	Palermo	Magdalena	2° 49' 43,70"	75° 19' 52,20"
8	21110440	Guadual El	PM	Rivera	Neiva	2° 47' 44,40"	75° 14' 21,40"
9	21115020	Apto Benito Salas	SS	Neiva	Las Ceibas	2° 56' 55,50"	75° 17' 35,00"
10	21115040	Neiva Gja	CO	Neiva	Ceibas	2° 57' 00,00"	75° 18' 00,00"

Fuente: Adaptado de (Instituto de Hidrología, 2015)

El valor correspondiente a la pérdida de suelo del lugar de estudio, se logró tener una base sobre el cálculo de la ecuación universal de pérdida de suelo (USLE), tomando como referencia una investigación realizada por estudiantes de la Universidad Surcolombiana pertenecientes al programa de ingeniería agrícola y dirigida por el ingeniero agrónomo Jairo de Jesús Perea Rivas (1988), donde manejaron los factores L, S, C y P de forma constante con un valor igual a uno, dando lugar a que la pérdida total de suelo tuviera una fuerte relación con el factor lluvia que se ve reflejada a partir del índice de erosión pluvial (EI), haciendo referencia a la interacción de la energía cinética (E) y la intensidad máxima de lluvia (I). La relación en mención, está dada a partir de la ecuación 4:

Ecuación 4. Índice de erodabilidad K.

$$K = \frac{A}{EI}$$

Dónde:

K, factor de erodabilidad

A, pérdida total de suelo

EI, grado de agresividad de un evento pluvial

En la investigación, se halló el factor K y el EI, dando como resultado una mayor relación entre estas dos variables en el evento pluvial número 30 en el factor EI, demostrando que el máximo de intensidad del aguacero se da en 30 minutos (I_{30}) con una energía cinética establecida (E), permitiendo hallar una K real (Gisbert, Ibáñez, & Moreno, 2006). Teniendo como base lo anterior, se puede calcular la pérdida total de suelo, con los siguientes resultados (Guerrero & Rivas, 1988):

$$K = 0,087 \text{ Mg.J}^{-1}$$

$$EI_{30} = 26,90 \text{ J.ha}^{-1}$$

Despejando **A** de la ecuación 4 y reemplazando:

Ecuación 5. Pérdida neta de suelo.

$$A = K * EI$$

$$A = 0,087 \frac{\text{Mg}}{\text{J}} * 26,90 \frac{\text{J}}{\text{ha}}$$

$$A = 2,34 \frac{\text{Mg}}{\text{ha}} = 2340 \frac{\text{g}}{\text{m}^2}$$

Como se mencionaba en la metodología, era necesario adecuar ciertos datos en sus unidades, para que todos se lograran manejar ya sea en unidades de energía (Joules) o de gramos y permitir su posterior transformación a energía (Tabla 8) teniendo como base diversas fuentes bibliográficas. Antes de esta conversión, a ciertos valores se hizo imprescindible realizarle una conversión adicional, como es el valor de la cantidad de agua (de litros por segundo a metros cúbicos) y la cantidad de diesel (de galones a joules). Los valores recopilados de las variables incidentes en los cultivos de maíz, arroz y frutales se presentan en la tabla 8.

Tabla 8. Tabla de conversiones a unidades de Joules o gramos de los recursos utilizados en la granja experimental.

