



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Análisis exergético a sistemas de producción de café y su relación con la sustentabilidad

Mauricio García Arboleda

Universidad Nacional de Colombia

Doctorado en Agroecología

Palmira, Colombia

2015

Análisis exergético a sistemas de producción de café y su relación con la sustentabilidad

Mauricio García Arboleda

Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:

PhD en Agroecología

Directora:

PhD., Nancy Barrera

Línea de Investigación:

Agroecología Aplicada

Grupo de Investigación:

Exergía

Universidad Nacional de Colombia

Doctorado en Agroecología

Palmira, Colombia

2015

A mis padres

A mi compañera Alejandra

A mi hijo

Agradecimientos

El autor expresa sus más sinceros agradecimientos a los diferentes académicos e investigadores que brindaron apoyo en cada uno de los componentes de este arduo trabajo en especial a las siguientes personas:

Profesora Nancy Barrera PhD.

Profesor Gabriel de la Cruz M.Sc

Profesor Martin Prager PhD.

Jaime Eduardo Muñoz PhD.

Universidad del Tolima

Pedro Galeano-Laboratorio de entomología

Universidad de Ibague

Hector Mauricio Hernandez PhD (C) Laboratorio de Termodinamica

Agustin Valverde Granja PhD (C) Laboratorio de Termodinamica

Igualmente Agradecer la valiosa colaboración de los propietarios de los predios de la vereda la Marcada del municipio del Libano, en los que se desarrollo la investigación, como son, el señor Omar Arango de la finca San Luis, el señor Alexis Rodriguez de la finca el Triunfo y el señor Jose Coca de la finca San Felipe.

Resumen

Durante el año 2014, en tres fincas de la vereda La Marcada, municipio del Líbano (Tolima) que emplean tres sistemas de producción del cultivo de café: Convencional, Mixto y Orgánico, se realizó mediante su disposición en transectos, cuadrantes y épocas de lluvias o sequía, una investigación para encontrar los índices de Shannon y Simpsons, la exergía de estos sistemas y su relación con la sustentabilidad, basado, de un lado en las biomásas de arvenses, de lombriz de tierra y número de artrópodos, y de otro lado en la composición química de tejidos y suelo, junto a la valoración de los poderes calóricos de los insumos empleados o producidos por las fincas; se identificaron taxonómicamente las especies recolectadas; se hicieron análisis de varianza con algunos parámetros (biomásas por separado frente las épocas de lluvias y sequía), al igual que se hizo un análisis multivariado mediante una regresión lineal múltiple, el cual arrojó una ecuación lineal que predice, en un 71%, el contenido de carbono orgánico total a partir de la biomasa de lombrices y el número de artrópodos; se calculó la exergía para las tres fincas y se hizo el balance exergético; finalmente se valoraron los indicadores de sustentabilidad, arrojando valores superiores el sistema de producción orgánico, seguido del sistema mixto, en general para los índices hallados: exergía de salida/entrada, índice de Shannon, índice de exergía de abatimiento, costos exergo ecológico e índice financiero, principalmente.

Palabras claves: exergía, sustentabilidad, biomasa, índice de Shannon, exergía de abatimiento, costo exergo ecológico, poder calórico.

Abstract

During 2014, three farms in the village of La Marcada municipality Libano (Tolima) that use three systems of crop production Coffee: Conventional, Mixed and Organic, was performed using available transects, quadrants and rainy seasons or drought, an investigation to find Shannon and Simpson indices, the exergy of these systems and their relationship to sustainability, based on the one hand in the biomass of weeds, earthworm and number of arthropods, and secondly in the chemical composition of tissues and soils by assessing the caloric power of the inputs used or produced by the farms; the collected species are taxonomically identified; analysis of variance with some parameters (biomass separately against the rainy and drought) were made, as well as multivariate analysis was made using multiple linear regression, which showed a linear equation that predicts 71%, the total organic carbon from the biomass of earthworms and arthropods number; Exergy for three farms was calculated and the exergy balance was made; finally sustainability indicators were assessed, yielding higher values the organic production system, followed by the mixed system in general for indexes found: exergy input / output, Shannon index, exergy rate abatement, environmental costs and index epigraph financial, mainly.

Keywords: exergy, sustainability, biomass, Shannon index, exergy abatement, exergia ecological cost, caloric power.

Contenido

	Pág.
1. Revisión de literatura	3
1.1 Sistemas productivos del café	4
1.1.1 Índices energéticos del sistema café convencional (Tipo I)	4
1.1.2 Índices energéticos del sistema café orgánico (Tipo II)	5
1.1.3 Índices energéticos del sistema café mixto (Tipo III)	6
1.2 Contexto de sustentabilidad	8
1.3 La derivación de exergía como una medida del máximo de trabajo	9
1.4 Categorías disponibles para los ambientes de referencia (RE)	13
1.4.1 Consideraciones para la selección de un RE	15
1.4.2 Metodología para cálculo de exergía en RE, según Szargut	20
1.5 Arvenses como biomasa	26
1.6 Lombrices como biomasa	29
1.7 Artrópodos como biomasa	31
1.8 Caracterización de algunos elementos exergético de los sistemas	34
1.8.1 Aguas residuales y DBO en producción de café	34
1.8.2 Residuales de NO ₃ , SO ₄ y PO ₄ contaminantes en suelo	35
1.8.3 Contaminación del suelo por Glifosato, Clorpirifos y Dimetoato	36
1.8.4 Poder calórico de algunos insumos usados en la producción de los tres sistemas	37
2. Metodología	39
2.1 Localización de transectos	39
2.1.1 Selección fincas tipo	41
2.1.2 Establecimiento parcelas de muestreo (Transectos)	41
2.2 Métodos y parámetros	44
2.2.1 Biomasa asociada al sistema <i>in situ</i>	44
2.2.2 Biomasa del café <i>in situ</i>	49
2.2.3 Residuos orgánicos tras cosecha y pos cosecha	51
2.2.4 Análisis de macro fauna del suelo (insectos, lombrices y arácnidos) y su relación con la biomasa vegetal	52
2.3 Análisis estadístico	54
2.4 Valoración de la productividad de los agroecosistemas estudiados	55
2.4.1 Valoración de la productividad mediante análisis financiero convencional	55
2.4.2 Valoración de la productividad mediante análisis exergo ecológico	56
2.5 Construcción de indicadores de sustentabilidad basado en el análisis exergético y gradientes de biodiversidad	60
3. Resultados y discusión	61

3.1	Biomasa en el sistema	61
3.1.1	Biomasa de Lombrices	61
3.1.2	Biomasa de café <i>in situ</i>	68
3.1.3	Biomasa de residuos de cosecha y pos cosecha	69
3.1.4	Biomasa de Hojarasca de arboles	69
3.1.5	Biomasa de plátano	73
3.1.6	Biomasa de arvenses	74
3.1.7	Artrópodos	82
3.1.8	Contenido mineralógico suelo y foliar	88
3.2	Valoración de la productividad mediante análisis financiero en los sistemas	93
3.3	Valoración de la productividad mediante análisis multivariado en los sistemas	96
3.4	Valoración de la productividad mediante análisis exergo ecológico en los sistemas	100
3.4.1	Calculo del costo Exergético del ciclo de vida del producto	101
3.4.2	Calculo del coste exergético de abatimiento de los residuos y emisiones ...	102
3.4.3	Calculo del costo exergético de reposición de los recursos naturales utilizados	102
4.	Indicadores de sustentabilidad con base a análisis exergético y gradientes de biodiversidad.....	115
4.1	Método y pasos	115
4.1.1	Paso 1: objeto de estudio	115
4.1.2	Paso 2: definición de interacciones, interfaces y patrones	116
4.2	Selección de indicadores estratégicos	117
4.3	Medición y monitoreo de indicadores	117
4.4	Presentación e integración de resultados	118
5.	Conclusiones y recomendaciones	129
5.1	Conclusiones	129
5.2	Recomendaciones	132
6.	Bibliografía	163

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1: Recurso en comunicación con su ambiente.....	10
Figura 1-2: Lombriz en conserva para determinar longitud y calcular (AFDG). (Natural Resources Research Institute University of Minnesota, 2015).....	31
Figura 1-3: Complejo de interacciones en el sistema artrópodo – plantas, bajo un ANN por Zhang (2007). (Zhang, 2011, pág. 41).....	33
Figura 2-1: Mapa conceptual metodología de tesis de grado doctoral, 2016.	40
Figura 2-2: Selección tipos de finca para ubicación transectos.....	40
Figura 2-3: Ubicación y demarcación de transecto para las fincas tipo.	42
Figura 2-4: Esquema de transecto para las fincas tipo.....	42
Figura 2-5: División de cinco transectos, con cinta amarilla Tipo I y II.	43
Figura 2-6: Modelo finca tipo III, ubicación transectos.....	43
Figura 2-7: Diseño de cálculo de biomasa por sector (metro cuadrado).	44
Figura 2-8: Aleatorización de muestras para arvenses, artrópodos y lombrices, dentro de transectos.....	45
Figura 2-9: Modelo de volumen de control en análisis exergo ecológico.....	57
Figura 2-10: Modelo de idealización en cálculo de exergía en las fincas tipo.....	58
Figura 3-1: Diagrama de Barras en prueba de significancia tipo Duncan, para biomasa seca de lombriz en tres fincas y tres épocas de recolección en cálculo de exergía (2014).....	67
Figura 3-2: Diagrama de la interacción Sistemas por Épocas en muestreo para biomasa seca de lombriz en tres fincas y tres épocas de recolección en cálculo de exergía (2014).....	68
Figura 3-3: Biomasa de Hojarasca sombrío en gramos/mes, en la Finca Orgánica o Tipo II, en estudio de cálculo de exergía (2014).	72
Figura 3-4: Biomasa de Plátano en kilogramos/mes en base seca, en la Finca Mixta o Tipo III, en estudio de cálculo de exergía (2014).	73
Figura 3-5: Distribución de medias para la interacción Finca por Época en prueba DMS, con datos transformados LN (2014).....	77
Figura 3-6: Distribución de índices de Shannon en biomasas de arvenses y artrópodos para los tres sistemas de producción, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	87
Figura 3-7: Distribución contenidos mineralógicos en muestras de suelo, en análisis de Biomasa en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	92
Figura 3-8: Distribución VPN, TIR y TIRM en evaluación financiera por hectárea, a tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	95

Figura 3-9. Distribución variables independientes y dependiente en Análisis Multivariado para predecir COT a partir de biomásas de lombriz, arvenses y artrópodos, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	99
Figura 3-10. Mapa conceptual valoración de la exergia en los sistemas, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	100
Figura 3-11. Diseño para evaluar exergia en insumos y salidas de la producción en Finca Convencional, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	101
Figura 3-12. Diseño para evaluar exergia en insumos y salidas de la producción en Finca Orgánica, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	101
Figura 3-13. Diseño para evaluar exergia en insumos y salidas de la producción en Finca Mixta, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	102
Figura 4-1. Esquema general MESMIS (Matera et al., 1999), adaptado dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	118
Figura 4-2. Esquema de Interacciones dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	119
Figura 4-3. Grafica de Indicadores Exergéticos de Sustentabilidad dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	123

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1-1. Equivalencias energéticas de insumos y mano de obra según Leach (1981), citado por Tobasura <i>et al</i> (2011).	4
Tabla 1-2. Índices emergéticos del sistema de producción orgánica del café en el Perú, según Suca <i>et al</i> (2012).	6
Tabla 1-3. Índices emergéticos de dos sistemas de producción de café (orgánico neto y orgánico mixto, ambos con frutales para sombrío) en Costa Rica, según Marozzi <i>et al</i> (2004).	7
Tabla 1-4. Diferencia de Exergía de elementos como sustancias de referencia, más estables o más abundantes, en el Ambiente de Referencia.	17
Tabla 1-5. Caracterización física, química y biológica de aguas residuales de procesamiento de café en India.	34
Tabla 1-6. Comparación de concentración de NO ₃ , SO ₄ y PO ₄ y sus límites permitidos, en estudio de aguas subterráneas en Hubei (China) en 2012.	36
Tabla 1-7. Poder calorífico de algunos insumos usados en la producción de café en los tres sistemas, en estudio exergo ecológico (2014).	37
Tabla 2-1. Composición química de Arvenses recolectadas e identificadas en cálculo de biomasa asociada al sistema <i>in situ</i> (2014).	47
Tabla 2-2. Modelo alométrico de mejor ajuste, para cálculo de biomasa seca de café propuesto por Suarez (2003) en cálculo de biomasa asociada al sistema <i>in situ</i> en estudio de exergía (2014).	51
Tabla 2-3. Patrones de exergía química usados en análisis exergo ecológico.	59
Tabla 3-1. ANAVA para arreglo factorial en un DCA, para relación Peso/Numero promedio estimadas, con datos transformados por Ln10 (2014).	62
Tabla 3-2. Distribución promedio, mayor a menor, de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).	63
Tabla 3-3. Distribución Amplitud estandarizada de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).	63
Tabla 3-4. Distribución RMS calculado con la Ae y la Sd de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).	64
Tabla 3-5. Distribución Comparación de medias de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).	64
Tabla 3-6. Diagrama de letras de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).	66

Tabla 3-7. Biomasa Total (BT) en arbustos de café, en toneladas, en las tres fincas tipos, usando el modelo alométrico de Suarez (2003), con base a diámetro (D) del tallo a 15 cm de altura y altura (H) de plantas, en estudio de exergia (2014).	69
Tabla 3-8. Biomasa Total (BT) en pulpa y mucilago de café, en toneladas, en las tres fincas tipos, usando el PRP encontrado por Terrapon-Pfaff (2012), con base a la relación residuo por producto anual, en estudio de exergia (2014).	69
Tabla 3-9 Listado especies y pesaje promedio de trampas, captura por tres muestras en 24 lecturas, en análisis de Biomasa Hojarasca en gramos, Finca Tipo II Orgánica, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	70
Tabla 3-10 Biomasa total de plátano (muestra aérea y raíz) en peso seco mensual, en Finca Mixta Tipo III, en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	73
Tabla 3-11 ANAVA para arreglo factorial en un Parcela Doblemente Dividida en un BCA, para pesos secos en gramos de arvenses con datos transformados (LN) (2014)..	75
Tabla 3-12. Valores (media de cada 15 lecturas) de las 135 unidades experimentales agrupadas en el arreglo factorial Subparcela Finca por Época (AxB), con datos transformados LN (2014).....	76
Tabla 3-13 Comparación de medias del factor “B” (Época) cuando está constante el factor “A” (Finca) en prueba DMS, con datos transformados LN (2014).....	77
Tabla 3-14 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo I (Convencional), en análisis de Biomasa Arvenses en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	78
Tabla 3-15 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo II (Orgánica), en análisis de Biomasa Arvenses en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	79
Tabla 3-16 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo III (Mixta), en análisis de Biomasa Arvenses en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	81
Tabla 3-17 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo I (Convencional), en análisis de Biomasa Artrópodos en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	82
Tabla 3-18 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo II (Orgánica), en análisis de Biomasa Artrópodos en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	84
Tabla 3-19 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo III (Mixta), en análisis de Biomasa Artrópodos en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	85
Tabla 3-20 Listado características químico – físicas de muestra de suelo, Finca San Felipe Tipo I (Convencional), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	88
Tabla 3-21 Listado características químico – físicas de muestra de suelo, Finca La Granja Tipo III (Mixta), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	89
Tabla 3-22 Listado características químico – físicas de muestra de suelo, Finca San Luis Tipo II (Orgánica), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	90

Tabla 3-23 Análisis de Flujo Neto (FNE), VPN, TIR y TIRM, por hectárea, para Finca San Felipe Tipo I (Convencional), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	93
Tabla 3-24 Análisis de Flujo Neto (FNE), VPN, TIR y TIRM, por hectárea, para Finca San Luis Tipo II (Orgánica), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	94
Tabla 3-25 Análisis de Flujo Neto (FNE), VPN, TIR y TIRM, por hectárea, para Finca El Triunfo Tipo III (Mixta), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	94
Tabla 3-26 Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, datos de campo sobre materia organica, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	97
Tabla 3-27 Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, Varianzas y Covarianzas, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	97
Tabla 3-28 Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, Matriz y Matriz Inversa, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	97
Tabla 3-29 Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, Calculo de parámetros y Ecuación, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	98
Tabla 3-30 MANOVA para Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	98
Tabla 3-31 Prueba de Significancia a parámetros y Ajuste Ecuación en Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	99
Tabla 3-32 Exergia de arvenses, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Convencional Tipo I, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	105
Tabla 3-33 Exergia de arvenses, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Orgánica Tipo II, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	107
Tabla 3-34 Exergia de arvenses, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Mixta Tipo III, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	108
Tabla 3-35 Exergia de árboles, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Orgánica Tipo II, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	109
Tabla 3-36 Exergia de árboles, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Mixta Tipo III, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	109
Tabla 3-37 Exergia de otros insumos, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Orgánica Tipo II, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	109
Tabla 3-38 Exergia de otros insumos, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Mixta Tipo III, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	110
Tabla 3-39 Exergia de otros insumos, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Convencional Tipo I, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	110
Tabla 3-40 Análisis del costo exergo ecológico de los tres sistemas, 2014.....	110
Tabla 3-41 Exergia en Finca Convencional Tipo I, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	111
Tabla 3-42 Exergia en Finca Orgánica Tipo II, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	111
Tabla 3-43 Exergia en Finca Mixta Tipo III, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	111
Tabla 3-44 Balance de Exergia dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	111
Tabla 3-45 Costo Exergetico Unitario dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	112

Tabla 3-46 Irreversibilidad interna del proceso dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	112
Tabla 4-1 Matriz de calificación de Indicadores de Sustentabilidad hallados dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	120
Tabla 4-2 Fundamentos de medición de la Matriz de calificación de Indicadores de Sustentabilidad hallados dentro de estudio exergo ecológico, 2014.	121
Tabla 4-3 Matriz de selección de Indicadores de Sustentabilidad hallados dentro de estudio exergo ecológico, 2014.....	122
Tabla 5-1. Distribución relación peso fresco / numero individuos en cálculo de biomasa lombriz, frente a época de muestreo y tipo de finca en análisis exergo ecológico (2014).	133
Tabla 5-2. Distribución relación promedio Peso / Numero, en cinco lecturas a muestras a 10 y 20cm, en biomasa lombriz, según tipo de finca (2014).	134
Tabla 5-3. Datos transformados (Ln10) a distribución promedio relación Peso/Número estimada, en cinco lecturas a muestras a 10 y 20cm, en biomasa lombriz, según tipo de finca (2014).	134
Tabla 5-4. Distribución Parcela Principal, Subparcela y Sub-subparcela en pesos secos en gramos de arvenses y su transformación LN, total 135 unidades experimentales (2014)......	135
Tabla 5-5. Distribución taxonomía y conteo en campo de Biomasa Artrópodos, según transecto y muestra en tipos de finca dentro de análisis exergo ecológico (2014).	136
Tabla 5-6. Escenario de costos exergéticos, entrada/salida de insumos, entrada/salida de biomasa y entrada/salida beneficios en Finca Convencional Tipo I, dentro de análisis exergo ecológico (2014).	139
Tabla 5-7. Escenario de costos exergéticos, entrada/salida de insumos, entrada/salida de biomasa y entrada/salida beneficios en Finca Mixta Tipo III, dentro de análisis exergo ecológico (2014).	143
Tabla 5-8. Escenario de costos exergéticos, entrada/salida de insumos, entrada/salida de biomasa y entrada/salida beneficios en Finca Orgánica Tipo II, dentro de análisis exergo ecológico (2014).	147

Introducción

Los análisis convencionales de los agro ecosistemas, en la zona cafetera del Tolima municipio del Líbano, y en general en el país, se realizan desde una perspectiva de la rentabilidad financiera, para lo cual se utilizan indicadores basados exclusivamente en el componente productividad y aspectos financieros; estos no tienen en cuenta las particularidades que se presentan a nivel de diferentes arreglos y modelos productivos, expresados en diferentes escenarios de la agro biodiversidad; por tanto, se hizo necesario generar métodos e indicadores, que complementen la valoración integral de los sistemas, que permitan evaluar su sustentabilidad y que proporcionen criterios para tomar decisiones sobre su manejo.

Esta tesis de grado, pretendió aplicar una metodología que incluye al análisis exergético, para evaluar tres sistemas de producción de café, con diferentes manejos agronómicos y diferentes escenarios de agro biodiversidad, valorar el nivel de sustentabilidad y comparar la eficiencia de dicha evaluación, frente al análisis convencional de sistemas de producción. Para ello se incluyó en campo, lo propuesto por Altieri y Nicholls (2002) respecto a un método más eficiente para medir la sustentabilidad de un cafetal (Altieri & Nicholls, 2002).

Por ello, esta tesis de grado, dentro del análisis a los sistemas de producción de café, parte en que la exergía no cumple la ley de la conservación, en tanto todos los procesos son irreversibles, provocando una pérdida irrecuperable de exergía (Szargut, 2005).

A pesar del esfuerzo de esta tesis de grado, aun hoy en día, se dan numerosas reticencias por parte de técnicos especializados, en el empleo de la exergía como la herramienta que mejor cuantifica la eficiencia de los procesos térmicos bajo el punto de vista del segundo principio.

Originalmente, el análisis de exergía, utiliza el principio de conservación de la energía, junto con la no conservación del principio de la entropía, para el análisis, diseño y mejora de los procesos químicos y térmicos. Este método es especialmente útil para cuantificar magnitudes de los desechos y las pérdidas de energía dentro de los sistemas. En la actualidad el análisis de exergía, ha sido utilizado en la contabilidad de los recursos, la sustentabilidad y la economía ambiental (Hoang y Alauddin, 2011).

Así, para esta tesis de grado, la exergía se define como la máxima cantidad de trabajo, que puede extraerse teóricamente de un sistema, al evolucionar hacia el equilibrio con su entorno, a través de una secuencia de procesos reversibles, siendo que el análisis de la sustentabilidad, permite conocer las relaciones entre los elementos, biofísicos, sociales y económicos del sistema y, por tanto, este estudio buscó un modelo (ver Anexo E, modelo) que involucre estas dos herramientas, lo que permitirá realizar una valoración más eficiente de los agro ecosistemas cafeteros en el Tolima.

En el marco de la Agroecología la investigación desarrolla una metodología de lectura de contexto que involucra diferentes interacciones al interior de los agroecosistemas, para posteriormente vislumbrar las interfases o ecotonos (Ligados a la Estructura Agroecosistemica), que son zonas donde sucede alto intercambio de información, intercambio de energía, pero también posibilidad de alta entropía, lo cual justifica desde la estructura agroecosistemica se priorice el accionar de investigación en la interfases, pues representan las franjas de mayor complejidad. Paralelamente se identifican los patrones como unidades de comportamiento y ambiente (ligados a la Función Agroecosistemica) y se establece si dichos patrones son positivos o negativos en cada agroecosistema o finca Tipo. Posteriormente se llega a la gestión de indicadores de sustentabilidad basados en la Metodología MESMIS y la metodología de interacciones del presente Trabajo. En materia de Exergía y de manera transversal a la metodología expresada anteriormente, la investigación desarrolla un análisis profundo de Función agroecosistemica en cuanto al movimiento de materia y el flujo de la energía útil (Exergía) al interior de los agroecosistemas de estudio, estableciendo un modelo para el análisis de agroecosistemas basado en la exergía.

1.Revisión de literatura

La exergía se define como la máxima cantidad de trabajo, que puede ser extractado de un *recurso* en relación con su *ambiente*. Los términos *recurso* y *ambiente* se enfatizan, conjuntamente, por su importancia e interdependencia. Un *recurso* se refiere a cualquier acumulación de energía o flujo de energía, que tiene el potencial para producir un trabajo con relación a su ambiente. El *ambiente* se refiere a las porciones del ambiente natural que habilitan el trabajo a ser extractado desde el recurso, debido a que este *ambiente* actúa como reserva térmica, mecánica y/o química del recurso. Un *recurso* tiene la habilidad para producir un trabajo, debido a que este está por fuera del equilibrio con su ambiente.

El trabajo, puede teóricamente, ser extractado de cualquier sistema que este fuera del equilibrio, y, a su vez, se produce la cantidad máxima de trabajo cuando el sistema, reversiblemente, se equilibra. La exergía es una extensión de este principio, por el cual, el sistema se compone de un *recurso* y su *ambiente*.

La exergía se deriva, por la aplicación de la *Primera* y *Segunda* leyes de la *Termodinámica*, a un *recurso* en comunicación con su *ambiente* y con el cálculo de la cantidad reversible de trabajo (su máximo), que puede ser extractada cuando el equilibrio es alcanzado. La reversibilidad, requiere que el *recurso* transfiera calor a temperatura ambiente, limite (condicione) el trabajo a la presión ambiente, e intercambie, ambientalmente, sustancias en su potencial químico ambiental.

En las derivaciones tradicionales de exergía, las *interacciones reversibles* se realizan, al modelar el ambiente circundante (o *ambiente de referencia*, RE), como una inmensa reserva de tan rápido transito interno, que su estado intensivo no cambia. Una derivación de la exergía que modela el ambiente circundante (o *ambiente de referencia*, RE), es una medida del máximo de trabajo.

1.1 Sistemas productivos del café

1.1.1 Índices energéticos del sistema café convencional (Tipo I)

En el trabajo de investigación adelantado en Colombia por Tobasura, Moreno, Aya y Mora (2011), se elaboraron modelos analógicos, que muestran las entradas y salidas del sistema café, como componente principal de la unidad familiar, en tres fincas (Orgánica, Mixta y Convencional) de los municipios colombianos de Manizales y Filadelfia (Caldas); igualmente se estimó la productividad energética y financiera de cada unidad (Tobasura, Moreno, Aya, & Mora, 2011, pág. 102).

Para calcular la productividad de la energía en los sistemas analizados, los autores colombianos, estimaron el uso de mano de obra¹ e insumos que representan el gasto energético en las diferentes labores; para ello se utilizaron las equivalencias energéticas reportadas por Leach (1981), citado por Tobasura *et al* (2011), en la siguiente tabla 1.1:

Tabla 1-1. Equivalencias energéticas de insumos y mano de obra según Leach (1981), citado por Tobasura *et al* (2011).

Tipo de material	Unidad	MJ / Unidad
Fertilizante químico	Kg	10,8
Trabajo humano	Día / Hombre	7,0
Gasolina	Litro	34,78

Fuente: (Tobasura, Moreno, Aya, & Mora, 2011, pág. 106)

Concluyeron los investigadores colombianos, respecto de la finca con sistema convencional de producción de café, que esta depende de insumos externos,

¹ Nota del Autor: se usa aquí el concepto de porción diaria del contenido de energía por alimento consumido, que según reportes de la literatura oscila entre 6,4 y 8,0 MJ, lo cual difiere del gasto de energía muscular que es la verdadera energía termodinámica que oscila entre 0,4 y 0,7 MJ/día según Fluck & Baird, 1980, Fluck, 1995 y Mizgajski, 1988, citados por (Tobasura, Moreno, Aya, & Mora, 2011).

principalmente fertilizantes, siendo menos diversificada y con un rendimiento beneficio – costo (RBC) menor.

Ya desde el punto de vista de la productividad energética, valorando las entradas de energía en Mega julios (MJ), donde se estableció la relación de cantidad por unidad de producto por cada MJ utilizado en el proceso de producción, se obtuvo una mayor productividad energética en la Finca orgánica, con un valor de 1,52 kilogramos de café por MJ, seguida de la Finca mixta con una productividad energética de 0,12 kg de café por MJ, y finalmente la Finca convencional con 0,07 kg/MJ (Tobasura, Moreno, Aya, & Mora, 2011, pág. 109).

La relación de productividad, para los autores citados, entre las tres fincas es 22:13:1; es decir, la Finca orgánica produce 22 veces más café que la Finca convencional por cada unidad energética (MJ) utilizada; así, en términos de rentabilidad energética, ingresos monetarios generados por cada unidad de energía utilizada, en el estudio adelantado en el departamento de Caldas (Colombia), claramente se observa que la Finca orgánica tiene la mayor rentabilidad con un valor de \$9.835 a 2011, por cada MJ utilizado (Tobasura, Moreno, Aya, & Mora, 2011, pág. 109).

1.1.2 Índices energéticos del sistema café orgánico (Tipo II)

En el trabajo realizado por Suca, Suca y Siche (2012), en el Perú, se evaluó la sostenibilidad ambiental del sistema productivo del café orgánico, usando como método el análisis de la emergencia², donde ésta caracterizó y construyó el sistema productivo desde un enfoque sistémico; los autores peruanos cuantificaron y analizaron los principales flujos de recursos naturales y económicos, luego calcularon e interpretaron los indicadores energéticos del sistema, arrojando la siguiente tabla 1.2:

² Nota del autor: se refiere a la energía útil (exergía), además de ser una expresión de toda la energía usada en los procesos que generan un producto o servicio en unidades de un tipo particular de energía. La unidad de Energía es el emjulo (emjoule), que se refiere a la energía útil de un tipo consumida en las transformaciones.

Tabla 1-2. Índices emergéticos del sistema de producción orgánica del café en el Perú, según Suca *et al* (2012).

Índices	Ecuaciones	Valor	Unidad
Tr = Y/EP (energía del producto)	$Tr = Y / Ep$	4,75E+07	seJ/J
Renovabilidad (%R)	$Ren = (100)*(R / Y)$	49,78	%
Tasa de eficiencia energética	$EYR = Y / F$	2,00	Adimensional
Tasa de carga ambiental	$ELR = (N+F) / (R)$	1,01	Adimensional
Tasa de inversión emergética	$EIR = F / I$	1,00	Adimensional
Índice de sostenibilidad emergética	$ESI = EYR / ELR$	1,99	Adimensional

Fuente: (Suca, Suca, & Siche, 2012, pág. 125)

Como conclusión, los investigadores encontraron que es posible identificar los elementos del sistema debido al buen nivel de organización; dicho sistema presentó un mayor aporte de recursos de la naturaleza con respecto al aporte de la economía; los indicadores emergéticos hallados, demuestran que el sistema de café orgánico presenta mayor eficiencia, mayor renovabilidad, menor impacto al ecosistema y buena contrapartida de la naturaleza a las inversiones, respecto a lo que los productores invierten, según este estudio en el Perú (Suca, Suca, & Siche, 2012, pág. 129).

1.1.3 Índices energéticos del sistema café mixto (Tipo III)

En otra investigación adelantada en Costa Rica, por Marozzi, Bellavita y Varela (2004), analizando un sistema de producción netamente orgánico con maderables y hortalizas frente a un sistema orgánico mixto con explotación de frutales para sombrero, respecto a las entradas y salidas del sistema en el balance energético de estos, se encontró que el sistema mixto, en cuanto a las salidas / hectárea superó al sistema neto orgánico en 9.443 KJ, comparando con las entradas para cada caso, obteniéndose una mayor eficiencia energética para el sistema mixto, afirmación que confirman los índices de producción energética neta y eficiencia energética, los cuales indican que el sistema mixto, en este estudio, tiene una producción neta de energía mayor en 54.584 KJ con respecto al sistema neto orgánico, y una eficiencia de 2,06 KJ obtenidos por insumo aportado al ecosistema; de otro lado los autores costarricenses, el sistema neto orgánico tiene una eficiencia mucho menor, con 0,03 KJ obtenidos por insumo aportado; de otro lado, continúan los autores citados, la cantidad de entradas totales / kg del sistema del sistema neto orgánico es 283

KJ mayor que el del sistema mixto orgánico, mientras que las salidas totales / kg son iguales en ambos sistemas; así, anota el estudio en referencia, el valor de la entrada / KJ es mayor para el sistema mixto orgánico en ¢35,96/ KJ (Marozzi, Bellavita, & Varela, 2004, pág. 111), según se resume en la siguiente tabla 1.3:

Tabla 1-3. Índices energéticos de dos sistemas de producción de café (orgánico neto y orgánico mixto, ambos con frutales para sombrero) en Costa Rica, según Marozzi *et al* (2004).

Valores con frutales	Orgánica neta	Orgánica mixta
	KJ	KJ
Entradas MO / Ha	436	463
Entradas Mat / Ha	48.200	4.930
Entradas / Ha	48.636	5.394
Salidas / Ha	2.527	13.148
Prod. Energética neta (S-E)	(46.108)	7.754
Eficiencia energética (S-E)	0,05	2,44
Entradas totales / kg	119	3
Salidas totales / kg	6	8
Valor KJ (entrada)	¢3,59	¢39,55
Valor KJ (salida)	¢63,47	¢62,27

Fuente: (Marozzi, Bellavita, & Varela, 2004, pág. 111)

Concluye el estudio costarricense, aclarando que los balances energéticos por sí solos no son una medida completa de sostenibilidad ecológica, porque no indican el desgaste de los recursos naturales y la escasez de las fuentes energéticas, aduciendo que si se quiere una medida más exacta de sostenibilidad es necesario anexar un análisis de costo ecológico (Marozzi, Bellavita, & Varela, 2004, pág. 111).

Igualmente, según Simón y colaboradores (1995), citados por Marozzi *et al* (2004), es necesario complementar los balances energéticos con análisis de costo ecológico, entendiéndose por costo ecológico el consumo del stock de recursos naturales accesibles en un determinado momento (Marozzi, Bellavita, & Varela, 2004, pág. 111).

1.2 Contexto de sustentabilidad

El autor de esta tesis doctoral, comparte lo alcanzado por Tobasura *et al* (2012), respecto a la sustentabilidad en los estudios de eficiencia agrícola:

La sustentabilidad de la producción en las fincas campesinas no solo debe considerar los lujos monetarios y la rentabilidad, sino también los flujos de biomasa y energía. De acuerdo con los cálculos realizados, las fincas en las cuales se reutilizan los desechos orgánicos son más productivas energética y financieramente. El argumento sobre el cual se sustenta lo anterior, deriva del hecho de que si bien los agricultores le asignan mayor importancia a los flujos financieros en la toma de decisiones en sus fincas, sin considerar los flujos de materia y energía que circulan en sus unidades productivas, son estos últimos los que garantizan la sustentabilidad de sus sistemas de producción y el bienestar de sus hogares. (Tobasura, Moreno, Aya, & Mora, 2011, pág. 110)

De otro lado el autor, reconoce la polémica actual por precisar a que conlleva la sustentabilidad en la producción de café, cuando sostiene junto a Simón (2003), citado por Alvarado (2013), que:

Debido al carácter multidimensional del concepto resulta complicado medirlo. Añade (Simón, 2003) que numerosos indicadores han sido desarrollados simultáneamente, los cuales, o bien destacan los diversos componentes (ecológico, económico, político, social) del concepto por separado (indicadores parciales) o bien encapsulan todos estos componentes a la vez en índices (marcos de indicadores). Cada uno de estos enfoques presenta ventajas y desventajas. (Alvarado, 2013, pág. 92)

Este trabajo de grado doctoral, asume lo sustentado por Escobar (2000), respecto a la sustentabilidad cultural y ecológica:

Finalmente, es en esta intersección de los modelos de la naturaleza basados-en-el-lugar y la economía, por un lado, y la teorización de racionalidades productivas, por el otro, donde podremos encontrar un marco de referencia más amplio en el cual situar los debates sobre la sustentabilidad cultural y ecológica. Este marco de referencia más amplio necesita maneras nuevas de pensar acerca de las intersecciones globales/locales, tales como aquéllas aportadas por las teorías de lugar; visiones alternativas del conocimiento e innovaciones locales y su relación al conocimiento formal,

global; una reinterpretación de las afirmaciones políticas de los movimientos sociales en términos de la defensa de los modelos locales de la naturaleza y los territorios biológicos con productividades culturales-biológicas específicas (Varesse 1996; Leff 1995a); y nociones de formas de gobierno de base, sustentadas-en-el-ecosistema, basadas en etnicidades ecológicas, la protección a las comunidades de ciertos aspectos del mercado y una revitalización simultánea de la ecología y la democracia (Parajuli 1997). (Escobar, 2000, pág. 15)

Y argumenta junto a Morín (2005), en cuanto que trasponer a la sustentabilidad la sostenibilidad, como fundamento y método para cualificar un sistema productivo agrícola en lo energético, es impreciso y no científico, por cuanto:

La nueva teoría biológica, por inacabada que se encuentre en el momento actual, cambia la noción de Vida. La nueva teoría ecológica, por embrionario que sea su estado, cambia la noción de Naturaleza. La ecología es una ciencia natural fundada por Haeckel, en 1873, que se propone estudiar las relaciones entre los organismos y el medio en el que viven. Sin embargo, sea que la preocupación ecológica gozaba de una atención secundaria en el ámbito general de las ciencias naturales, sea porque el medio ambiente era esencialmente concebido como un molde geo climático, unas veces formativo (Iamarckiano) y otras selectivo (Darwiniano), en cuyo seno las diferentes especies viven sometidas a un desorden generalizado regido por una sola ley, la del más fuerte o el más apto, no ha sido sino en una época reciente cuando la ciencia ecológica ha llegado a la conclusión de que la comunidad de seres vivos (biocenosis) que ocupan un espacio o «nicho» geofísico (biotopo) constituyen junto con él una unidad global o ecosistema. ¿Por qué sistema? Porque el conjunto de tensiones, interacciones e interdependencias que aparecen en el seno de un nicho ecológico constituye, a pesar y a través de aleatoriedades e incertidumbres, una auto-organización espontánea (Morin, 2005, pág. 18)

1.3 La derivación de exergía como una medida del máximo de trabajo

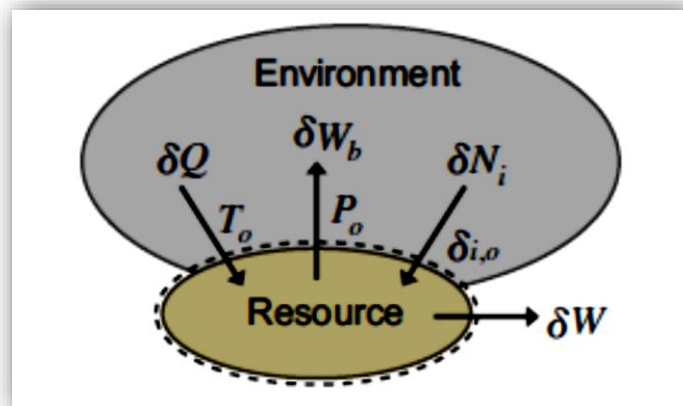
Para Simpsons y Edwards (Simpson & Edwards, 2011), la exergía de un *recurso* puede romperse en varias formas. Las formas relevantes de exergía en el análisis de sistemas de energía incluyen: térmica, mecánica, química, cinética, potencial, radiactiva y nuclear. La exergía térmica, mecánica y química de un *recurso* comúnmente se refieren a su

exergía interna; la exergía potencial gravitacional y cinética de un *recurso* se refiere a su exergía externa.