RECURSO	VARIABLES	SIGLA	VALOR	FORMULA	Energía (J/año)			
Brillo Solar	Radiación Promedio	RS (Kwh/m2/año)	1801,7	BS=RS*AT* FC	1,95E+15			
	Área Terrestre	AT (m2)	3,00E+05					
	Factor de Conversión	FC (J/Kwh)	3,60E+06					
Velocidad del Viento	Velocidad Promedio	Vv (m/s/año)	1,64	Ev=Vv*Cat* DA*Cea*Gt* FC*AT*T	6,07E+10			
	Altura de capa atmosférica	Cat (m)	1000					
	Densidad de aire Kg/m3	DA (Kg/m3)	1,3					
	Calor específico del Aire Kcal/Kg-K	CEa (Kcal/Kg-k)	0,24					
	Gradiente de Temperatura K/m	Gt (K/m)	3,00E-09					
	Factor de Conversión	FC (J/Kcal)	4,19E+03					
	Área Terrestre	AT (m2)	3,00E+05					
	Segundos en el año	T	3,15E+07					
	Precipitación	Energía química de lluvia	Eq (J/Kg)			4,94E+03	PQII=Pc*AT *DH2O*Eq* Ev	7,35E+11
		Precipitación anual	Pc (m/año)			0,62		
Densidad del agua		DH20 (Kg/m3)	1000					
Fracción Evapotranspiración		Ev	0,8					
Área Terrestre		AT (m2)	3,00E+05					
Agua de Concesión	Consumo de Agua	CH2O (m3/año)	4,05E+06	MH2=CH2O *DH20	Masa de H2O usada (g/año) 4,05E+12			
	Densidad del Agua	DH2O (g/m3)	1,00E+06					
Perdida de Suelo	Área cultivada Sujeta a Erosión	Ac	217000	EA=Ac*A*M O*(1-MO- H20)*EMO* FC	3,19E+10			
	Pérdida neta de suelos	A (g/m2/año)	2,34					
	Materia Orgánica	MO (%)	1					
	Energía Cont. M.O seca	EMO (Kcal/g)	5					
	Factor de Conversión	FC (J/Kcal)	4186					
	Asumiendo Cont. De agua en M.O	MO-H2O (%)	70					
Diesel	Diesel en Arroz	Dg (Gl)	503,8	Ecuación 7	1,21E+11			
	Diesel en Maíz	Dg (Gl)	333,6					
	Diesel en Mangos	Dg (Gl)	13					
	Factor de conversión Julios	MJ/kg	45,65					
	Densidad de Diesel	Kg/m3	832					
Fertilizantes	Fertilizantes Total en 21 Ha (g/Ha)	Arroz	43140,6	F=Arroz + Maíz + Mangos	Fertilizantes (g/año) 56092,95			
		Maíz	11077					
		Mangos	1875,35					
Maquinaria	Diesel Energía total	Dt (J)	1,2107E+11	M=Dt*ET	4,84E+10			
	Promedio de Eficiencia Termodinámica de los motores Diesel	ET (%)	40%					

Ecuación 6. Conversión de unidades de diesel.

$$D = Dg * \left(\frac{0,00378m^3}{1gl}\right) * \left(\frac{832kg}{m^3}\right) * \left(\frac{45,64MJ}{kg}\right) * \left(\frac{10^6J}{MJ}\right) = 1,21E + 11$$

Con respecto a la información recopilada de los ingresos y egresos económicos del sistema agrícola (arroz, maíz y frutales), se enseñan en la tabla 9 correspondiente a los años 2014 y 2015.

Tabla 9. Ingresos y egresos en la granja experimental.

Año	Valor económico		
	Ingresos	Egresos	Total
2014	\$ 113.205.014,13	\$ 145.957.586,00	\$ 236.629.219,24
2015	\$ 123.424.205,12	\$ 177.404.082,00	\$ 323.361.668,00

Fuente: (Centro de experimentación, La Granja, 2016)

Asumiendo los valores de los recursos necesarios para la producción agrícola, se procede a determinar este sector como sistema de relación de sus componentes por medio del diagrama de flujo de energía (figura 11), identificando los recursos de entrada y salida, esquematizando las interacciones, intercambios de energía, y mostrando los componentes no sólo biofísicos sino también, los económicos. El sistema agrícola cuenta con la interacción de tres tipos de cultivos que corresponden al maíz, arroz y frutales como mangos y naranjos que se referencian en el diagrama, adicionando el nuevo proyecto que corresponde al sector piscícola.

Anualmente, la granja genera dos recolectas de todos los cultivos incluyendo los frutales, generando ingresos para la Universidad Surcolombiana, que brinda un valor agregado a la investigación y adicional, creando empleo en el sector.

a una pérdida de suelo, así que es necesario especificarlo en el diagrama y tenerse en cuenta para la determinación de la sostenibilidad ambiental. El factor económico es imprescindible para adquirir muchos de estos insumos, así que es necesario relacionarlos entre sí en el diagrama, como lo es el agua, insumos, combustible diesel, semillas para cultivos de arroz y maíz, maquinaria, mano de obra (jornada laboral del hombre) y el alimento del sector piscícola. Por último, como es bien conocido y referenciado en el marco teórico, todo proceso a nivel energético, producirá un gasto de energía y otro tanto de energía se disipa, así que se tiene en cuenta en el diagrama y se observa al final.

Cuando se analiza el diagrama (figura 11), se observa una clara relación de todo el sistema con el agua que brinda la concesión, pues todas las actividades agrícolas necesitan de este componente para su procedimiento normal y óptimo. La pérdida de suelo, se considera la principal consecuencia de todas las actividades en conjunto, como: uso de fertilizantes, plaguicidas, acciones para adecuación del terreno y su posterior siembra, y todo lo que conlleva las actividades piscícolas, dando lugar a que el suelo poco a poco vaya perdiendo sus propiedades y facultades para usos futuros. Algo importante por resaltar en toda la dinámica agrícola es la presencia del ser humano, que aunque se utilice la maquinaria y nuevas técnicas que dan mayor productividad a los sistemas, siempre será la mano de obra ofrecida por el hombre, quien le dé el valor agregado y necesario de obtención de productos de calidad.