Este trabajo de tesis, se enfatiza en la exergía *interna*. La exergía *interna* de un *recurso* es la máxima cantidad de trabajo, que puede ser extractada de este, cuando su equilibrio térmico, mecánico y químico reversible, se alcance con el *ambiente* con el cual este interactúa. La reversibilidad, requiere que el *recurso* deberá transferir calor a temperatura ambiente, se limite (condicione) a trabajo con presión ambiente, y bajo sustancias ambientales, a su potencial químico ambiental.

En la técnica del análisis de exergía, las interacciones reversibles pueden ser realizadas, al modelar el *ambiente* como una única reserva, que sea lo suficientemente grande y tenga el transito suficientemente rápido, para que su estado intensivo, no cambie durante su equilibrio (por ejemplo: la temperatura, la presión y la composición ambiental, están fijas). En la siguiente figura, se observa la comunicación del *recurso* con el *ambiente*:

Figura 1-1: Recurso en comunicación con su ambiente



Fuente: (Simpson & Edwards, 2011)

Como muestra la figura, existen tres tipos de transferencia entre el *recurso* y el *ambiente*:

- Trabajo (condición) Limite δW_b
- Calor δQ
- Sustancias ambientales δN_i

El trabajo límite es transferido a presión ambiente P_o , el calor a temperatura ambiente T_o , y las sustancias ambientales a su potencial químico ambiental $\mu_{i,o}$. La máxima cantidad de trabajo que puede ser extractado desde el *recurso* en relación con su *ambiente*, se deriva tras aplicar la *Primera* y la *Segunda* Leyes de la *Termodinámica*, para la condición de control, entorno al *recurso*. Las expresiones diferenciales de la *Primera* y *Segunda* leyes para el *recurso*, son:

$$dU = \delta Q - \delta W_b + \sum_i h_{i,o} \delta N_i - \delta W$$

$$dS = \frac{\delta Q}{T_o} + \sum_i s_{i,o} \delta N_i + \delta S_{gen}$$

Combinando las dos ecuaciones y empleando la definición de trabajo límite:

$$\delta W_b = P_o dV$$

Se obtiene una expresión para el trabajo diferencial extractado, a partir del recurso:

$$\delta W = -dU - P_o dV + T_o dS + \sum_i (h_{i,o} - T_o s_{i,o}) \delta N_i - T_o \delta S_{gen}$$

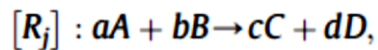
La cantidad máxima de trabajo es realizada, cuando las interacciones ocurren reversiblemente (por ejemplo, cuando no hay generación de entropía). Por tanto, la expresión para la cantidad máxima diferencial de trabajo, que puede ser extractada a partir del *recurso*, es:

$$\delta W_{max} = -dU - P_o dV + T_o dS + \sum_i \mu_{i,o} \delta N_i \quad [A]$$

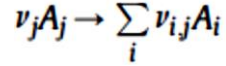
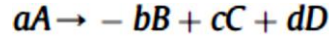
Donde:

$$\mu_{i,o} = h_{i,o} - T_o s_{i,o}$$

La exergía interna, se define como la integral de la ecuación [A], a partir del estado del *recurso* al estado del *ambiente*, también llamado *estado muerto*. En razón a resolver esta integración, la diferencial inexacta para la transferencia de sustancias, deberá ser convertida a una diferencial exacta. Esto puede ser logrado, considerando la transformación reversible de todas las sustancias no ambientales (j), presentes en el *recurso*, a sustancias ambientales (i), a través de la siguiente reacción:



Con amplio alcance de la reacción, ξ_j ,



Donde v_j , es el coeficiente estequiométrico para las sustancias no ambientales (j) en el *recurso*, y v_{ij} , es el coeficiente estequiométrico para las sustancias ambientales, usadas o creadas, por la transformación de sustancias no ambientales (j), a sustancias ambientales (i). El *balance de sustancias* para las sustancias ambientales (i) y sustancias no ambientales (j), es:

$$dN_i = \delta N_i + \sum_j v_{ij} d\xi_j \quad [B]$$

$$dN_j = -v_j d\xi_j \quad [C]$$

Combinando las ecuaciones [B] y [C], a través de la diferencial amplia de la reacción, se obtiene una expresión exacta de la diferencial, para las moles de las sustancias ambientales (i), transferidas:

$$\delta N_i = dN_i + \sum_j (v_{ij}/v_j) dN_j$$

Combinando esta ecuación con la ecuación [A], se obtiene una exacta ecuación diferencial para la cantidad máxima de trabajo:

$$\begin{aligned} \delta W_{\max} = & -dU - P_o dV + T_o dS + \sum_i \mu_{i,o} dN_i \\ & + \sum_i \mu_{i,o} \sum_j (v_{ij}/v_j) dN_j \end{aligned} \quad [D]$$

El estado del *ambiente* entra en el cálculo del máximo trabajo, a través de los parámetros ambientales intensivos fijos T_o , P_o y $\mu_{i,o}$. Dado que el lado derecho de la ecuación [D], es una función exacta, la integral es independiente de la ruta escogida. La exergía interna puede ser calculada al integrar la ecuación [D], junto a las dos rutas: (1) a partir del estado del *recurso* (o *sustancia de referencia*) a la temperatura y presión ambiente, llamado *estado muerto termo-mecánico* (TMDS), mientras la composición del *recurso* sea fija (por ejemplo que ninguna difusión o reacción se permita), y (2), a partir del *estado muerto termo-mecánico* al *estado muerto* (DS), mientras la temperatura y la presión ambiente sean fijas.

$$X_{int} \equiv \int_{RS}^{TM} (-dU - P_0 dV + T_0 dS) \Big|_{\substack{\text{Fixed Comp.} \\ \text{No Reaction}}} + \int_{TM}^{DS} \left(-dU - P_0 dV + T_0 dS + \sum_i \mu_{i,o} dN_i + \sum_i \mu_{i,o} \sum_j (v_{ij}/v_j) dN_j \right) \Big|_{\substack{T = T_0 \\ P = P_0}} \quad [E]$$

La primera integral en esta ecuación, se define como la exergía termo-mecánica, X_{TM} , y la segunda integral se define como la exergía química, X_C . Por tanto, la exergía interna de un *recurso*, entonces es:

$$X_C = G_{TM} - G_o$$

La exergía química, es por tanto la diferencia entre el potencial químico (por ejemplo la *función de Gibbs*) del *recurso*, en el *estado muerto termo-mecánico*, antes y después que este ha reaccionado y difundido, para volverse parte del *ambiente* (todo a T_o y P_o). La exergía interna de un recurso es la suma de la *exergía termo-mecánica* y la *exergía química* de ese *recurso*:

$$\begin{aligned} X_{int} &= X_{TM} + X_C = (A - G_{TM}) + (G_{TM} - G_o) = A - G_o \\ &= (U + P_o V - T_o S) - \sum_i \mu_{i,o} N_i \\ &\quad - \sum_j \left[\sum_i \mu_{i,o} (v_{ij}/v_j) \right] N_j \end{aligned} \quad [F]$$

La exergía interna es, por tanto para Simpson y Edward (Simpson & Edwards, 2011), la diferencia entre la disponibilidad del *recurso*, en un estado del recurso extensivo o abundante ($T, P, \{N_k\}$), y el potencial químico del *recurso*, después que este ha reaccionado y difundido a un *estado muerto* termo-mecánico (T_o, P_o) para volverse parte del *ambiente*.

1.4 Categorías disponibles para los ambientes de referencia (RE)

La siguiente revisión de los diferentes *ambientes de referencia* (RE), propuestos hasta ahora, se discute sucintamente, para esta Tesis Doctoral. El autor, ha considerado las más destacadas categorías de RE disponibles en la literatura, para la evaluación del capital natural, basándose en el *Criterio de Szargut* para su concepto de un *Comprehensive Ambiente de Referencia*.

Los parámetros que se registran para las ecuaciones de exergía química de los elementos, principalmente, ΔG_f , n_o , M_o , c_i , z_{oi} y m , se han revisado y actualizado, de acuerdo a la nueva

información geoquímica y a las revisiones hechas por los autores citados más adelante. Se ha sostenido que las diferencias de la exergía química de los elementos, entre los diferentes autores, no es muy significativa. Por tanto el autor, basado en el documento resumen de la **Conferencia ECOS 2005** (Szargut, Valero, Stanek, & Valero, 2005), asume el acuerdo internacionalmente aceptado en la misma, sobre los (RE) descritos en esta revisión de literatura, para la evaluación de la exergía de los recursos sobre la Tierra.

El capital natural puede ser evaluado desde distintos puntos de vista. Uno de estos, el más comúnmente conocido: el punto de vista económico. No obstante, para el análisis de Naredo (Naredo, 1987), el planteamiento económico, este está únicamente interesado en su utilidad para el hombre, es decir que le sea adquirible, valorable y producible.

Debido a lo anterior, la mayoría de los recursos naturales, han permanecido por fuera del objeto de análisis del sistema económico. Los mecanismos existentes de fijación de precios, casi no toman en cuenta las características físicas concretas, que hacen valer a los recursos naturales. Pero el capital natural posee dos características físicas, mediante las cuales los minerales o el agua potable, hacen que sean ejemplos, poco usuales:

- Una composición particular, la cual las diferencia del ambiente subyacente.
- Una distribución, la cual los ubica, a ellos, en una concentración específica.

Estas propiedades intrínsecas, pueden ser evaluadas desde el punto de vista termodinámico, en términos de exergía (Valero, Ranz, & Botero, 2002). El valor termodinámico de un recurso natural, podría ser definido como el mínimo de trabajo necesario para producirlo, con una estructura y concentración específica, a partir de materiales comunes en el medio ambiente.

Esta mínima cantidad de trabajo, por definición, es teórica y es igual a la exergía de los materiales (Riekert, 1974). La exergía de un sistema, da una idea de su potencial de evolución, al no existir en equilibrio termodinámico con el medio ambiente, o lo que es lo mismo, al no existir en un *punto muerto* en relación a un *ambiente de referencia* (RE, por sus iniciales en inglés).

Por tanto, para calcular la exergía de cualquier recurso natural, se debe definir un RE. Este RE, deberá estar determinado por el medio ambiente natural y puede asimilarse a un

planeta termodinámicamente muerto, donde todos sus materiales han reaccionado, dispersado y mezclado.

Cada una de las definiciones de los RE, son fijadas por su composición química. Ellas, por tanto, tienen diferentes valores de exergía de referencia y generan diferentes exergías. Esto implica, que la determinación para una apropiada selección de un RE, sea base para la evaluación de un recurso natural.

1.4.1 Consideraciones para la selección de un RE

Hasta hoy, existen muchas contribuciones para la determinación de un RE. Todas ellas se pueden dividir, principalmente, en dos grupos:

- *Ambientes de referencia Parciales*
- *Ambientes de referencia Completos.*

Es bien conocido, que autores como Bosnjacovich, citado por Szargut, J., Valero, A., Stanek, W. & Valero, A. (Szargut, Valero, Stanek, & Valero, 2005), Gaggioli y Petit (Gaggioli & Petit, 1978) y Sussman (Sussman, 1979), establecieron que los RE, deberían estar definidos de acuerdo a las características específicas del proceso analizado. Este criterio está basado, en que siendo la exergía un parámetro que cuantifica la evolución teórica de un sistema con respecto al RE, algunas de las posibles evoluciones del sistema, no pueden ser alcanzadas, debido a las limitaciones del proceso.

De ahí que, solamente aquellas posibilidades de evolución que el sistema prácticamente puede lograr, serán analizadas. El RE no es un “*punto muerto*” cualquiera. Para el cómputo de los cambios de exergía en procesos con variable composición o flujos de reactivos químicamente seguros, un *RE Completo*, generalmente no es necesario. Sin embargo, este no es el caso, cuando el punto a evaluar es el capital natural sobre la Tierra. En este caso, no existen limitaciones en los procesos, y los recursos pueden seguir procesos de evolución hacia puntos muertos, así que se requerirá un *RE Completo*. Dentro de lo que se conoce como *RE Completo*, todos los autores concuerdan en dividir las *Sustancias de Referencia* (RS), que componen el RE, en:

- *Componentes gaseosos del aire atmosférico*
- *Componentes sólidos de la capa más externa de la corteza terrestre*

- *Componentes moleculares del agua de mar.*

No obstante, hay también criterios diferentes entre los distintos autores. Así, estas RS, deberían ser clasificadas, dentro de ambientes basados sobre estos criterios:

- *Criterio de Szargut*
- *Equilibrio químico*
- *Abundancia.*

El criterio de *Abundancia* y el de *Szargut*, no son criterios opuestos. De acuerdo al criterio de *Szargut*, entre un grupo de sustancias razonablemente abundantes, la más estable será elegida si esta cumple con el “*criterio de similitud terrestre*”.

Esto es, si la estabilidad de las posibles distintas RS, para un elemento específico (medido en términos de la formación de *energía de Gibbs*) está dentro de un rango de prueba o umbral, entonces la más abundante RS, se elegirá. Si las diferencias exceden este umbral, la sustancia más estable, será tomada como RS, tan extensamente como ésta no contradiga el “*criterio de similitud terrestre*”. La estabilidad del umbral, no tiene un valor fijo y depende sobre cada elemento considerado, desde que este esté sujeto a incertidumbres geológicas.

Entonces, por ejemplo para el caso de *Sb*, la sustancia Sb_2S_3 está más abundante que Sb_2O_3 ; no obstante, de acuerdo al *criterio de Szargut*, Sb_2O_3 , el cual es más estable, será tomado como una RS. Esto ocurre también con las sustancias clasificadas en la siguiente Tabla 1.1, elaborada por Valero *et al.* (Valero, Ranz, & Botero, 2002).

No obstante, nitratos tales como $Ca(NO_3)_2$, $NaNO_3$ y KNO_3 , son descartables, porque siendo más estables, aunque no abundantes en el medio ambiente natural, podrían romper el *criterio de similitud*, si ellos son tomados como RS.

Por tanto, el ambiente de *punto muerto de Szargut* (Szargut, Energy potential balance in chemical processes, 1957) es similar al ambiente físico real y podrá representar los productos de una interacción, entre los componentes de un medio ambiente natural, y los productos de desecho de los procesos. Los productos más probables de esta interacción, podrán ser elegidos como especies de referencia.

Tabla 1-4. Diferencia de Exergía de elementos como sustancias de referencia, más estables o más abundantes, en el Ambiente de Referencia.

Elemento	Especies mas Abundantes	Especies mas estables	Diferencia de Exergía en kJ/mol
Sb	Sb ₂ S ₃	Sb ₂ O ₅	1235,58
As	FeAsS	As ₂ O ₅	1201,32
S	FeS ₂	SO ₄ ⁻²	963,63
Bi	Bi	BiO ⁺	228,88
Cd	CdS	CdCl ₂	745,75
Ce	CePO ₄	CeO ₂	258,33
Zn	ZnS	Zn ⁺²	717,22
Co	Co ₃ S ₄	Co ₃ O ₄	967,7
Cu	CuFeS ₂	Cu ⁺²	1423,18
Mo	MoS ₂	MoO ₄ ⁻²	1675,9
Os	Os	OsO ₄	306,81
Ag	Ag ₂ S	AgCl ₂ ⁻	330,65
Pt	Pt	PtO ₂	84,59
Pb	PbS	PbCl ₂	710,34
Re	ReS ₂	Re ₂ O ₇	1556,65
Ru	Ru	RuO ₂	254,82
U	UO ₂	UO ₃ .H ₂ O	127,49

Fuente: (Szargut, Valero, Stanek, & Valero, 2005)

Algunos autores, definen la exergía química por medio del *equilibrio químico* con el ambiente real. Szargut, insiste que no es posible lograr un equilibrio con el sistema, si este no está en estado interno de equilibrio (y el medio ambiente natural está lejos de tal equilibrio). Para Ahrendts (Ahrendts, 1977) y Diederichsen (Diederichsen, 1999), por ejemplo, sostienen que si la cantidad de los distintos elementos en el sistema de referencia, es conocida y la temperatura del sistema es fija, la cantidad de cada compuesto químico y el valor de cada potencial químico, están únicamente determinados por la condición del equilibrio químico.

Aunque el RE de Ahrendts (Ahrendts, 1977), solo incluye 15 elementos, ellos representan más del 99% de la corteza terrestre y por tanto su RE puede ser considerado como un *Ambiente de Referencia Completo*. Ahrendts calculó la composición de este ambiente en equilibrio químico, teniendo como único parámetro variable, el espesor de la capa terrestre. Valero, Ranz y Botero (Valero, Ranz, & Botero, 2002), ya habían explicado, porque el RE de Ahrendts, no fue apto para evaluar el capital natural sobre la Tierra. La mayoría de los metales no pueden ser evaluados, debido a que ellos forman parte del 1% de la corteza terrestre, descuidada por Ahrendts (Ahrendts, 1977). Su RE obtenido, es muy distinto del ambiente real y es muy improbable, una eventual evolución hacia este, dado que algunos procesos están cinética, biológica y/o geológicamente bloqueados. Diederichsen (Diederichsen, 1999), actualizó y extendió el modelo de Ahrendts (Ahrendts, 1977), con nuevos datos geoquímicos y obtuvo, entre otros, un RE que incluía 75 elementos. Además, este autor posibilitó, que este ambiente cambie con dos parámetros variables: el espesor de la corteza terrestre y la profundidad del océano. La elección final del ambiente, deberá cumplir con el *criterio de similitud terrestre*. La similitud con la Tierra, fue medida con la presión de equilibrio, el contenido de oxígeno y nitrógeno, en la fase gaseosa y el contenido de sal, en equilibrio en los océanos.

A pesar que Diederichsen (Diederichsen, 1999), añadió más elementos que Ahrendts (Ahrendts, 1977) e incluyó un nuevo parámetro variable, la composición de su nuevo RE, es también aun diferente del ambiente real de la Tierra. De acuerdo al *criterio de similitud terrestre*, el RE que mejor se satisface con el ambiente de la Tierra, toma un espesor de la corteza de únicamente 0,1 m y una profundidad de 100 m en el océano. Valores más grandes de un RE, se alejarían mucho del ambiente de la Tierra y tendrían entre otras características, reducidos contenidos de oxígeno y menor presión. Como ocurrió con el modelo de Ahrendts anteriormente, Diederichsen obtuvo altos valores de exergia, para el oxígeno. Esto ocurre porque casi todo el oxígeno del aire, es consumido básicamente por la formación de nitratos y, solo en el límite, para un espesor de corteza de 0 metros, la presión media de la Tierra, coincide con la del modelo.

Por lo tanto, pareciera que alcanzar un RE en *equilibrio químico*, está en discordancia con el *criterio de similitud terrestre*, y no es apropiado para la evaluación del capital natural sobre la Tierra. Esta idea plenamente coincide con la *hipótesis Gaia* de Lovelocks (Lovelock, 1979): la Tierra es un ser vivo, y compite contra el equilibrio termodinámico

estable. Kameyama et al., (Kameyama, Yoshida, Yamauchi, & Fueki, 1982), proponen un ambiente de referencia RE, con el *criterio de estabilidad química*. Las referencias con los compuestos más estables, con aquellos de datos termoquímicos y que pueden ser integrados en ambientes sólidos, líquidos y gaseosos. Como Szargut sostiene (Szargut, Chemical exergies of the elements, 1989), algunos de los compuestos más estables seleccionados por Kameyama et al, como los nitratos, algunos compuestos con elementos raros (por ejemplo el $PtBr_2$) o compuestos con *Fr*, como especie de referencia para los elementos *F*, *Cl*, *Br* y *I*, no deberían ser recomendados, porque la probabilidad de su formación en el ambiente, es muy pequeña. Por eso el RE de Kameyama et al., no es muy aplicable para evaluar la escasez del capital natural.

De acuerdo a Ranz (Ranz, 1999), grandes cantidades de minerales, están compuestas con los compuestos más comunes de la capa superior de la corteza terrestre, pero no son muy estables y no representan los productos de una interacción entre los componentes del medio ambiente natural y los materiales de desecho de los procesos industriales. Así que, Ranz propone un nuevo RE, muy cercano al ambiente real basado en la *abundancia* y siguiendo el *criterio de Szargut*. La fase sólida de este nuevo RE, reproduce fielmente la capa superior de la corteza terrestre, dado que las especies de referencia sólida, que elaboran este ambiente, son similares a los tipos más abundantes encontrados en la capa más superior de la corteza continental de la Tierra. Un problema con la propuesta de RE de Ranz, es que si asignamos exergía cero a las sustancias más abundantes, estamos arbitrariamente disminuyendo el capital natural, porque muchos de los minerales más abundantes, como los sulfuros, naturalmente evolucionan a óxidos más estables. Por lo tanto, como lo propone Valero, Ranz y Botero, debemos retornar al *criterio de Szargut* de usar las sustancias más estables, dentro de los límites fijados por el *criterio de similitud terrestre*.

Luego, una pretensión académica de este trabajo de tesis doctoral, es poder sumarse a este acuerdo internacional, como marco de referencia para evaluar los recursos naturales sobre la Tierra, basados en la metodología y el *criterio de Szargut*, además del uso de datos más precisos, como lo sostiene Ranz y otros autores, como Rivero (Rivero & Garfias, 2004), así como también, el obtener datos geoquímicos más actualizados.

1.4.2 Metodología para cálculo de exergia en RE, según Szargut

La exergia química, expresa la exergia de una sustancia a la temperatura y presión de un ambiente dado. Esta, es definida como el trabajo máximo con el cual puede ser obtenida, cuando la sustancia considerada, es conducida de manera reversible, hacia el estado de las sustancias de referencia, presentes en el ambiente, usando el ambiente como una fuente de calor y con las sustancias de referencia necesarias, para la realización del proceso descrito. Las RS más comunes en el ambiente, son aceptadas por separado a cada elemento químico, y son mutuamente independientes. Por tanto, el problema de equilibrio, entre las sustancias de referencia, no existe. Es imposible formular una reacción química, en la cual, únicamente la sustancia de referencia, toma parte.

Exergia química estándar de los compuestos químicos.

Metodología: La exergia química estándar, resulta de una presunción convencional de una temperatura y una presión, de ambiente estándar, y una concentración estándar de sustancias de referencia, dentro de un ambiente natural. La exergia química estándar de cualquier compuesto químico, puede ser calculada por medio del balance de exergia de una reacción de formación reversible

$$b_{ch\ n} = \Delta G_f + \sum_e n_e b_{ch\ n\ e}$$

ΔG_f : *Formación de la energía de Gibbs*

n_e : cantidad de kmol del elemento e

$b_{ch\ n\ e}$: exergia química estándar del elemento

Si el elemento químico no pertenece a las sustancias de referencia, su exergia química estándar, también puede ser calculada de la ecuación anterior, sin embargo, una reacción de referencia de este elemento, deberá ser formulada. Esta reacción contiene únicamente sustancias de referencia, adicionales como reactantes y productos finales. Por ejemplo, la siguiente reacción de referencia válida para el elemento C: $C + O_2 = CO_2$, donde O_2 es la adición y CO_2 la sustancia final de referencia. La exergia química estándar de la sustancias de referencia son calculadas primero que la exergia química estándar del elemento.

Discusión de las variables usadas: La formación de la energía de Gibbs usada por Szargut (Szargut, Chemical exergies of the elements, 1989) fue revisada por Rivero (Rivero & Garfías, 2004) usando (Perry & Chilton, 1992), (Wagman, y otros, 1982), (Latimer, 1952), (Barin, 1993) y (Weast, 1975). No hay diferencias sustanciales, excepto para la Sillimanita (Al_2SiO_5), cuyo nuevo valor es $\Delta G_f = 2.440,9$ kJ/mol. La fuente de información de Ranz (Ranz, 1999) para obtener ΔG_f fue Faure (Faure, 1992), la cual es una compilación de literatura de varios autores. Esta fuente corrobora la revisión de Rivero y por tanto deberá ser considerada para el cálculo del particular RE.

Sustancias de referencia sólidas.

Metodología: La mayor parte de los elementos químicos comúnmente aparecen en la capa más externa de la parte continental de la corteza terrestre, por tanto prevalecen en las sustancias de referencia sólidas. Sin embargo, la corteza terrestre es una mezcla muy complicada de soluciones sólidas y el cálculo exacto de la exergía química de sus componentes es imposible. Por tanto se puede solamente aproximar a evaluar la exergía, asumiendo que las especies de referencia se comporta como componentes de una solución ideal, por eso la formula anterior de los RS gaseosos puede ser aplicada en este caso. La evaluación de la concentración molar estándar de las sustancias de referencia solidas en la capa más externa de la corteza terrestre es muy difícil. En anteriores publicaciones se pudo observar que solo se puede encontrar una media de la concentración de masa de elementos químicos particulares y alguna información acerca de los compuestos químicos conteniendo estos elementos considerados. De ahí que, la mejor manera de considerar hasta ahora la obtención de la concentración molar estándar de las sustancias de referencia en el ambiente sólido, ha sido con la siguiente ecuación propuesta por Szargut (Szargut, Chemical exergies of the elements, 1989):

$$z_{0i} = \frac{1}{l_i} n_{0i} c_i M_0$$

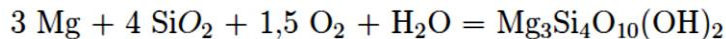
Dónde:

n_{0i} concentración media molar (en mol/kg) del enésimo elemento en la parte continental de la corteza terrestre.

l_i numero de átomos del enésimo elemento de la molécula de la especie de referencia.

- c_i fracción del enésimo elemento presente en la forma de la especie de referencia.
- M_o masa molecular media de la capa más externa de la parte continental de la corteza terrestre.

Las reacciones de referencia de los elementos teniendo sustancias de referencia sólidas, usualmente contienen sustancias de referencia gaseosas. Algunas veces, también aparecen especies de referencia sólidas. Por ejemplo, la sustancia de referencia solida del Mg es $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$, la reacción de referencia para el elemento Mg tiene la forma:



En tal caso, la exergía química estándar de la sustancia solida de referencia mostrada, deberá ser calculada, primero que el cálculo de la exergía química del elemento considerado.

Discusión de las variables usadas: La concentración media molar (n_{oi}) de los elementos de la capa más externa de la parte continental de la corteza terrestre, usada por Szargut, fue la recomendada por Polanski y Smulikowski citado por Szargut *et al* (Szargut, Valero, Stanek, & Valero, 2005). Ranz usó valores adoptados principalmente de Taylor y McLennan (Taylor & McLennan, 1985), (Taylor & McLennan, The geochemical evolution of the continental crust, 1995). Para los elementos: Br, C, Cl, F, S, Pt, Pu, Ra, Rh, Ru, Te, I, Hg y N, Taylor y McLennan no proveyeron ninguna información, por tanto Ranz usó los valores dados por Wedepohl (Wedepohl, 1995) para S, Br, C, F, I, Hg y N, y para los restantes elementos los valores usados por Szargut. Algunos autores como Plank y Langmur (Plank & Langmuir, 1998) basaron sus estudios sobre sedimentos marinos, sugiriendo ya en 1998, algunas revisiones de los valores estimados por Taylor y McLennan para Nb, Cs, Ti, Ta.

Como consecuencia, McLennan (McLennan, 2001) publicó en el año 2001, nuevas concentraciones media molares de los elementos más superficiales de la corteza continental: Sc, Ti, V, Co, Ni, Cs, Pb, Ta. Grigorev (Grigor'ev, 2000) publicó en el año 2000 el contenido promedio mineral de la capa más externa de la corteza continental, obtenida a través de un gran número de análisis cuantitativos mineralógicos de importantes rocas publicadas principalmente en USA y en la URSS. Recientemente, Grigorev actualizó esta información; este nuevo análisis comprende 255 minerales correspondientes al 99,3% del contenido total de minerales de la capa más externa de la corteza continental. Esta información de valores permitirá obtener directamente la concentración estándar molar de

las siguientes 12 sustancias de referencia en ambientes solidos sin usar la ecuación descrita atrás:

- $BaSO_4$
- $CaCO_3$
- Au
- Fe_2O_3
- $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
- MnO_2
- SiO_2
- $SrCO_3$
- ThO_2
- SnO_2
- TiO_2
- $ZrSiO_4$

Para las restantes sustancias, la ecuación anterior debe ser usada, tomando (n_{oi}) a partir de la última publicación geoquímica; primero los valores de McLennan complementándolos con aquellos de Wedepohl que puedan usarse. Para el resto de elementos que no aparecen en las publicaciones, (n_{oi}) debe usarse con la fórmula de Szargut.

La media de masa molecular de la capa más externa de la corteza continental, fue primero estimada por Szargut (Szargut, Exergy balance of metallurgical processes, 1961). El valor obtenido fue de $M_o = 135,5 \text{ kg/kmol}$, aplicando el siguiente método de estimación: de acuerdo a los datos geoquímicos, se asumieron la media de los valores de concentración (en mol/kg) de grupos químicos particulares o elementos en la capa externa de la corteza terrestre, y los compuestos formados a partir de esos grupos.

El primer grupo considerado fue el CO_2 , el cual aparece en la corteza terrestre principalmente en carbonatos de Ca , Mg , y Fe . Para 1 mol de ($CaO + MgO + FeO$) están presentes 0,035 mol de CO_2 . El grupo CO_2 fue particionado entre los grupos mencionados Zn , Cu , Pb y Cd , presentes también en la forma de carbonatos. El grupo SO_3 fue particionado

entre CaO y MgO formando sulfatos. Este asumió que una parte prevalente de metales (Sn , Co , Mn , Fe , Ni) se presentan en forma de diferentes óxidos (Co_2O_3 , Co_3O_4 , Fe_2O_3 , Fe_3O_4).

Igualmente se asume que el 8% de Fe presente en forma de Fe_2O_3 . Las restantes partes se presentan en forma de FeTiO_3 , FeCr_2O_3 y silicatos. Por ejemplo se asumen los siguientes silicatos: $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, KAlSi_3O_8 , $\text{NaFeSi}_2\text{O}_6$, MgSiO_3 , CaO , $\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_7$. Debido al gran contenido de SiO_2 , una gran parte de este se asume en forma libre. Después de estimar la composición de una muestra promedio de litosfera, se calculó su masa molecular.

Ranz (Ranz, 1999) actualizó la masa molecular de la capa más externa de la corteza continental terrestre usando la más reciente información geoquímica y adoptando no solo el enfoque geoquímico, sino también el geológico.

La metodología usada fue así: la norma internacional aceptada CIPW, citado por Szargut *et al.* (Szargut, Valero, Stanek, & Valero, 2005), se aplicó a las fracciones de masa de los principales grupos óxidos obtenidos por Carmichael citado por Szargut *et al.* (Szargut, Valero, Stanek, & Valero, 2005) para capas crónicas y sedimentarias, en razón a redistribuir los componentes químicos a partir de los óxidos a las moléculas que son representativas de minerales reales presentes en una roca.

A continuación, los minerales de la norma y sus respectivas masas relativas fueron modificados, ajustándolas a sus volúmenes reales de los principales grupos de cada roca. Finalmente, sus fracciones molares fueron calculadas y la media de masa molecular del total fue obtenida. El resultante M_o fue igual a 145,5 kg/kmol. Aunque esta metodología usó mejores valores geoquímicos que la de Szargut (Szargut, Exergy balance of metallurgical processes, 1961), e incluyó enfoques geológicos, no se debe olvidar que la norma CIPW es una manera artificial de obtener posibles minerales presentes en una roca. Por lo tanto, también es una aproximación.

A la luz del análisis de Grigorev, un peso molecular más agudo de la capa más externa de la corteza continental, basado sobre resultados experimentales más que en presunciones, puede ser fácilmente obtenido. El nuevo valor calculado es $M_o = 143,4 \text{ kg/kmol}$, la cual es muy cercana a la estimación hecha por Ranz (Ranz, 1999). La diferencia en la exergía

química de los elementos obtenidos con el nuevo peso molecular es casi despreciable: en promedio, tomando un peso molecular igual a 143,4 en vez de 145,5 hace una diferencia de exergía de sustancias de referencia sólidas de apenas 0,007%.

Para la fracción del enésimo elemento presente en la forma de especies de referencia (coeficiente c_i), Szargut citado Szargut *et al* (Szargut, Valero, Stanek, & Valero, 2005) asoció valores comprendidos entre 0,5 para las sustancias más abundantes y 0,001 para las sustancias menos frecuentes a partir de datos geoquímicos dados por Polanski y Smulikowski. Ranz (Riekert, 1974), obtuvo un más agudo **coeficiente** c_i para sustancias de referencia sólidas que contienen los más abundantes elementos de la capa más externa de la corteza continental. Para este propósito, ella uso la composición mineralógica de la capa más externa de la corteza de la Tierra obtenida con la norma CIPW antes y después de actualizada la información geoquímica, principalmente por Taylor y McLennan (Taylor & McLennan, The geochemical evolution of the continental crust, 1995). Para la minoría de elementos, debido a la carencia de información, se usaron los valores de Szargut. Cuanto más se conozca la composición mineralógica de la corteza terrestre y con esta se recalculen el **coeficiente** c_i se asumirán los valores obtenidos por Ranz. No obstante, forzar que la elección de un **coeficiente** c_i a otras 100 veces más grande, resultará en menos diferencias en la exergía química de los elementos, que la elección de otra sustancia de referencia.

Las tablas vistas en los apéndices de esta tesis de doctorado, muestran los resultados obtenidos para la exergía química de sustancias sólidas. Las sustancias de referencia sólidas asumidas, fueron aquellas tomadas por Szargut, basándose en el *Criterio de Szargut*, comentado al inicio de esta revisión. Las nuevas exergías químicas obtenidas difieren en 1,1% en promedio respecto a los valores obtenidos por Szargut. Tomando la concentración molar estándar empírica de sustancias de referencia sólidas halladas por Grigorev (Grigor'ev, 2000) en lugar del cálculo de fórmula citada anteriormente, implica una diferencia en la exergía química del elemento de menos de 4%, a excepción del Au (14%) y el F (18%). Para los últimos elementos, la diferencia más grande se debe a la gran sensibilidad del Au a z_o , dado que su ΔG_f es igual a cero y en mayor proporción de átomos de Ca en la sustancia de referencia de F, respectivamente.

1.5 Arvenses como biomasa

Para González (2008) es importante que exista un manejo adecuado de las arvenses en los agroecosistemas, ya que pueden ser un recurso económico alternativo para la comunidad campesina, además del cultivo anual, pero también pueden causar pérdidas. (Gonzalez, 2008).

La misma autora plantea la hipótesis, la cual en un agroecosistema tradicional, conservar la diversidad vegetal es una estrategia de manejo, en el que la biomasa útil de las plantas que crecen espontáneamente, puede representar una parte relevante de la producción vegetal en términos económicos para las familias campesinas. (Gonzalez, 2008, pág. 13).

González (2008), citando a Vibrans (2006), argumenta que las arvenses son aquellas plantas que constituyen la vegetación que crece de forma espontánea entre los cultivos anuales, viviendo en competencia con la vegetación sostenida por el ser humano. (Gonzalez, 2008, pág. 14).

Citando a Harlan (1976), la autora reconoce que los agroecosistemas tradicionales son genéticamente diversos, contienen poblaciones de razas geográficas variables y adaptadas de los cultivos, así como de sus parientes silvestres. Las especies arvenses forman parte de la diversidad de especies del cultivo. (Gonzalez, 2008, pág. 15).

Describe igualmente los tipos de diversidad biológica, planteados por Halffter y Ecurra (1992), así: 1) Diversidad alfa (dentro de un tipo de vegetación o hábitat o área pequeña): es el número de especies presentes en un mismo hábitat considerando su abundancia relativa; 2) Diversidad beta (dentro de un tipo de vegetación de un lugar a otro): Es la heterogeneidad espacial; y 3) Diversidad gama: está dada por la diversidad de ecosistemas en una región o paisaje determinado. (Gonzalez, 2008, pág. 16).