Ya teniendo determinada la granja experimental como sistema, se procede a calcular los valores a nivel emergético (tabla 10), por medio de la transformidad pertinente teniendo como base la unidad de emergía (energía solar por joules), utilizando diferentes fuentes bibliográficas que permitan calcular los índices emergéticos, los cuales determinan la sustentabilidad ambiental. En la tabla 10, se muestran 6 columnas, donde la primera corresponde a los recursos

utilizados en el sistema agrícola, la segunda columna es la unidad, la tercera corresponde a la cantidad de cada recurso, cuarta, el valor de transformidad de la unidad del recurso a emergía, la quinta columna pertenece a la fuente bibliográfica que se tomó como base para el valor de transformidad y por último, la sexta corresponde al valor del recurso en unidades de emergía, el cual se obtiene multiplicando el valor de la columna tres y cuatro.

Tabla 10. Conversiones de los recursos utilizados en la granja experimental a unidades de emergía (seJ)

Ítem (1)	Unidad (2)	Cantidad Neta (3)	Transformidad (seJ/unidad) (4)	Fuente bibliog. Emergía (5)	Emergía (seJ/año) (6=3x4)
Brillo Solar	J/año	1,95E+15	1	(López, et al., 2013)	1,95E+15
Velocidad del Viento	J/año	6,07E+10	2,51E+03	(Odum, 1996)	1,52E+14
Precipitación	J/año	7,35E+11	3,05E+04	(Odum, 1996)	2,24E+16
Agua de Concesión	g/año	4,05E+12	3,76E+06	(Romitelli, 2000)	1,52E+19
Pérdida de Suelo	J/año	3,19E+10	1,23E+05	(Odum, 1996)	3,92E+15
Diesel	J/año	1,21E+11	1,10E+05	(Bastianoni, Campebell, Riodolfi, & Pulselli, 2009)	1,33E+16
Fertilizantes	g/año	56092,95	8,28E+09	(Ulgiati, Odum, & Bastianoni, 1994)	4,64E+14
Maquinaria	J/año	4,84E+10	6,70E+09	(Coelo, Ortega, & Comar, 1996)	3,24E+20
Pesticidas - Plaguicidas	g/año	3,69E+07	1,48E+10	(Zhang, et al., 2015)	5,48E+16
Semillas	g	9,05E+6	2,08E+09	(Cavalett, et al., 2006)	1,88E+16
Mano de Obra	h	4358	6,99E+12	(Ferreira, et al., 2010)	3,05E+16

Cuando se observan los resultados obtenidos en la tabla 10, se referencia un valor elevado del gasto de energía solar para la producción del agua captada de la concesión y para la maquinaria, correspondiente a 1,52E+19 seJ y 3,24E+20 seJ respectivamente, considerándose que la primera variable (agua) es indispensable en los sistemas agrícolas, en especial para el cultivo del arroz (Degiovanni, Martínez, & Motta, 2010) y es el cultivo base de los terrenos en

estudio, adicional, el consumo de este recurso para este sector es más del 65% del agua potable, debido a su sistema de riego el cual no se considera un sistema eficiente (Aguilera, Hernández, Mendieta, & Herrera, 2012). Con respecto al segundo valor que hace referencia al de la maquinaria, corresponde a un valor elevado ya que ellas trabajan a base de combustible diesel que genera una mayor combustión y su fuente principal son los combustibles fósiles, y como se referenciaba en el marco teórico, para producir un poco de esta sustancia, se necesita mucha transformación de energía solar.

Ya teniendo los datos en unidades emergéticas, se clasifican los recursos utilizados en la granja (tabla 11), que permiten calcular los índices emergéticos para determinar la sostenibilidad ambiental en el sistema agrícola. Se tuvieron en cuenta tres índices: índice de producción de energía (EYR), índice de carga ambiental (ELR) e índice de sostenibilidad Emergética o ambiental (ESI).

Tabla 11. Ecuaciones y clasificación de los recursos para cálculo de los índices emergéticos.