Como en la presente Tesis Doctoral, González (2008), toma los índices de diversidad, en cuanto que, estos, han sido ampliamente usados en el análisis de comunidades vegetales y reflejan la estructura de la comunidad, por cambios en la riqueza de especies, equidad y, en algunas ocasiones, densidad, según Dorgeloh (1999), citado por la autora, además

que describe al *Índice de Shannon* como uno de los más utilizados, ya que combina la consideración de la riqueza y equidad de especies (Gonzalez, 2008, pág. 16):

$$H' = \sum_{i=1}^s (Pi)(\log_2 Pi)$$

Donde:

Pi = es la proporción de todos los individuos en la muestra

$\ln Pi$ = es el logaritmo natural de pi.

Para González (2008), la importancia de las arvenses está dada por su papel en la productividad de un agroecosistema, por la que dicho estudio de la productividad de agroecosistemas tradicionales, requiere considerar la totalidad de la biomasa útil que proviene de una superficie agrícola, para evaluar en forma integral la aportación que está haciendo cada uno de sus componentes y no solo el cultivo principal; afirma además, citando a Odum (1982), que desde el punto de vista biológico, la productividad primaria se define como la tasa a la cual la energía radiante es almacenada por la actividad fotosintética en forma de materia orgánica y que se suele distinguir entre productividad primaria bruta y productividad primaria neta: siendo la primera, la que se refiere al total de la actividad fotosintética (incluyendo aquella parte de energía radiante captada pero usada en el proceso de respiración), y la segunda, como la productividad primaria neta, que es igual a la tasa de energía realmente incorporada a los tejidos de la planta. (Gonzalez, 2008, pág. 18). Finalmente, González (2008), encontró (estudiando las arvenses dentro del cultivo de maíz, en México), que las prácticas agrícolas afectan la riqueza, diversidad y cobertura de las arvenses, y que en el manejo adecuado de estas (en el poblado Nanacamilpa, donde realizó su estudio, se acostumbra dos cortes de arvenses en el ciclo del cultivo, una al principio de la siembra y otra antes de la cosecha) puede seleccionar y limitar el desarrollo de especies útiles y potenciales; además encontró que existe relación entre la cobertura de especies y la biomasa producida por estas, y que, potencialmente, la biomasa producida de maíz es superada en un 41% por la biomasa de plantas silvestres útiles. (Gonzalez, 2008, pág. 75).

Por otro lado, Labun, Salamon y Grulova (2012), estudiando la dependencia que la biomasa sub superficial, superficial y la total tienen con el pH del suelo, en un estudio sobre la arvense *Equisetum arvense* L. (Cola de caballo), creciendo naturalmente en dos

localidades de Eslovaquia oriental, sobre suelos arenosos y arcillosos con alta humedad; esta arvense común en las zonas templadas de la Tierra, sobre suelos pobres inundados, pero prácticamente inexistente en el trópico, es importante por su nula necesidad de condiciones nutricionales donde se desarrolla, contenido de oro (0,5% en cenizas) y su existencia desde el precámbrico. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 398)

Los autores citados, encontraron que el peso de biomasa colectado es directamente dependiente del pH del suelo, mostrando que con el incremento del pH, también se incrementa el contenido de biomasa; de forma contraria al del carbono orgánico (materia orgánica y humus) del suelo, mientras este aumenta, los contenidos de biomasa total, superficial y sub superficial, no lo hicieron. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 401).

Para Labun, Salamon y Grulova (2012), citando a Fowler y Antonovics (1981), el hábitat de biotipos de plantas dentro de un ambiente heterogéneo, tiene una influencia positiva sobre su crecimiento, reproducción y mortalidad, añadiendo que la heterogeneidad espacial, aun a una escala relativamente pequeña, puede producir grandes cambios demográficos dentro del desarrollo de las poblaciones naturales. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 402).

Los autores citando a Helal y Sauerbeck (2007), que observaron el uso del carbono orgánico del suelo para la creación de biomasa de maíz, sostienen que este elemento tiene influencia para la creación de biomasa sub superficial y superficial, conjuntamente. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 402).

En su estudio de tres años, 2009 a 2011, sobre la arvense “cola de caballo”, los autores encontraron que factores bióticos y abióticos, también tienen importante influencia sobre la formación de biomasa; entre los factores básicos que influyen la biomasa total, superficial y sub superficial, están el clima, el tiempo meteorológico, y las sustancias minerales del suelo. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 403). Igualmente encontraron que el incremento del contenido de humus y de magnesio, no incrementaban la biomasa estudiada; al contrario, el contenido de potasio del suelo si incrementó la formación de biomasa en sus tres mediciones. (Labun, Salamon, & Grulova, 2012, pág. 404).

1.6 Lombrices como biomasa

Calculo de biomasa en lombriz de tierra.

Para la organización ambiental *Observatorio de Lombriz de los Grandes Lagos* de la Universidad de Minnesota, USA, (2015), el peso fresco de una lombriz de tierra, puede cambiar hasta un 20%, dependiendo de la cantidad de humedad que hay en el suelo. (Natural Resources Research Institute University of Minnesota, 2015)

Además, si una lombriz de tierra tiene un intestino lleno o vacío, también puede afectar su peso fresco en un 10 a 20 por ciento. Así que, si se desea una medida de la biomasa de lombrices de tierra, que sea comparable a otros sitios, otros momentos del año o en diferentes años, es necesario utilizar una medida de la biomasa que elimine el problema de la humedad y de los contenidos intestinales. (Natural Resources Research Institute University of Minnesota, 2015)

Para eliminar el problema de la variabilidad, debido al contenido de humedad, puede secarse las lombrices de tierra a 60 °C, durante 24-48 horas, para conseguir "la biomasa seca de lombrices de tierra"; para eliminar el problema de la variabilidad debido al contenido de los intestinos, se puede hacer una de tres cosas: 1) Mantenga las lombrices vivas en contenedores hasta vaciar los intestinos (24-48 horas, si no mueren en el proceso); 2) Diseccione la lombriz de tierra preservada y vacíe su intestino abierto hasta que se eliminen todos los contenidos (un difícil trabajo); y 3) Seque la "Ceniza" de la lombriz de tierra, en un horno de mufla a 500 °C, que elimina todo, excepto el contenido intestinal, que se compone principalmente de suelo mineral, a continuación, reste el peso de la ceniza, del peso seco de la lombriz de tierra, para conseguir "la biomasa de lombriz libre de cenizas, en seco". (Natural Resources Research Institute University of Minnesota, 2015).

Ecuaciones alometricas para estimar biomasa.

Para el NRRI de la Universidad de Minnesota (USA) (2015), científicos de muchas áreas de estudio, se han ocupado de este problema, mediante la creación de ecuaciones que estiman el valor de la biomasa de un organismo determinado, utilizando cierta medida del

cuerpo que está fuertemente correlacionada con la biomasa. (Natural Resources Research Institute University of Minnesota, 2015)

Debido a que las lombrices de tierra son, básicamente un cilindro, es posible determinar una ecuación alométrica que estima de forma fiable la biomasa seca libre de ceniza (*ash-free*) usando la longitud conservada (en mm); la medición de la longitud de la lombriz de tierra es mucho más fácil, que la determinación de la biomasa libre de cenizas en seco; se ha proporcionado con una ecuación, que permite utilizar una hoja de cálculo para calcular " gramos secos sin cenizas " (AFDG) de la biomasa de las lombrices de tierra, utilizando la longitud (en milímetros) de las lombrices de tierra en conserva; mediante la regresión lineal estimada por Hale, Frelich y Reich (2004), se pudo constatar que la longitud está directamente influenciada por el contenido de biomasa seca libre de ceniza (Hale, Frelich, & Reich, 2004):

$$\ln(\text{masa seca libre ceniza}) = b \ln(\text{longitud}) + \ln a$$

Con las hojas de cálculo anexas (Ver Tesis PhD Mauricio García 2015\Hoja de cálculo biomasa lombriz.xls) (Natural Resources Research Institute University of Minnesota, 2015), estos autores, sostienen que se debe tener en cuenta tres aspectos para una buena aplicación de la fórmula de regresión (Hale, Frelich, & Reich, 2004): 1) Mida la longitud de sus lombrices conservadas, al milímetro (mm); la ecuación sólo es precisa, si la medida de longitud es en milímetros; si la lombriz de tierra es curva, utilice algunas pinzas para enderezarla a lo largo de la regla (Ver Figura 1.2.); 2) Introduzca las medidas de longitud en la hoja de cálculo, anexa; y 3) por último, puede convertir la biomasa total de lombrices de cada parcela, a una biomasa total estimada de lombrices por m², multiplicando el total de la parcela por el número 9 (asumiendo que es una parcela de 33cm x 33cm), por ejemplo, si hay tres lombrices de tierra recogidas con longitudes de 18, 20, y 24 mm, su AFDG de la biomasa de cada una fue 0,005, 0,0064 y 0,0096, respectivamente, y la biomasa total de la parcela fue de 0.021 AFDG; para convertir el valor de parcela de muestreo, a una base por metro cuadrado, simplemente se multiplica el total de la parcela por 9 (Hale, Frelich, & Reich, 2004):

$$0,021 \times 9 = 0.189 \text{ AFDG} / \text{m}^2$$

Figura 1-2: Lombriz en conserva para determinar longitud y calcular (AFDG). (Natural Resources Research Institute University of Minnesota, 2015).



Fuente: (Natural Resources Research Institute University of Minnesota, 2015)

1.7 Artrópodos como biomasa

Para Zhang (2011), según un informe estadístico, los artrópodos representan el 90 % de las especies mundiales, citando a Pimental *et al.* (1992). En las praderas templadas, los artrópodos poseen una enorme biomasa (1.000 kg/ha), seguido de las plantas (20.000 kg/ha) y los microorganismos (7000 kg/ha), los cuales son mucho más altos que la de los mamíferos (1,2 kg/ha), las aves (0,3 kg/ha), y los nematodos (120 kg/ha), citando a Pimental *et al.* (1992) y a Chen y Ma (2001). Los artrópodos gobiernan las estructuras y funciones de los ecosistemas naturales, pero siempre son ignorados por los investigadores, citando a Wilson (1987). (Zhang, 2011).

Ahora como considera Nicholls (2008), citando a Altieri (2004):

La diversidad de artrópodos se correlaciona con la diversidad vegetal en agroecosistemas. En general una mayor diversidad de plantas implica una mayor diversidad de herbívoros, y esto a su vez determina una mayor diversidad de depredadores y parásitos, lo que resulta en cadenas tróficas complejas. Una biodiversidad total mayor puede asegurar la optimización de procesos ecológicos claves y el funcionamiento de los agroecosistemas (Nicholls, 2008, pág. 180).

Un gran número de estudios, se han dedicado a encontrar la relación entre la diversidad de artrópodos y la composición de las plantas. Se ha concluido que las arvenses influyen en la diversidad de insectos dentro de un sistema cultivo – arvenses – insectos, según

Altieri y Letourmeau (1984), Altieri (1994), (1995) citados por Zhang (2011). (Zhang, 2011, pág. 37).

Una comunidad con la más compleja composición de especies de plantas contendrá la mayor diversidad de insectos según Szentriralyi y Kozar (1991), Sheng *et al*, (1997), citados por Zhang (2011). (Zhang, 2011, pág. 38). Algunos estudios forestales describen como significativa la relación entre la comunidad de plantas y la comunidad de insectos, según Dong *et al* (2005), Jia *et al* (2006), citados por este mismo autor. (Zhang, 2011, pág. 38).

Sin embargo, existe una correlación positiva entre la comunidad de plantas y la de insectos depredadores y parásitos, y, por el contrario, una correlación negativa entre la comunidad de plantas frente a la comunidad de insectos defoliadores, según Dong *et al*. (2005). La población de artrópodos dominantes en las tierras cultivadas está regulada negativamente por la diversidad de la vegetación, pero una regulación positiva pudiera ocurrir en algunos casos, según Andow (1991), igualmente citado por Zhang (2011). (Zhang, 2011, pág. 38).

Muchas evidencias han revelado como más complejas que significativas, las relaciones entre los artrópodos y la composición vegetal; los mecanismos que producen estas relaciones, no pueden ser explicados claramente, y estas son, generalmente, relaciones de forma no lineal, según Schultz y Wieland (1997) y Pastor - Bárcenas *et al*.(2005), citados por Zhang (2011). (Zhang, 2011, pág. 38).

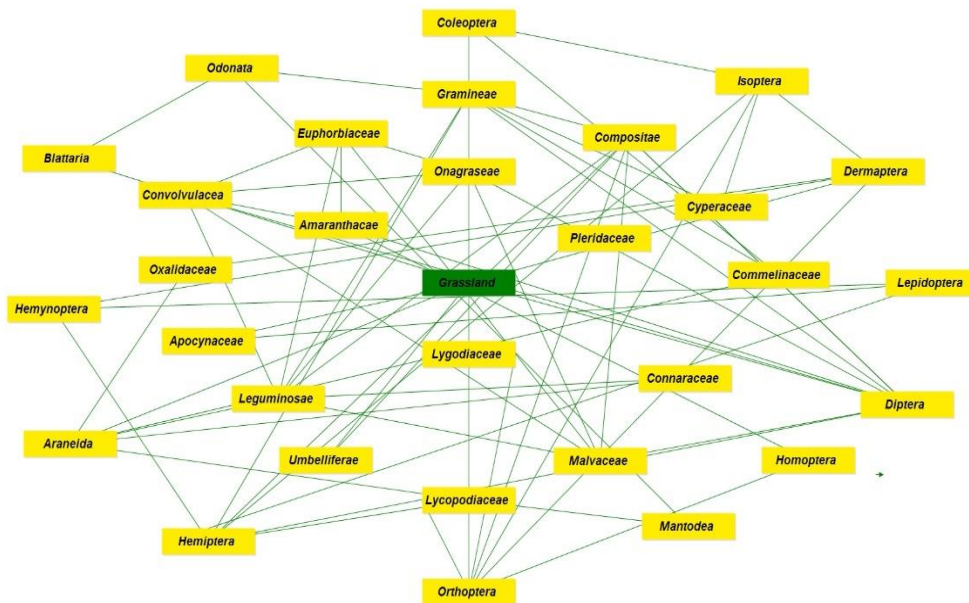
Para lo anterior, Zhang (2011), ha propuesto evaluar el modelo de redes neuronales artificiales (ANN) frente al modelo análisis multivariado (MAM) y al modelo de respuesta de superficie (RSM), en búsqueda de explicar la función no lineal de las relaciones entre la abundancia de artrópodos y la composición vegetal en las praderas.

Zhang (2011), explica que las ANN, son funciones de aproximadores universales de relaciones no lineales, según Acharya *et al* (2006), Bianconi *et al*,(2010), Nour *et al* (2006), Zhang y Barrion (2006), y Zhang *et al*, (2007), citados por Zhang (2011) (Zhang, 2011, pág. 38); las ANN, podrían ofrecer ventajas como modelos más simplificados y automatizados, respecto a modelos de síntesis y analíticos, tipo insumo – producto (*input-output*), según Abdel – Aal (2004) y Tan *et al* (2006); este modelo ANN, es considerado ser más eficaz en

predicción de series de tiempo, que procedimientos previos basados en la teoría de los sistemas dinámicos, según Ballester *et al.*(2002), citado Zhang (2011). (Zhang, 2011, pág. 38).

En su estudio, el autor concluyó que la abundancia de artrópodos en las praderas, está gobernada por el tipo de familias de plantas y por sus grados de cobertura (composición de la planta); el modelo de redes neuronales artificiales, fue superior al modelo multivariado de regresión y al modelo de respuesta de superficie, en el modelado de la abundancia de artrópodos y de la composición vegetal. (Zhang, 2011, pág. 45).

Figura 1-3: Complejo de interacciones en el sistema artrópodo – plantas, bajo un ANN por Zhang (2007). (Zhang, 2011, pág. 41)



1.8 Caracterización de algunos elementos exergético de los sistemas

1.8.1 Aguas residuales y DBO en producción de café

La demanda biológica de oxígeno (DBO) y la caracterización de las aguas residuales en el beneficio de café, método húmedo, se muestran en la tabla siguiente elaborada por Selvamurugan, Doraisamy, Maheswari y Nandakumar (2010), en un trabajo sobre tratamiento de las aguas residuales de café (CPWW, por su sigla en inglés) mediante el uso de un reactor híbrido de flujo ascendente, en India. En este se obtuvo que el mejor tiempo de tratamiento estaba en las 18 horas (midiéndose lapsos de cada 6 horas, hasta las 24 horas), resultando en un DBO de 66% con una tasa de carga orgánica de 9,55 kg / m³ / día, sólidos totales de 58% y una capacidad del reactor de 19,5 litros (Selvamurugan, Doraisamy, Maheswari, & Nandakumar, 2010, pág. 129).

Tabla 1-5. Caracterización física, química y biológica de aguas residuales de procesamiento de café en India.

Parámetros	Concentración
Propiedades físicas	
Sólidos disueltos totales (mg/L)	1130-1380
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	2390-2820
Sólidos totales (mg/L)	3520-4200
Propiedades Físicoquímicas	
pH	3.88-4.21
Conductividad eléctrica (dS/m)	0.96-1.20
Oxígeno disuelto (mg/L)	2.0-2.6
Demanda biológica de oxígeno (mg/L)	3800-4780
Demanda química de oxígeno (mg/L)	6420-8480
Relación DBO:DQO	0.56-0.59
Carbono orgánico total (%)	0.36-0.48
Nitrógeno (mg/L)	125.8-173.2
Fosforo (mg/L)	4.4-6.8
Potasio (mg/L)	20.4-45.8
Calcio (mg/L)	67.8-92.0
Magnesio (mg/L)	42.5-62.1
Cloro (mg/L)	25.2-46.8
Sodio (mg/L)	7.8-13.8

Fuente: (Selvamurugan, Doraisamy, Maheswari, & Nandakumar, 2010, pág. 132).

1.8.2 Residuales de NO_3 , SO_4 y PO_4 contaminantes en suelo

Para Shvartsev, Liu y Kamaletdinova (2012), en un análisis de aguas subterráneas sobre los residuos contaminantes de NO_3 , SO_4 y PO_4 en aguas subterráneas, en la densamente agrícola y poblada cuenca del río Jiangnan en la provincia Hubei en China, provienen de dos fuentes: de interacción natural con la penetración de la precipitación atmosférica hasta el material rocoso presente, según los autores citados, el cual no es significativo debido al intercambio de agua (Shvartsev, Liu, & Kamaletdinova, 2012, pág. 138).

Este proceso, continúan los autores, forma aguas profundas a una distancia de 80 metros con sólidos disueltos totales (TDS) cercanos a 0.6–0.7g/L y pH 7.3–7.4, con estructuras de HCO_3 -Ca-Na; para estos investigadores todos los demás elementos se encuentran a concentraciones normales (Shvartsev, Liu, & Kamaletdinova, 2012, pág. 139).

La otra fuente, según el estudio citado, es por contaminación por precipitación atmosférica en el horizonte de suelo durante el proceso de disolución de productos tecnológicos a partir de la aplicación de fertilizantes agrícolas.

Dependiendo del tipo de fertilizante usado las concentraciones de NO_3 , SO_4 y PO_4 se incrementan en diferentes combinaciones con el agua y naturalmente también con Na, Ca o Mg, según cita el estudio (Shvartsev, Liu, & Kamaletdinova, 2012, pág. 140).

La cantidad de productos tecnológicos, anotan los autores citados depende de muchos factores tales como si el depósito de agua de constitución de las arcillas está presente o ausente en la zona no saturada y en la cantidad y tipo de fertilizante usado (Shvartsev, Liu, & Kamaletdinova, 2012, pág. 140).

Los autores citados presentan una tabla comparativa de concentración de algunos elementos en análisis de aguas subterráneas y sus límites permitidos, de los cuales se extrae solo la información para NO_3 , SO_4 y PO_4 , de importancia para esta Tesis Doctoral:

Tabla 1-6. Comparación de concentración de NO₃, SO₄ y PO₄ y sus límites permitidos, en estudio de aguas subterráneas en Hubei (China) en 2012.

Elementos, compuestos	Limite permisible en mg/L				Contenido máximo en agua	Cantidad de puntos los cuales exceden el límite de concentración máxima	
	China	Rusia	USA	OMS*		Rusia	USA
SO ₄	250	500	250	400	201	0	0
NO ₃	20	45	45	45	172	2	2
PO ₄	-	0,3	-	-	1,14	4	-

(*)Organización Mundial de la Salud

Fuente: (Shvartsev, Liu, & Kamaletdinova, 2012, pág. 140)

1.8.3 Contaminación del suelo por Glifosato, Clorpirifos y Dimetoato

Para la red de acción contra los pesticidas (PAN-Europa, 2010), los pesticidas, entre ellos, el glifosato, el clorpirifos y el dimetoato, tienen efectos contaminantes ambientales en el suelo, bajo los cuales su transporte, persistencia o degradación depende de las propiedades químicas de estos, así como de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo; todos estos afectan los procesos de sorción (interacción de una fase líquida con una sólida) / desorción, toma por las plantas, pérdida y lixiviado de los pesticidas (PAN-europe, 2010, pág. 2). Destaca la ONG, que la Sorción, es la más importante interacción entre el suelo y los pesticidas y esta a su vez limita su degradación como también el transporte en el primero; los pesticidas se adhieren a la materia orgánica o a las partículas de arcilla, haciéndose menos móviles o biodisponibles, como también menos accesibles a la degradación microbial, por tanto se hacen más persistentes (PAN-europe, 2010, pág. 3).

Para PAN-europe (2010), la materia orgánica es el factor más importante de sorción y lixiviado de pesticidas en el suelo; la adición de materia orgánica al suelo puede mejorar la sorción y reducir el riesgo por la contaminación del agua; se ha demostrado que la cantidad y composición de la materia orgánica tiene alto impacto sobre la sorción de pesticidas un efecto, colocando como ejemplo que los suelos ricos en humus son más químicamente reactivos a los pesticidas que los no humificados, citando a Farenhorst (2006) (PAN-europe, 2010, pág. 3). Respecto de su efecto sobre los organismo del suelo, PAN-europe (2010), destaca que el dimetoato puede afectar negativamente la simbiosis

de los hongos micorrizóticos, citando a Menéndez et al. (1999) y a Chiocchio et al. (2000) (PAN-europe, 2010, pág. 5).

Por otra parte citando a Reinecke y Reinecke (2007), en un estudio sobre orquídeas en Suráfrica, la ONG, sostiene que el clorpirifos, tiene un efecto adverso sobre la biomasa de lombrices de tierra y sobre la actividad de la colinesterasa, sosteniendo, los autores citados, que las lombrices fueron afectadas en mayor detrimento, debido a la exposición crónica e intermitente del pesticida (PAN-europe, 2010, pág. 5). Igualmente sostiene PAN-europe (2010), que en un estudio sobre glifosato y clorpirifos en un cultivo transgénico de soya en Argentina, se encontró que estos causan varios efectos adversos a nivel celular en las lombrices de tierra (daño en su ADN), logrando problemas en su reproducción e inhibición en suelos con altos residuos de estos dos pesticidas, concluye citando a Casabé et al. (2007) (PAN-europe, 2010, pág. 6).

1.8.4 Poder calórico de algunos insumos usados en la producción de los tres sistemas

Tabla 1-7. Poder calorífico de algunos insumos usados en la producción de café en los tres sistemas, en estudio exergo ecológico (2014).

insumo	Fuente de referencia	Valor
Glifosato	recuperación en tratamiento de aguas de desecho (Shen, y otros, 2013)	2.37 kWh kg ⁽⁻¹⁾
	(Yu, Zhou, Han, & Li, 2013)	-1478.36 kJ mol ⁻¹
Clorpirifos	en absorción de suelo (Mbugua, Mbui, & Kamau, 2014, pág. 9)	-11.7946+ ₋ 0.3kJol/mol
Dimetoato	en proceso de sorción en suelos de India (Rani & Sud, 2014, pág. 480)	-15.81 to -16.60 kJ mol ⁻¹
Gasolina	Estudio de la Combustión de un Motor Mono cilíndrico (Camarillo, 2011, pág. 34)	47300 kJ/kg
Diésel	quantity of heat produced by its combustion (Engineering Toolbox, 2016)	44800 kJ/kg

Fuente: Compilación el autor

2. Metodología

Esta tesis doctoral, implementó en las muestras colectadas aleatoriamente, dentro de los 15 transectos, distribuidos en las tres fincas tipo, de la vereda *La Marcada* del municipio de Líbano (Tolima), durante el año 2014, los siguientes parámetros: 1) el cálculo de biomasa para arvenses (aérea y radicular, fresca y seca) y la taxonomía de ésta; 2) el cálculo de biomasa por deshoje natural; 3) el cálculo de biomasa de arbustos de café; 4) el cálculo de biomasa por residuos de cosecha; 5) el cálculo de biomasa para lombrices (p. fresco y p. seco); 6) la identificación taxonómica y cuantificación *in situ* de artrópodos; 7) composición mineralógica de suelos y tejido vegetal; 8) cálculo de biomasa de especies asociadas al café; 9) el cálculo del *índice de Shannon*; y 10) el cálculo del *índice de Simpsons*. Sus resultados fueron colegidos, al final, dentro del *cálculo de la exergía del sistema* cultivo de café orgánico, convencional o mixto, mediante el *análisis multivariado de la información*.

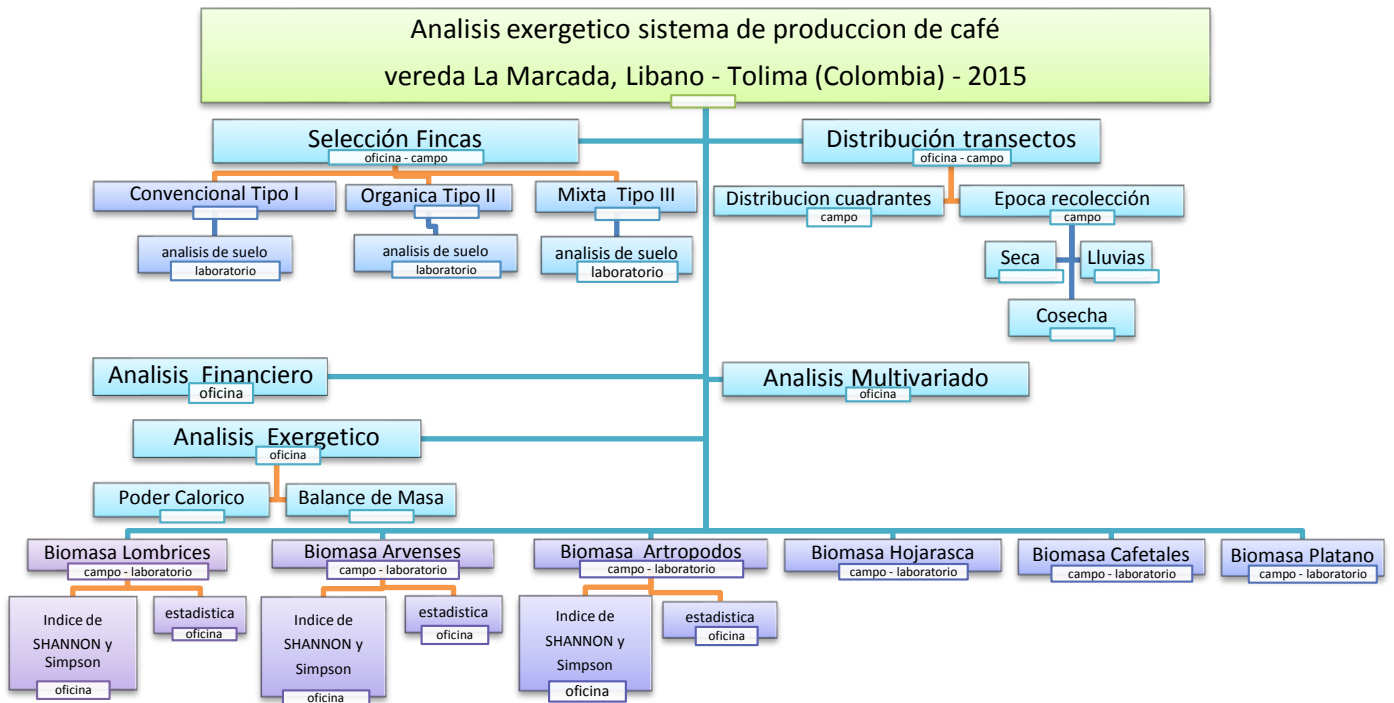
La metodología incluye dos áreas de trabajo: 1) la toma en campo y procesado de muestras en laboratorio, donde se obtuvo los parámetros y las variables que influyeron en la cantidad de exergía a calcular; y 2) el cálculo de la exergía, el cual contiene: Indicadores de Sustentabilidad, Análisis Multivariado y Análisis Mono variado.

2.1 Localización de transectos

La localización de la zona de estudio corresponde al departamento del Tolima, municipio del Líbano, Vereda *La Marcada*, sus coordenadas, corresponden a Latitud: 04°55" N - Longitud: 75°10" O. Se estudió los registros históricos climatológicos, a partir de 1960 de la zona de estudio, como elemento fundamental para la investigación.

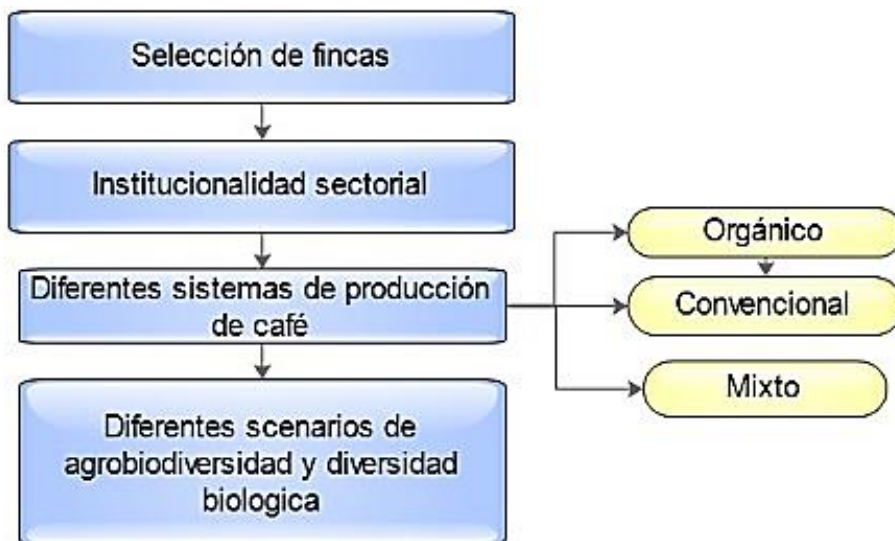
Además, se contó con información en tiempo real de los aspectos climatológicos, para ser tenidos en cuenta en el estudio.

Figura 2-1: Mapa conceptual metodología de tesis de grado doctoral, 2016.



Fuente: el autor

Figura 2-2: Selección tipos de finca para ubicación transectos.



Fuente: El autor

De acuerdo con Gonzales *et al.*, (1997) estos suelos pertenecen a la Unidad Líbano cuyo material parental son cenizas volcánicas y su contenido pedológico es *Melanudans*. Estos suelos muestran baja fertilidad en cuanto al contenido de bases intercambiables y fósforo soluble es muy pobre. Presentan en cambio, alto contenido de materia orgánica. Se encuentra mapificada en el departamento del Tolima en los municipios Líbano, Lérída, Venadillo, Santa Isabel y Anzoátegui: *Ecotopos 207B*, dando mayor uniformidad a los resultados.

2.1.1 Selección fincas tipo

Finca Convencional.

Para el caso del estudio es denominada **Finca Tipo I**, y está caracterizada por estar diseñada en Monocultivo de café, el manejo convencional del sistema productivo, la aplicación de fertilizantes y plaguicidas químicos de síntesis y no tiene en el diseño, especies vegetales asociadas al cultivo.

Finca Orgánica.

Para el caso del estudio es denominada **Finca Tipo II**, y está caracterizada por estar diseñada en Policultivo y/o Asociaciones de café, el manejo ecológico del sistema productivo, la aplicación de Abonos Orgánicos, caldos minerales, Inoculantes microbiales, Hongos antagonistas, control biológicos y arreglos alelopáticos y simbióticos. Por lo anterior este sistema en su diseño tiene varias especies vegetales asociadas al cultivo del café.

Finca Mixta.

Para el caso del estudio es denominada **Finca Tipo III**, y está caracterizada por estar diseñada en arreglos Plátano – Café, el manejo limpio del sistema productivo, la aplicación racional de fertilizantes y plaguicidas químicos de síntesis y este sistema en su diseño tiene una o dos especies vegetales asociadas al cultivo del café.

2.1.2 Establecimiento parcelas de muestreo (Transectos)

En cada finca tipo, se establecieron cinco (5) transectos (50 m x 2 m) distribuidos al azar, distanciados el uno del otro, máximo por 20 m y sin interceptarse, en lo posible según se

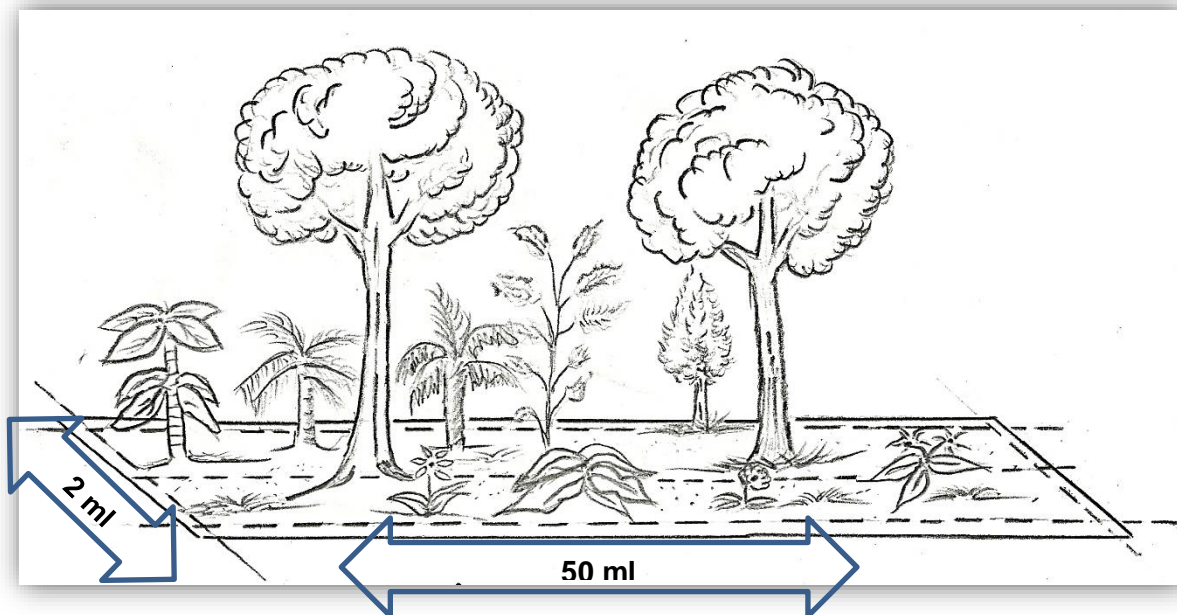
deben manejar en cada finca tipo (Alvarez, y otros, 2006, pág. 72). Los diseños de cada Finca Tipo, con los respectivos transectos fue la siguiente:

Figura 2-3: Ubicación y demarcación de transecto para las fincas tipo.



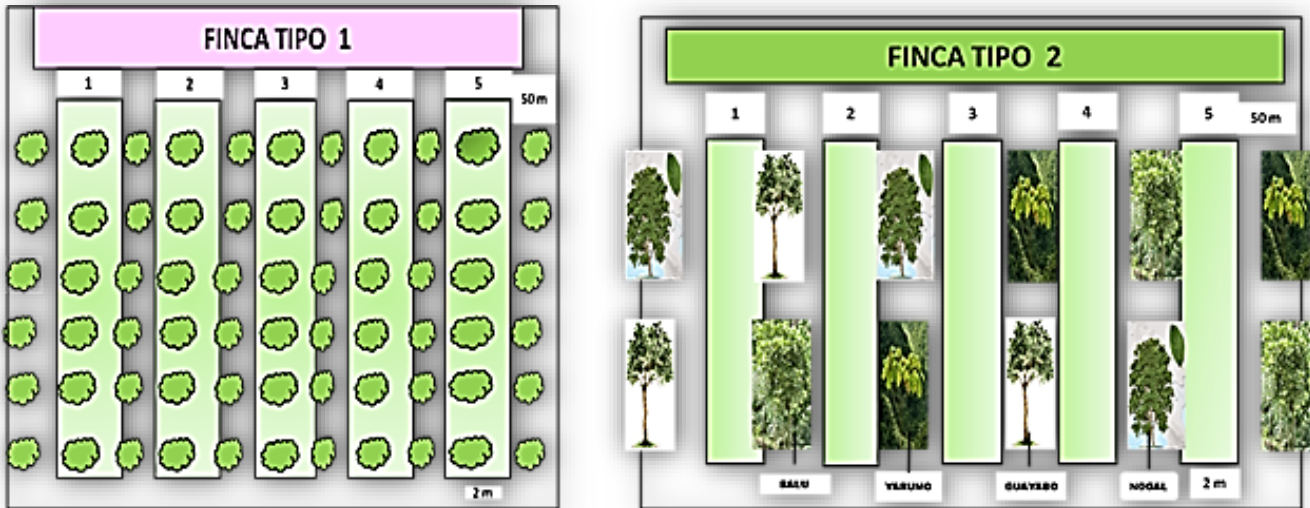
Fuente: El autor.