Ecuación Emergética	Siglas	Clasificación en Granja Experimental
$Y = I + F$	Y: Total de energía	
	I: Contribución Natural	
	F: Retroalimentación económica	
$I = R + N$	R: Recursos Naturales	Brillo Solar, Precipitaciones, Viento y Agua de la concesión.
	N: Recursos No renovables	Pérdida de Suelo
$F = M + S$	M: Materiales	
	S: Servicios	
$M = M_R + M_N$	M_R: Materiales Renovables	No hay en el lugar de estudio
	M_N: Materiales No Renovables	Diesel, Insumos (fertilizantes y plaguicidas) y semillas.
$S = S_R + S_N$	S_R: Servicios Renovables	Mano de Obra
	S_N: Otros servicios	Maquinaria

Fuente: Adaptado de (Cavalett, et al., 2006)

La tabla 12 corresponde al cálculo de índices emergéticos, a través de las ecuaciones referenciadas en el marco teórico (tabla 3).

Tabla 12. Índices emergéticos

	Flujos e índices Emergéticos	Flujo de Emergía	Unidades
Y	Total de emergía	3,39E+20	seJ/año
I	Contribución Natural	1,52E+19	seJ/año
F	Retroalimentación económica	3,24E+20	seJ/año
R	Recursos Naturales	1,52E+19	seJ/año
N	Recursos No renovables	3,92E+15	seJ/año
M	Materiales	8,74E+16	seJ/año
S	Servicios	3,24E+20	seJ/año
M_R	Materiales Renovables	---	---
M_N	Materiales No Renovables	8,74E+16	seJ/año
S_R	Servicios Renovables	3,05E+16	seJ/año
S_N	Otros servicios	3,24E+20	seJ/año
EYR	Índice de producción de Emergía	1,05	
ELR	Índice de carga ambiental	21,24	
ESI	Índice de sostenibilidad ambiental	0,05	

Los índices emergéticos tienen un fin en particular, analizar la sostenibilidad ambiental del sector agrícola en la granja experimental, y sus resultados demuestran que el sistema que manejan no es sustentable con el tiempo, pues cada año que pasa se hace más evidente que el uso excesivo de agroquímicos y de agua para el riego no es sólo uno de los mayores contribuyentes para una contaminación concentrada y específica, sino también es insostenible por la pérdida de suelo y recursos naturales (Gliessman, 2002).

Para definir la rentabilidad económica se manejó la ecuación de rentabilidad (Ortega & Miller, 2003), que permite determinar y analizar el beneficio económico que tiene el sistema agrícola en los dos años analizados, y sus resultados se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Rentabilidad económica del sistema agrícola

Rentabilidad Económica (Re)	Variables	Valor	Ecuación	Rentabilidad Económica %
Costos	C (\$)	236629219,24	$RE (\%) = (V-C) / C$	37%
Ventas	V (\$)	323361668,00		

La tabla 13, demuestra que la granja experimental presenta una rentabilidad económica para los años 2014 y 2015 del 37%, referenciando de esta manera poco beneficios económicos, ya que los recursos monetarios que se recolectan en comparación con los ingresos, no son suficientes y justificables, que den lugar a una sostenibilidad económica con el tiempo. Así mismo, este porcentaje es considerado un valor resultante de la alza de precios en los insumos utilizados en el sector agrícola, pues la maquinaria que trabaja con combustible diesel sería la mayor representación de alza, y Colombia se considera uno de los países con mayor incremento de precios en combustibles fósiles y petróleo, teniendo implicaciones directas en los costos de producción de alimentos, especialmente en insumos como fertilizantes y combustible (Degiovanni, et al., 2010), siendo necesario buscar otras fuentes, que no sólo contribuyan a un rendimiento económico mayor sino también, a una eficiencia ambiental favoreciendo el desarrollo sostenible del hombre, pues es importante reconocer que si se incluye una economía orgánica que corresponde al uso de energía renovables teniendo como fuente principal el sol (energía), dará lugar a la regulación del funcionamiento y perdurabilidad del sector agrícola (Gonzalez, 1993).

Para realizar la proyección de sustentabilidad ambiental por medio de energía en el sector piscícola, se tomaron en cuenta dos valores brindados por la Universidad Surcolombiana (Valbuena, 2015), que hace referencia al consumo de concentrado anual y a la eficiencia de conversión del alimento a peces. Los datos son los siguientes:

- Consumo Concentrado= 3 Ton/año
- Eficiencia en la conversión de alimento a peces= 1,5

Teniendo como base el equivalente energético de la comida para peces (Fernández Borrás & Blasco Mínguez, 1993), se debe tener un balance energético por cada porción de alimento, 40% de proteínas, 15% de lípidos y el 30% en carbohidratos, siendo el restante un porcentaje despreciable por su aporte energético; partiendo desde este punto y como referencia las 3 toneladas por año que se pretenden utilizar en la granja, se obtienen las siguientes proporciones:

Tabla 14. Conversión de fuente energética.