Figura 2-4: Esquema de transecto para las fincas tipo.



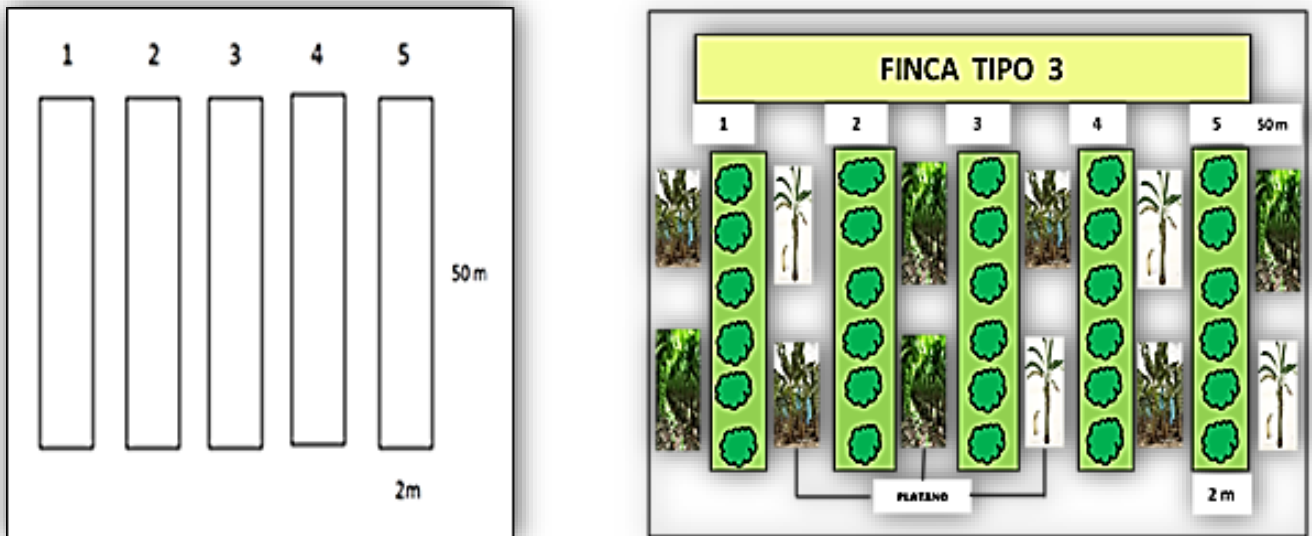
Fuente: El autor

Figura 2-5: División de cinco transectos, con cinta amarilla Tipo I y II.



Fuente: El autor

Figura 2-6: Modelo finca tipo III, ubicación transectos.



Fuente: El autor

Cada transecto de 50 m x 2 m, se trazó con una cuerda y con una vara de 1 ml, se estableció la distancia a cada lado de la cuerda. Se censaron todos los individuos que se encontraron dentro del área de muestreo, se colectaron, se estimó su altura, se registró su hábito de crecimiento y todas las características que permitieron reconocerlos posteriormente.

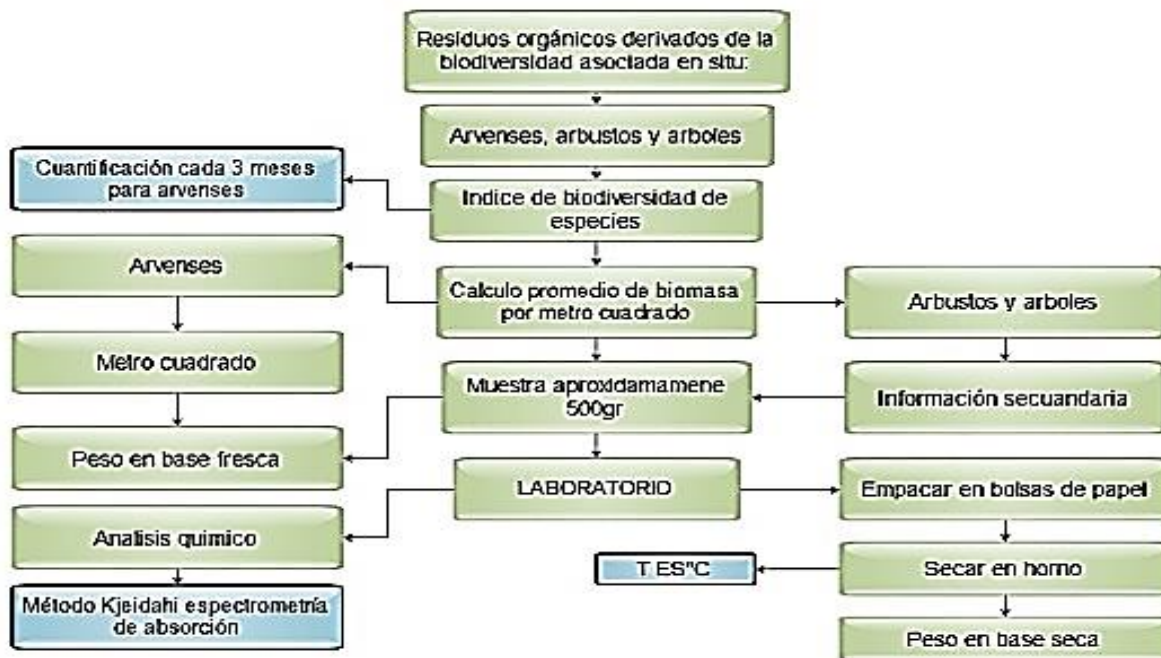
2.2 Métodos y parámetros

Durante la fase de recolección en campo y la posterior en el cálculo del *índice de Shannon* y *el de Simpsons*, se calcularon los siguientes parámetros dentro de los métodos más afines a los mismos:

2.2.1 Biomasa asociada al sistema *in situ*

Con el fin de asociar la biodiversidad florística a la generación de biomasa, al interior de cada finca, se caracterizaron los diferentes espacios de uso mediante el análisis y caracterización de transectos, que constituyen el predio o que caracterizan cada una de las fincas; es decir se hizo una mapificación de transectos de diversidad vegetal (estos transectos se tomó en el sentido de la pendiente). Los componentes de este análisis fueron los siguientes:

Figura 2-7: Diseño de cálculo de biomasa por sector (metro cuadrado).



Fuente: El autor

Arvenses, arbustos y árboles.

Clasificación de especies en el transecto: Para el registro de la información en campo, se utilizaron libretas topográficas, formatos de campo previamente diseñados y una grabadora.

A medida que se registraron los individuos en un transecto, se numeraron consecutivamente. Cuando se colectó un individuo dentro de un transecto, se guardó en una bolsa separada y marcó con cinta de enmascarar o un papel con el número del transecto y el número de secuencia de registro dentro del transecto.

Se contó con el apoyo del Laboratorio de Botánica de la Universidad del Tolima, para la caracterización de las especies. Una vez finalizó la fase de campo, se llevó a cabo una lista de especies realizada en los muestreos, con base en las correcciones hechas. Con estos datos organizados se realizaron los *cálculos de Shannon y Simpson*.

Figura 2-8: Aleatorización de muestras para arvenses, artrópodos y lombrices, dentro de transectos



Fuente: El autor

Índices de diversidad de especies:

Shannon:

$$H' = \sum_{i=1}^S (P_i)(\ln P_i)$$

Donde, n_i = número de individuos en el sistema o muestra que pertenecen a la especie "i" y N = número de individuos.

Simpson:

$$\lambda = \sum_{i=1}^s \frac{ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde, ni= número de individuos en el sistema o muestra que pertenecen a la especie “i” y N= número de individuos.

Para el *índice de Simpson*, el valor mínimo es uno, y para el *índice de Shannon* el valor mínimo es cero. Ambos mínimos, indican la ausencia de diversidad. En teoría, el valor mínimo para cada índice es limitado solamente por el número de especies y que tan uniformemente estuvieron distribuidas en el ecosistema. Los ecosistemas naturales relativamente diversos, tienen un índice de Simpson de cinco (5) o mayor y un índice de Shannon de tres (3) o cuatro (4).

Cálculo promedio de biomasa por metro cuadrado: Simulando la periodicidad del manejo de arvenses en cada finca tipo, en este componente se realizó, en cada transecto, una cuantificación promedio mediante toma de muestras al azar de la biomasa en base fresca de las arvenses, por metro cuadrado, tanto aérea como radical, para lo cual se realizó en los transectos el muestreo de 0,001 Ha, que corresponden a 10 m² por replica; mediante la utilización de un marco de 1 m², se tomó de dichas muestras de biomasa de arvenses, en bases frescas, tanto aérea como radical, y como fueron tres (3) replicas, se realizó dicha toma de muestra tres (3) veces por cada transecto. Para las arvenses, posteriormente, la biomasa de hojas, ramas y raíces extraídas se empacó muestra de aproximadamente 500 g, que se colocó en bolsas plásticas para llevarlas al laboratorio, en donde se pasó a bolsas de papel y se secó en el horno a 65°C. A continuación se estableció su peso en base seca. Esta cuantificación se realizó cada tres (3) meses (dependiendo del manejo agronómico de las arvenses en cada finca tipo); este cálculo se ingresó a los respectivos balances de masa del análisis exergético.

Análisis Químico por aportante de biomasa y especies prioritarias: Con el fin de estimar los aportes de nutrientes, se desarrolló en el laboratorio el análisis de tejido vegetal, mediante extractos de digestión y obtener así las concentraciones de N por el método de semi-micro Kjeldahl; y para K, P, Ca, Mg, S, Fe, Zn, Cu, Mn, B, por espectrometría de absorción; posteriormente, los aportes de dichos nutrientes se obtuvo multiplicando la biomasa de cada componente (arvenses, cultivos asociados, café, hojarasca) por la concentración de

cada aportante de biomasa, obteniendo nutriente por componente (ver tabla 2.1 siguiente), para asociarlos al análisis exergía que se efectuó posteriormente. Con la información de la clasificación de especies por transectos y de los índices de diversidad de especies, se priorizaron las especies más abundantes a las cuales se les realizó (cuando no se dispuso de información secundaria) el análisis de nutrientes totales en tejidos, para establecer la dinámica de macro y micro elementos, con cada una de ellas.

Tabla 2-1. Composición química de Arvenses recolectadas e identificadas en cálculo de biomasa asociada al sistema *in situ* (2014).

Nombre Vulgar / Nombre Científico	N	P	K	Ca	Mg	S	B	Fe	Mn	Z	Na	Cu	SiO ₂
	%	%	%	%	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	meq/100g	%
Coneja (<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv)	2,00	0,11	3,33	1,87	3,21	0,25	78	1637,2	62,85	100,7	329,2	11,67	9
Sueda (<i>Commelina diffusa</i> Burm f)	2	0,13	4,4	2,88	2,77	0,34	74,7	1588	59,74	149	308,4	9,33	3,48
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)	2	0,09	3,4	4,13	2,04	0,43	64,3	1527,6	55,13	50,06	362,6	28,7	0,96
Llantén (<i>Plantago rugelli</i> Decne)	3,2	0,09	3,67	10,51	2,97	0,19	100	1895,1	54,89	195	335,9	11,01	4,1
Pincelito Rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC)	3,6	0,09	3,99	2,89	2,38	0,21	91,1	1824,9	101,3	102,8	517,6	9,85	1,44
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd)	4	0,11	3,91	4,15	5,78	0,21	94,1	1777,6	73,06	225,5	375,1	5,71	0,86
Trebol Flor Amarilla (<i>Oxalis corniculata</i> L.)	4,4	0,11	3,89	1,86	3,64	0,08	105,5	1547,8	83,2	96,64	367,6	4,23	1,5
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	3,6	0,09	4,07	2,56	2,4	0,12	120,3	1903,4	62,39	56,06	370,5	10,38	2,48
Teresita Azul (<i>Browalia americana</i> L)	2,8	0,13	2,96	1,44	1,44	0,51	50,7	1171,4	30,21	86,64	418,7	13,58	2,88
Pan con Queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	3,6	0,11	4,1	4,83	3,92	0,23	87,9	1337,2	59,86	175,6	363,5	8,15	0,64
Barbasquillo (<i>Polygonum hydropiperoides</i>)	3,2	0,1	3,79	3,42	3,99	0,16	91,9	1026,1	87,81	73,68	427,6	3,14	1,54
Trebol Moradito (<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K)	4,4	0,09	3,55	1,81	2,69	0,2	125,1	2414,2	79,26	55,12	425,5	9,13	10,26
Sanalotodo (<i>Cuphea racemosa</i> (L) Spreng)	2,8	0,09	2,47	1,15	2,44	0,05	58,2	2135,9	56,67	63,12	367,3	6,11	3,2
Parecido Golondrina (<i>Stellaria</i> sp)	2,4	0,11	3,05	1,36	2,71	0,01	78,8	658,9	23,31	98,01	413,8	3	1,76
Siempre viva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L.)	4	0,12	4,6	4,39	3,19	0,22	62,4	459,6	26,88	63,14	324,2	1,31	0,8
Cilantro (<i>Astrephia chaerophylloides</i> DC)	3,6	0,12	3,9	3,19	2,88	0,42	129,7	1512,9	71,14	61,58	426,5	3,12	1,16
Tiririca brava (<i>Hipoxis decumbens</i> L)	3,2	0,08	3,81	1,83	2,19	0,08	79,9	1604,3	69,01	164,2	387,9	12,4	1,1
Tusilla (<i>Kohleria spicata</i> (H.B.K) Oerst)	2,66	0,11	2,31	3,66	2,83	0,18	80,68	304,90	82,16	38,54	248,80	45,27	2,36
Gramalote (<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K)	1,89	0,13	2,9	1,37	2,71	0,11	32,47	101,9	1,12	24,67	307,4	23,4	4,46
Pega pega (<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw) D.C)	1,28	0,11	1,63	2,56	1,04	0,08	52,5	1037	26,73	37,8	318,8	9,21	0,92
Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum)	2,65	0,15	4,65	1,27	0,87	0,11	27,42	102,5	44,29	29,9	187,6	24,06	4,02
Abrojo (<i>Iresine celosia</i> L)	2,06	0,09	5,43	1,68	2,37	0,14	38,54	468,5	37,25	23,83	277,6	4,29	0,15
Yerba Papagallo (<i>Blechnum pyramidatum</i> (Lam) Urban)	2,56	0,12	4,26	10,82	3,4	0,19	225,1	1019,3	5,35	45,93	306,4	36,1	2,74
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	2,89	0,15	5,5	3,05	3,27	0,25	70,56	151,3	2,26	25,02	363,2	32,83	0,26
Chapola (<i>Coffea Arabiga</i>)	2,46	0,13	3,59	1,58	2,71	0,13	38,15	986,6	1,64	33,18	294,7	9,74	0,92

Helecho (Ptenitis ampla)	1,25	0,14	2,33	2,33	4,55	0,15	52,22	176	3,41	39,79	252,4	18,18	2,5
Verbena Blanca (Verbena littoralis H.B.K)	1,85	0,13	2,48	3,11	1,29	0,23	64,66	969,1	3,09	46,69	382,1	34,29	1,54
Escoba (Sida acuta Burm f)	1,56	0,13	2,89	5,92	2,23	0,21	121,9	375,6	3,29	31,48	272,6	44,06	0
Mastrantillo (Hyptis atrorubens Poit)	2,16	0,11	3,08	1,8	2,53	0,18	41,47	2751,2	1,19	48,18	335,2	32,69	13,34
Caminadora (Rottboellia exaltata Ktze)	1,85	0,13	3,56	0,83	1,38	0,12	19,15	1449,2	1,73	29,27	290	23,49	9,14
Cadillo Carreton (Cenchrus sp)	2,06	0,13	3,51	0,18	0,96	0,1	5,48	956,4	1,04	26,55	294,6	16,54	4,34
Clavo de Cristo (Euphorbia heterophylla L.)	2,45	0,14	4,42	4,3	3,22	0,18	93,87	1159,1	17,16	43,77	251,4	33,34	3,04
Besito Antioqueño (Impatiens balsamina L.)	2,66	0,13	4,97	8,19	3,95	0,2	174,3	303,8	117,6	122,2	347,9	31,58	0,2
Cortadera (Cyperus ferax (L) Rich)	2,1	0,13	3,91	0,78	1,7	0,12	19,18	1144,8	128,2	46,61	262,7	35,71	8,32
Sinedrela (Synedrella nudiflora (L) Gaertn)	2,48	0,14	8,48	4	2,64	0,22	86,5	874,1	1,92	43,95	300,7	34,19	1,7
Mastranto (Salvia palaefolia H.B.K)	2,85	0,12	6,11	3,78	2,23	0,1	81,97	1586,1	90,95	40,91	326,1	31,58	2,46
Guardarrocio (Digitaria sanguinalis (L) Scop)	1,95	0,15	3,15	0,86	1,23	0,14	19,54	1778,7	18,97	40,39	336	21,7	5,52
Tripa de Pollo (Euphorbia hirta L.)	3,36	0,18	3,18	1,22	1,12	0,28	20,19	323,76	99,48	21,67	458,8 6	29,84	1,04
Achira (Canna coccinea Mill)	3,64	0,16	1,64	0,21	0,82	0,16	16,15	2026,80	96,51	35,83	432,4	44,25	1,96
Pata de Gallina (Eleusine indica (L) Gaertn)	3,08	0,16	1,61	0,18	0,85	0,24	25,13	2102,20	98,42	58,56	495,0 7	40,82	5,72
Limpia frascos (Setaria geniculata (Lam) Beauv)	2,94	0,15	2,08	2,21	1,64	0,16	32,1	824,90	25,42	35,14	483	22,41	8,86
Nabo (Brassica alba Boiss)	4,06	0,19	2,91	2,71	3,03	0,30	38,09	1460,30	61,01	40,76	434,13	28,85	2,52
Bledo (Amaranthus dubius Mart)	2,80	0,17	2,92	1,95	2,06	0,22	12,17	260,51	222,80	45,3	438,73	32,97	1
Alacran (Cyathula achyranoides H.B.K)	2,80	0,19	0,70	0,02	0,06	0,18	26,28	7,27	4,68	2,68	436,4 3	8,1	2,9
Colombianita (Thunbergia alata Bojer)	2,94	0,06	3,41	0,90	0,37	0,35	27,16	155,17	49,93	28,12	549,4	32,95	8,64
Estrellita (Dichromena ciliata Vahl)	1,96	0,05	1,97	0,14	0,27	0,27	27,16	3142,20	144,47	49,05	518,46	41,93	18,16
Batatilla (Ipomoea trifida (H.B.K) G. Don)	3,08	0,05	4,19	0,87	0,34	0,26	26,18	2049,00	48,91	16,52	561,24	28,7	3,46
Palo de agua (Jussiaea suffruticosa L)	3,08	0,07	2,50	0,70	0,27	0,26	25,40	865,15	1082,1 0	27,30	528,5 9	21,51	0,00
Viernes Santo (Phyllanthus niruri L)	2,94	0,10	1,44	0,32	0,53	0,17	19,16	4312,10	265,10	22,71	547,39	51,46	10,74
Pasto horqueta (Paspalum conjugatum Bergius)	1,47	0,10	1,63	0,24	0,43	0,34	32,34	2881,50	80,67	87,89	513,36	27,04	18,42
Urticea (Boehmeria sp)	3,15	0,07	5,37	1,29	0,71	0,41	38,16	3060,00	48,63	390,8 0	575,27	29,99	5,14
Asteracea Moraditas (Ageratum sp)	3,22	0,07	3,50	1,23	0,92	0,21	21,20	1522,30	59,16	19,20	591,91	20,07	0,52
Pincelito amarillo (Fleischmannia sp)	2,52	0,10	3,73	0,61	0,45	0,18	18,19	2019,76	32,91	145,40	576,6 6	25,58	2,06
Boton amarillo (Acmella linnaei Cass)	2,80	0,07 0	3,25 0	1,210	0,38 0	0,25 0	31,25	1254,80 0	26,400	35,98 0	578,5 8	43,700	9,38
Boton pequeño (Siegesbeckia jorullensis H.B.K)	2,80	0,10	3,71	0,86	0,53	0,27	33,45	564,5	52,48	18,39	625,4	17,11	2,18
(Melampodium sp)	2,75	0,12	3,30	0,90	0,4	0,26	32,00	555,00	50,00	31,00	525,0 0	40,00	2,25

Fuente: El autor

Cultivos Asociados.