Fuente Energética	Conversión	Unidad
Proteína	1200	Kg
Lípidos	450	Kg
carbohidratos	900	Kg
Total	2550	Kg
	2550000	g

A partir de la eficiencia de conversión de alimento a peces, se obtiene lo siguiente:

$$\frac{3 \text{ Ton de alimento}}{1,5} = 2 \frac{\text{Ton peces}}{\text{año}}$$

No se puede tomar la cantidad de peces directamente, ya que es un factor de conversión, así que se trabaja a partir de la composición química del pescado (Henrik, 1998) el cual corresponde a 21% de proteínas, 25% de lípidos y 28% de agua, donde este último se omite porque el alimento que se le brindará, no la provee; y los resultados de la conversión son:

Tabla 15. Composición química de los peces

Composición química	Conversión	Unidad
Proteína 21%	420	Kg
Lípidos 25%	500	kg
Total	920	Kg
	920000	g

Ya teniendo los valores anteriores y las unidades pertinentes, se procede a realizar las conversiones a emergía.

Tabla 16. Conversiones a unidades de energéticas del sector piscícola.

Ítem (1)	Unidad (2)	Cantidad Neta (3)	Transformidad (seJ/unidad) (4)	Fuente bibliog. Emergía (5)	Emergía (seJ/año) (6=3x4)
Peces	g/año	920000	2,78E+11	(Ulgiati, et al, 1994)	2,56E+17
Comida de peces	g/año	2550000	6,08E+09	(Cavalett, et al., 2006)	1,55E+16

En la tabla 16 se expresan los resultados en unidades energéticas de una proyección de la cantidad de peces (2,56E+17 seJ) y el alimento (1,55E+16 seJ) para mantener este sistema piscícola durante un año en la granja experimental. Ahora bien, si lo que se busca es una sustentabilidad futura, es necesario tener como base una recirculación de agua, de tal forma que varios estanques no use la misma agua, pues generaría problemas sanitarios o de supervivencia en estos animales, representando uno de los problemas actuales que enfrentan los sistemas piscícolas, considerando que el desarrollo óptimo de los mismos dependerá directamente de la calidad y cantidad del agua disponible (Joaquí, 2011), donde el último factor genera bajo tiempo de recambio y baja velocidad del agua, sumando una sobrepoblación de los espacios de cultivo. Es imprescindible reconocer que aunque el agua es la clave para la sostenibilidad de sistemas piscícolas, el uso de este recurso natural en grandes cantidades, representa un gran impacto medio ambiental, pues este líquido además de ser el vital para todo ser humano, su disponibilidad y oferta con las características necesarias para su consumo, son escasas y su uso sostenible y adecuado es el pilar de toda actividad del hombre (Hahn, Quintero, & Grajales, 2016), así que se hace necesario la inclusión de actividades que trabajen en pro a la conservación del medio ambiente, en especial el sector piscícola.

Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

El sistema agrícola de la granja experimental se reconoce como un sistema de relación de sus partes tanto de entradas, procesos y salidas, no sólo económico sino de recursos ambientales y alimentarios, demostrando que para producir arroz, maíz y frutales, es necesario utilizar recursos naturales renovables como el sol, viento y lluvia, recursos naturales como lo es el agua, y recursos no renovables como la maquinaria e insumos que tienen como fuente los combustibles fósiles.

Al observar los resultados y teniendo como base la interpretación de los índices, se obtiene que la fuente de energía utilizada en el sistema es secundaria ya que el valor del índice de producción de energía es de 1,05; con respecto al índice de carga ambiental, se tiene un valor de 21,24 fuera del límite considerable para el impacto ambiental generado, señalando un impacto considerable por parte de las actividades realizadas en el centro de investigación; por último, el índice de sostenibilidad ambiental, corresponde a un valor de 0,05 demostrando que la granja no es sustentable con el pasar del tiempo.

En términos económicos, se demuestra que para obtener una ganancia, que por cierto no es muy grande, es necesario una inversión, y que en algunos sistemas hay pérdidas, y este sistema no será la excepción, obteniendo un rendimiento económico de sólo el 37% y en términos ambientales, se pierden las propiedades del suelo y gran cantidad de agua, que no se le brinda una reutilización.

A partir de los flujos energéticos en conjunto con sus índices, se determina que la granja experimental manejando sus actividades como lo han hecho hasta ahora, no es sostenible

ambientalmente y muy poco rentable económicamente, siendo necesario re direccionar las funciones o actividades llevadas en la misma.

Recomendaciones

Cuando el sistema piscícola de la granja experimental esté en funcionamiento, es importante incluirlo en los análisis emergéticos, de tal forma que se considere el gasto general de todos los recursos necesarios para sus actividades, pues el funcionamiento del mismo, utilizará más agua y otros insumos que su formación parte de la emergía.

Sería pertinente, que teniendo como base este estudio, se realizara otro dentro de unos cuatro años de tal forma que se pueda analizar las diferencias, los resultados sean más concretos y se puedan comparar si se han hecho cambios o no en cuanto a pérdidas o ganancias. De igual forma, es importante que con base a los resultados de sustentabilidad ambiental a la granja, se tomaran medidas correctivas y/o preventivas, que permitan actividades sostenibles con el medio ambiente, logrando una renovación en el uso del suelo agrícola a partir de modelos exitosos en la producción de alimentos. Sería conveniente incluir los modelos que se utiliza en el lugar de estudio con respecto a la adecuación de terreno entre cosecha y siembra, pues es sabido que en el departamento del Huila aún está muy latente por parte de la comunidad campesina, el uso de las incendios controlados, el cual da lugar a la contaminación del aire y riesgos para incendios forestales, así que si se incluyera en el análisis emergético, se podría comparar sus emisiones con las estipuladas y aceptadas en la normatividad legal colombiana en cuanto al tema.

La metodología demuestra ser eficiente para el análisis de sistemas dándole valor a los recursos ambientales y sus gastos, de tal forma que se recomienda replicarlo en otros campos que dé lugar a creación de conciencia de los consumos ambientales en cada proceso que realiza el hombre, y permita siempre trabajar en un marco de desarrollo sostenible, pues este objetivo se

está manejando desde el siglo pasado y aún existen actividades antrópicas que no lo consideran pertinente; además, la metodología emergética se utiliza constantemente en otros países tal como se ha referenciado en los antecedentes, pero en Colombia es poco usual, así que este trabajo puede ser punto de partida, para que se inicien estudios de sustentabilidad ambiental a través de este camino y se contribuya al conocimiento científico de la temática, contribuyendo a países internacionales.

Bibliografía

- Agostinho, F., & Pereira, L. (2013). Support area as an indicator of environmental load: Comparison between Embodied Energy, Ecological Footprint, and Emergy Accounting methods. *Ecological Indicators*, 494-503.
- Aguilera Morales, M. E., Hernández, S. F., Mendieta Sánchez, E., & Herrera Fuentes, C. (2012). Producción Integral Sustentable de Alimentos. *Ra Ximhai*, 71-74.
- Álvarez, L., Rodríguez, M., & Montes, C. (2006). La Síntesis Emergética ("Emergy Synthesis") integrando energía, ecología y economía. *Universidad Autónoma de Madrid*.
- Bastianoni, S., Campebell, D. E., Riodolfi, R., & Pulselli, F. M. (2009). *The solar transformity of petroleum fuels*. Ecological Model.
- Benzi, P., & Ferraro, D. O. (2014). *Evaluación histórica del consumo de bienes ecológicos y económicos en un ecosistema agrícola pampeano: el uso de la emergía como indicador sistémico de sustentabilidad*. Córdona, Argentina.
- Bertalanffy, L. V. (1993). *Teoría General de los Sistemas: Fundamentos, Desarrollo, Aplicaciones*. México: Fondo de Cultura Económica.
- Bravo, B., & Jiménez, M. P. (2014). Articulación del uso de pruebas y el modelo de flujo de energía en los ecosistemas en argumentos de alumnado de bachillerato. *Enseñanza de las Ciencias*, 425-442.
- Buitrago, C. E. (2014). *Sostenibilidad del Páramo de Guerrero. Una aproximación desde la emergía*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.

- Cavalett, O., Ferraz, J., & Ortega, E. (2006). Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farm in the South Brazil. *Ecological Modelling*, 205-224.
- Cengel, Y. A., & Boles, M. A. (2012). *Termodinámica*. México D.F.: Interamericana Editores S.A. de C.V.
- Centro de experimentación, La Granja. (2014-2015). *Informes anuales de actividades de la Granja Experimental*. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Chag, L.-F., & Huang, S.-L. (2015). Assessing urban flooding vulnerability with an emergy approach. *Landscape and Urban Planning*, 11-24.
- Coelo, O., Ortega, E., & Comar, V. (1996). *Balanço Emergía Do Brasil*. Brasil.
- Contreras, R. (9 de Mayo de 2014). *La guía, Biología*. Recuperado el 6 de Enero de 2017, de <http://biologia.laguia2000.com/ecologia/cadena-trofica>
- Corporación Autónoma del Tolima CORTOLIMA. (2013). Pérdida de Suelos. En *Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Hidrográfica mayor del Río Totare* (págs. 820-853). Ibagué: CORTOLIMA.
- Cuadra, M., & Rydberg, T. (2006). Emergy evaluation on the production, processing and export of coffe in Nicaragua. *Ecological Modelling*, 421-433.
- Curtis, H., & Schnek, A. (2015). *Biología de Curtis Séptima edición*. Panamericana.
- Degiovanni, V., Martínez, C. P., & Motta, F. (2010). *Producción Eco-Eficiente del Arroz en América Latina*. Cali, Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical.

- Fang, D., Chen, S., & Chen, B. (2015). Emergy analysis for the upper Mekong river intercepted by the Manwan hydropower construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 899-909.
- Fernández Borrás, J., & Blasco Mínguez, J. (Septiembre de 1993). Alimentación y Energética de la nutrición en peces: Generalidades. En F. Castello Orvay, *Acuicultura Marina: fundamentos biológicos y tecnología de la producción* (págs. 177-194). Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Ferreira, O., Hurtado, M. d., García, E., & Bonilla, C. R. (2010). Emergía de tres sistemas agroforestales en el sur del municipio de Lempira, Honduras. *Acta Agronómica*, 327-337.
- Gianneti, B. F., Ogura, Y., Bonilla, S. H., & Almeida, C. V. (2011). Accounting Emergy Flows to Determine the Best Production Model of a Coffe Plantation. *Elsevier*, 7399-7407.
- Giannetti, B. F., Ogura, Y., Bonilla, S., & Almeida, C. V. (2011). Emergy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. *Agricultural Systems*, 679-688.
- Giannetti, B., Ogura, Y., Bonilla, S. H., & Almeida, C. V. (2011). Accounting emergy flows to determine the best production model of a coffe plantation. *Energy Policy*, 7399-7407.
- Gisbert Blanquear, J. M., Ibáñez Asensio, S., & Moreno Ramón, H. (2006). *El factor K de la ecuación universal de pérdidas de suelo (USLE)*. España: Universidad Politecnica de Valencia.
- Gliessman, S. R. (2002). *Agroecología: Procesos Ecológicos en Agricultura Sostenible*. Costa Rica: LITOCAT.

- Gonzalez de Molina, M. (1993). La funcionalidad de los poderes locales en una economía orgánica. *Noticiario de Historia Agraria*, 9-23.
- Guerrero Bermeo, E., & Rivas Aquile, J. L. (1988). *Determinación del índice de erodabilidad K en suelos de la granja "La Universidad" de la cuenca alta del río Magdalena*. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Guisellini, P., Zucaro, A., Viglia, S., & Ulgiati, S. (2014). Monitoring and evaluating the sustainability of italian agricultural system. An emergy decomposition analysis. *Ecological Modelling*, 132-148.
- Hahn-von-Hessberg, C., Quintero, H. E., & Grajales Quintero, A. (2016). Desarrollo e implementación de una Noria modificada como propuesta Sostenible de Recirculación de agua para un estación Piscícola. *Luna Azul*, 185-200.
- Henrik Huss, H. (1998). *El pescado fresco: su calidad y cambios de calidad*. Roma: Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación.
- Hulsbergen, K. J., Feil, B., Biermann, S., Rathke, G. W., Kalk, W. D., & Diepenbrock, W. (2001). A method of energy balancing in crop production and its application in a long-term fertilizer trial. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 303-321.
- Instituto de Hidrología, M. y. (2015). *Informe de Estaciones de Influencia, Granja Universidad Surcolombiana*. Neiva, Huila.
- Joaquí Daza, S. (2011). Gestión Ambiental para Sistemas productivos piscícolas, en ecosistemas altoandinos en el contexto de la producción más limpia. *Ambiente y Sostenibilidad*, 18-24.

- Le Corre, O., & Truffet, L. (2015). Emergy paths computation from interconnected energy system diagram. *Ecological Modelling*, 181-200.
- Le Corre, O., Truffet, L., & Lahlou, C. (2015). Odum-Tennenbaum-Brown calculus vs emergy and co-emergy analysis. *Elsevier*, 9-12.
- López, I. D., & Rodríguez, J. (2013). Análisis Energético de la Sostenibilidad Ambiental del Municipio del Palmira (Colombia). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 67-96.
- Lu, H., Bai, Y., Ren, H., & Campbell, D. E. (2010). Integrated emergy, energy and economic evaluation of rice and vegetable production systems in alluvial paddy fields: Implications for agricultural policy in China. *Journal of Environmental Management*, 2727-2735.
- Lu, H., Yuan, Y., Campbell, D. E., Qin, P., & Cui, L. (2014). Integrated water quality, emergy and economic evaluation of three bioremediation treatment systems for eutrophic water. *Ecological Engineering*, 244-254.
- Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Hashem, S., & Nonhebel, S. (2014). Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 724-733.
- Moncada, J. (2012). *Sostenibilidad en Colombia, Casos Empresariales 2011*. Bogotá: Consejo Empresarial Colombiano para el Desarrollo Sostenible CECODES.
- Moreno, M. M., Lacasta, C., Meco, R., & Moreno, C. (2011). Rainfed crop energy balance of different farming system and crop rotations in a semi-arid environment: Results of a long-term trial. *Soil & Tillage Research*, 18-27.
- Odum, H. (1988). *Environmental Systems and Public Policy*. Florida: University of Florida.

- Odum, H. (1996). *Environmental accounting, emergy and decision making: Emergy evaluation*. Florida: University of Florida.
- Odum, H. T., Odum, E. C., & Brown, M. T. (1997). *Environmental and Society in Florida*. Florida, USA: University of Florida.
- Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO. (2001). *Sistemas de producción agropecuaria y pobreza*. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación FAO.
- Ortega, E., & Miller, M. (2003). Comparison of Ecological and Agro-Chemical soybean cultivars using Emergy analysis Hypothesis and first results. *Facultad de Ingeniería de Alimentos*.
- Pang, M., Zhang, L., Ulgiati, S., & Wang, C. (2014). Ecological impacts of small hydropower in China: Insights from an emergy analysis of a case plant. *Energy Policy*.
- Peltzer, P. M., Lajmanovich, R. C., Attademo, A. M., & Cejas, W. (2005). Diversidad y conservación de anuros en ecosistemas agrícolas de Argentina: implicaciones en el control biológico de plagas. *INSUGEO*, 399-416.
- Quiroga, R. (2001). *Indicadores de sostenibilidad ambiental y de desarrollo sostenible: estado dell arte y perspectivas*. Santiago de Chile: División de Medio Ambiente y Asentamientos Humanos.
- Romitelli, M. S. (2000). *Emergy analysis of the New Bolivia – Brazil Aas pipeline; In Emergy Sinthesis: Theory and Applications of the Emergy Methodology*. Gainesville, Florida.: Universidad de Florida.

- Saenz Quiroga, G. A., & Meza Mendoza, L. A. (2013). *Diseño y montaje de un invernadero de control local automatizado para el cultivo de tomate (Solanum Lycopersicum) variedad larga vida en la granja experimental Universidad Surcolombiana*. Neiva - Huila: Universidad Surcolombiana.
- Saravia, A. (1985). *Un enfoque de sistemas para el desarrollo agrícola*. San José, Costa Rica: Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura.
- Sayoko, E., & Ortega, E. (2014). Exploring the sustainable horticulture productions systems using the emergy assessment to restore the regional sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 1-8.
- Scott, W. G. (1963). *Organization Theory: An Overview and an Appraisal*. Nueva York: J. Litterer.
- Siche, R., Ortega, E., & Rodríguez, H. (2006). Contabilidad de la Huella Ecológica basada en la Emergía - Caso Peruano. *ECIPERU*, 22-24.
- Tennenbaum, S. E. (2014). Emergy and co-Energy. *Ecological Modelling*.
- Tennenbaum, S. E. (2015). Odum-Tennenbaum-Brown calculus vs Emergy and co-Emergy. *Ecological Modelling*, 333-340.
- Torrente, A. (2014). *El Suelo, Origen y Propiedades*. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Ulgiati, S., Odum, H. T., & Bastianoni, S. (1994). Emergy use, environmental loading and sustainability: An emergy analysis of Italy. *Ecological Model*, 215-268.

- Valbuena, R. D. (2015). *Informe Proyecto Piscicola en Granja Experimental*. Neiva: Universidad Surcolombiana.
- Vitória, E. L., & Paraguassú, J. (2016). Emergy efficiency analysis of sugarcane as a raw material for ethanol production. *Ciencia Agronómica*, 616-623.
- Wang, Q., Yuan, X., Cheng, X., Mu, R., & Zuo, J. (2014). Coordinated development of energy, economy and environment subsystems - A case study. *Ecological Indicators*, 514-523.
- Wang, X., Chen, Y., Sui, P., Gao, W., Qin, F., Zhang, J., y otros. (2014). Emergy analysis of grain production system on large-scale farm in the North China Plain based on LCA. *Agriculture Systems*, 66-78.
- Zhang, L. X., Song, B., & Chen, B. (2012). Emergy-based analysis of four farming systems: insight into agricultural diversification in rural China. *Journal of Cleaner Production*, 33-44.
- Zhang, X.-H., Zhang, R., Wu, J., Zhang, Y.-Z., Lin, L.-L., Deng, S.-H., y otros. (2015). An emergy evaluation of the sustainability of Chinese crop production system during 2000-2010. *Ecological Indicators*, 622-633.