Inicialmente, se desarrolló un inventario de plantas de cultivos en la finca, en los diferentes espacios de uso y posteriormente, se cuantificó la producción de biomasa por metro cuadrado de dichas especies, mediante toma de muestras al azar de la biomasa en base húmeda, tanto aérea como radical, por ser tres (3) replicas, se realizó dicha toma de muestra tres (3) veces por cada transecto. Esta cuantificación se desarrolló teniendo en

cuenta los ciclos productivos y el manejo en cada finca tipo de dichos cultivos, en donde generalmente en la cosecha ingresan en el agroecosistema residuos de dichas plantas. Posteriormente, para las hojas, ramas, raíces y troncos, se extrajeron muestras de aproximadamente 500 g, que se colocaron en bolsas plásticas para llevarlas al laboratorio, en donde se pasó a bolsas de papel y se secaron en el horno a 65°C, a continuación se estableció su peso en base seca.

Biomasa del deshoje natural.

Fue un componente de la investigación, puesto que la dinámica del deshoje es un elemento que se articula al análisis exergético. La caída de hojarasca, es un proceso que se encuentra relacionado con las variaciones estacionales y su conocimiento es importante para interpretar los fenómenos de reciclaje de nutrientes, debido a los flujos asociados a la caída, a los procesos de acumulación de materia orgánica en el suelo y a la descomposición (Nájera & Hernández, 2009, pág. 225). La producción de hojarasca se evaluó, aplicando una metodología ampliamente utilizada, que consiste en la utilización de colectores para medir la caída de hojarasca con una dimensión determinada, ubicados sistemáticamente en un área de bosque determinada (Collantes, Castellanos-Barliza, León Peláez, & Tamaris-Turizo, 2014, pág. 175). Se establecieron a lo largo de los cinco (5) transectos, 15 colectores de hojarasca en la FINCA ORGÁNICA o tipo II. Dichos colectores fueron contruidos con marcos de madera o PVC y malla de 0,5 m², para el muestreo de hojarasca producto del deshoje tanto del café como los cultivos y biodiversidad vegetal asociada. Sus dimensiones fueron de 1 m x 0.5 m, y se instalaron a 0.1 m del suelo; estas trampas fueron revisadas cada 15 días, realizando la clasificación y pesaje de los materiales encontrados. Posteriormente, para las hojas, ramas, raíces y troncos, se extrajeron muestras de aproximadamente 500 g, que se colocaron en bolsas plásticas para llevarlas al laboratorio, en donde se pasó a bolsas de papel y se secó en el horno entre 60° y 65°C; a continuación se estableció su peso en base seca (únicamente para hojas, el peso de la muestra pudo ser menor, dependiendo de la época del año cafetero).

2.2.2 Biomasa del café *in situ*

Para a la determinación de la biomasa del café *in situ*, el autor de esta Tesis Doctoral, retoma lo calculado por Suarez Pascua (2003), respecto la formula hallada por ésta en mediciones de café, con distintos niveles de sombrero, en Nicaragua (Suarez, 2003):

$$LN(B) = -2,39287 + 0.95285 * LN(D) + 1.2693 * LN(H)$$

Dónde: B= biomasa por planta en kg.

D= "dbh" o diámetro del tronco o fuste a 15 cm de altura sobre el suelo

H= altura de la planta, en metros

Lo anterior se desarrolló al implementar un modelo alométrico VBC (volumen, biomasa o carbono) útil para créditos para servicios ambientales de fijación y captura de carbono (CO₂) y con el cual se estima el carbono almacenado en árboles, arbustos y palmas (AAP) (Segura & Andrade, 2008, pág. 89).

El tamaño de la muestra está dado por la variabilidad del VBC o del "dap" ("dbh" en inglés: diámetro del tronco o fuste, a la altura del pecho), requiriéndose por lo menos de 30 árboles o arbustos; se seccionan los arbustos de acuerdo a las partes que se quieren evaluar (fuste, ramas mayores y menores a 25 cm, flores o frutos), estas se pesan y luego se seca una muestra de 200g que se lleva a estufa por 48 horas a 65°C/72°C; luego se convierte el peso en campo a peso seco y se dimensiona su volumen mediante método de cubicación; una vez obtenido el volumen de cada sección, se calcula su biomasa (en toneladas), al multiplicar el volumen (en m³) por la gravedad específica (Ton/m³), la cual se obtiene mediante el método *Bouyancy* o inmersión en agua destilada (ASTM 1983, citado por Segura y Andrade, 2008) o también se puede tomar un bloque de madera de 5 x 5 x 15 cm (ASTM 1984) y secar en horno a 60°C, hasta peso seco constante (Segura & Andrade, 2008, pág. 92) .

En lo evaluado por Suarez (2003) y retomado por esta Tesis Doctoral, se calculó la biomasa de la planta de café, sobre el corte de 102 plantas aleatoriamente, cortadas a 15 cm del suelo para medirles el diámetro de su tronco y la altura total de la planta; realizadas las mediciones se procedió a cortar, pesar y separar el fuste, las ramas y las hojas, para su peso en fresco, tomándose al tiempo una muestra de combinada de estos de 250g para obtener su peso seco y luego su masa seca (%MS) de cada componente o sección, mediante la fórmula (Suarez, 2003, pág. 33):

$$\% MS = \frac{PS}{PF} * 100$$

Con el %MS se hizo la conversión de cada componente, a peso seco y se calculó la biomasa del componente, así,

$$B = PFC \left(\frac{\%MS}{100} \right)$$

Donde PFC es peso fresco total del componente; ahora siendo la biomasa del tocón de la planta de café igual a cero, se procedió a calcular la biomasa total, así:

$$BT = Br + Bh + Bt + Btr$$

Siendo Br, biomasa total de ramas, Bh biomasa total de hojas, Btr biomasa total de troncos o tallos, y Bt biomasa del tocón (Suarez, 2003, pág. 34).

Con los datos de biomasa total, se desarrollaron modelos lineales y logarítmicos, arrojando la mejor aplicación la logarítmica, para predecir la biomasa de un cafetal, usando como variable dependiente la biomasa total frente a las variables independientes diámetro del tronco a 15 cm de altura y altura total de planta.

Tabla 2-2. Modelo alométrico de mejor ajuste, para cálculo de biomasa seca de café propuesto por Suarez (2003)³ en cálculo de biomasa asociada al sistema *in situ* en estudio de exergía (2014).

Modelo	R ²	CV	CME	Pr > F
32 $LN(B) = -2,39287 + 0,95285 * LN(D) + 1,2693 * LN(H)$	0.89	53.6	0.237	0.001

Fuente: (Suarez, 2003, pág. 34)

2.2.3 Residuos orgánicos tras cosecha y pos cosecha

Según Terrapon-Pfaff (2012), una de las más aceptadas técnicas para medir la biomasa de los residuos es la relación RPR (relación residuo/producto) (Terrapon-Pfaff, 2012), aunque tiene sus limitaciones, debido a que es específica a cada región y modo de cultivo y cosecha.

La siguiente formula describe los cálculos:

³ Nota del autor: en función del diámetro del tronco a 15 cm del suelo (rango de diámetro de 0,3 cm – 7,5 cm) y altura total de la planta (rango 0,31m – 3,4 m) con n=102

$$R = Cp * RPR$$

Donde, R es la biomasa total disponible de residuos agrícolas en toneladas por año, Cp es la cantidad de producción del cultivo en toneladas por año y RPR es la relación residuo a producto en toneladas de residuo por toneladas de producto.

En un estudio en Tanzania, entre 2000 a 2009, Terrapon-Pfaff (2012), encontró PRP para cascarilla de café de 0,25 y para pulpa y mucílago de 1,40 (Terrapon-Pfaff, 2012, pág. 283).

El autor de esta Tesis de Maestría, asume los valores para pulpa y mucílago, 1,40, encontrados por la autora africana, en su cálculo estimado de biomasa por residuos de cosecha y pos cosecha, debido principalmente a que en la caficultura colombiana los residuos (biomasa), en especial la cascarilla, se emplean en su mayoría para elaboración de insumos orgánicos dentro del mismo cultivo.

2.2.4 Análisis de macro fauna del suelo (insectos, lombrices y arácnidos) y su relación con la biomasa vegetal

Para este componente, se recurrió también a los indicadores de diversidad, por transectos:

1) Clasificación de especies en el transecto; y, 2) índices de diversidad de especies:

Shannon:

$$H' = \sum_{i=1}^S (Pi)(LN Pi)$$

Donde ni= número de individuos en el sistema o muestra que pertenecen a la especie "i" y N= número de individuos.

Simpson:

$$\lambda = \sum_{i=1}^S \frac{ni(ni - 1)}{N(N - 1)}$$

Donde ni= número de individuos en el sistema o muestra que pertenecen a la especie "i" y N= número de individuos.

Para la biomasa de artrópodos, el autor de esta Tesis de Doctorado, considera lo afirmado por Pedersen *et al*, sin publicar (2013), *Departamento de Biociencia de la Universidad de Aarhus* (Dinamarca), quienes usando y refinando el modelo *ALMaSS* para predecir la biomasa de artrópodos como alimento de pájaros, usaron datos de la biomasa de cultivos y biomasa de arvenses, dispuestas en seis transectos, dentro de cada cultivo incluyendo sus bordes, con lecturas a 1m y a 30 m dentro de los transectos, con muestreos durante dos años (Pedersen et al, 2013).

En el mismo estudio, se encontró que la regresión lineal básica que puede predecir la biomasa de artrópodos está en la siguiente ecuación:

$$B_{artropodos} = \alpha + \beta_1(B_{cultivo}) + \beta_2(H_{cultivo}) + \beta_3(Barvenses)$$

Usando el coeficiente de correlación Pearson, con $p < 0.15$, donde B es biomasa de cada variable, H la altura y los coeficientes alfa y beta, como predictor y predictando.

De otro parte Gruner (2003), evaluó regresiones generales y seriales, comparando la longitud, o la longitud por el ancho del cuerpo, en varios taxones, para predecir la biomasa de artrópodos en las Islas del Pacífico (Hawái) (Gruner, 2003, pág. 325).

La fórmula de regresión exponencial más ajustada, fue:

$$y = a(x)^b$$

La cual se transformó la morfometría y el peso, mediante logaritmo natural, para reducir la heterocedasticidad de las regresiones debido a que las varianzas son disímiles:

$$LN(y) = LN(a) + b * LN(x)$$

Donde (y) es la materia seca, la variable (x) es la medida del tamaño, ya sea el largo o el largo por el ancho, y los coeficientes estimados (a) y (b) de la regresión (Gruner, 2003, pág. 327).

El estudio se basó en dos criterios: 1) las ecuaciones de regresión generales fueron altamente significativas cuando se usó solo la longitud del cuerpo, aun mas cuando se incluyó el ancho del cuerpo, este mejoró el ajuste sustancialmente; 2) En la regresión de series limitadas de taxones, la adición de anchura hizo poco para mejorar el ajuste de las

funciones en la ecuaciones de regresión seriales. De esta forma estimaciones precisas de biomasa serán dos tipos: de baja resolución taxonómica, cuando se usa la longitud y el ancho; y de alta resolución taxonómica, solo se usa la longitud (Gruner, 2003, pág. 333).

2.3 Análisis estadístico

De acuerdo a Cuadras (2014), “el Análisis Multivariante (Multivariado) es un conjunto de métodos estadísticos y matemáticos, destinados a describir e interpretar los datos que provienen de la observación de varias variables estadísticas, estudiadas conjuntamente” (Cuadras, 2014, pág. 11).

Donde según este autor “El análisis multivariante de la varianza (MANOVA) es una generalización a $p > 1$ variables del análisis de la varianza (ANOVA)” (Cuadras, 2014, pág. 265).

Para el autor de esta Tesis de Doctorado, el empleo de ANAVA (ANOVA, en inglés) y MANAVA (MANOVA, en inglés), constituyó una herramienta de la inferencia estadística útil para colegir los distintos aportantes de biomasa y su papel exergético final.

De esta manera, para la evaluación de transectos, cuadrantes, época de lluvias o cosecha y fincas tipo en algunos de los aportantes de biomasa al sistema, se hizo uso de ANAVA mediante la aplicación de Diseños Experimentales como Bloques al Azar y Completamente al Azar, en algunos casos con arreglos factoriales, incluyendo su respectiva prueba de significancia.

En algunos casos, también hubo necesidad de transformar los datos originales de campo, debido a que las varianzas no presentaban uniformidad. La transformación frecuente que se hizo fue la de Logaritmo natural ($\text{Log } X = \text{LN } X$).

Se tuvo en cuenta lo dictado por Cuadras (2014), respecto que:

El Análisis Multivariante de la Varianza es muy similar al Análisis de la Varianza, salvo que interviene más de una variable cuantitativa observable. Esta extensión multivariante se inicia en 1930 con los trabajos de H. Hotelling, J. Wishart y S. S. Wilks. Posteriormente

S. N. Roy propuso un planteamiento basado en el principio de unión-intersección (Cuadras, 2014, pág. 278).

E igualmente, en la realización de la MANOVA (Análisis Multivariado) realizado mediante software comercial, también el autor de la Tesis de Doctorado, asumió el postulado de Cuadras (2014), en cuanto que:

Se puede plantear un análisis tipo ANOVA para datos categóricos, dando lugar al método llamado CATANOVA (Light y Margolin, 1971, citados). Para datos mixtos o no normales, se puede plantear MANOVA utilizando distancias entre las observaciones, calculando coordenadas principales mediante MDS, y a continuación aplicando el modelo de regresión multivariante (Cuadras, 2014, pág. 278).

2.4 Valoración de la productividad de los agroecosistemas estudiados

2.4.1 Valoración de la productividad mediante análisis financiero convencional

En esta sección, se tomó para cada una de las fincas de estudio, las variables comunes a tener en cuenta en un análisis financiero convencional y su respectivo método de evaluación de productividad, basándose en los indicadores financieros.

Siguiendo a Rosales *et al* (2007), la evaluación financiera determina el rendimiento o productividad en términos de rentabilidad que produce la inversión, en función de los recursos que se destinan, con el fin de incrementar el margen de rentabilidad generado por cada uno de los cultivos que se desarrollan en la zona. (Rosales, y otros, 2007, pág. 68).

Así mismo Rosales *et al* (2007), proponen que la evaluación tenga en cuenta las áreas de cada cultivo, sus rendimientos incrementales, sus precios y demás componentes que inciden directamente en los beneficios y en los costos tanto individuales como totales del proyecto valorados a precios de mercado; los intereses, arrendamientos y la cuota, parte de operación y mantenimiento, los incluyen como un ítem independiente en el flujo de costos e inversiones del proyecto; el valor presente de los ingresos y los costos, los

calculan a nivel de finca y para el análisis financiero de todo el proyecto utilizan una tasa de oportunidad de doce por ciento (12%) anual, que es la tasa de descuento social utilizada para Colombia. (Rosales, y otros, 2007, pág. 70).

Como se asume en esta Tesis Doctoral, el análisis financiero de las fincas tipo tiene como objeto determinar, desde el punto de vista financiero, la incidencia que la ejecución del proyecto tiene sobre los ingresos y egresos de los agricultores a nivel de cada finca representativa, determinada por el plan agropecuario, y con base en lo anterior determinar si sus fondos generan capacidad de pago suficiente de sus acreencias y obligaciones y en consecuencia determinar el incremento de los niveles de ingreso en cada unidad de explotación. (Rosales, y otros, 2007, pág. 69).

Para cada una de las fincas tipo tienen presente, sus rendimientos crecientes, precios, tamaño de cada finca y todos los costos de producción agropecuarios y los incentivos y subsidios de acuerdo al tamaño de la finca determinada en el plan agropecuario. (Rosales, y otros, 2007, pág. 70).

2.4.2 Valoración de la productividad mediante análisis exergo ecológico

Dicha valoración, se desarrolló mediante la metodología de la exergía, la cual permitió considerar todos los flujos que pasan a través del sistema en una misma base: la *exergía equivalente* para visualizar y comparar los flujos del sistema entre sí, y con otros ecosistemas; en la investigación, se realizó la cuantificación de la *dinámica de biomasa* tanto en los arvenses, cultivos asociados, árboles, arbustos y las plantas de café y animales.

Como la masa contiene exergía, así como energía y entropía y los contenidos de éstas en el sistema finca, son proporcionales a la masa, y además, las tasas de transportación de exergía, entropía y energía hacia dentro, o hacia afuera, del sistema finca son proporcionales al flujo másico, se realizó los diferentes balances tanto de *entropía*, *energía*, *exergía* y *flujo de masa*, con el fin de involucrarlo en la construcción de indicadores de sustentabilidad basados en el análisis exergético.

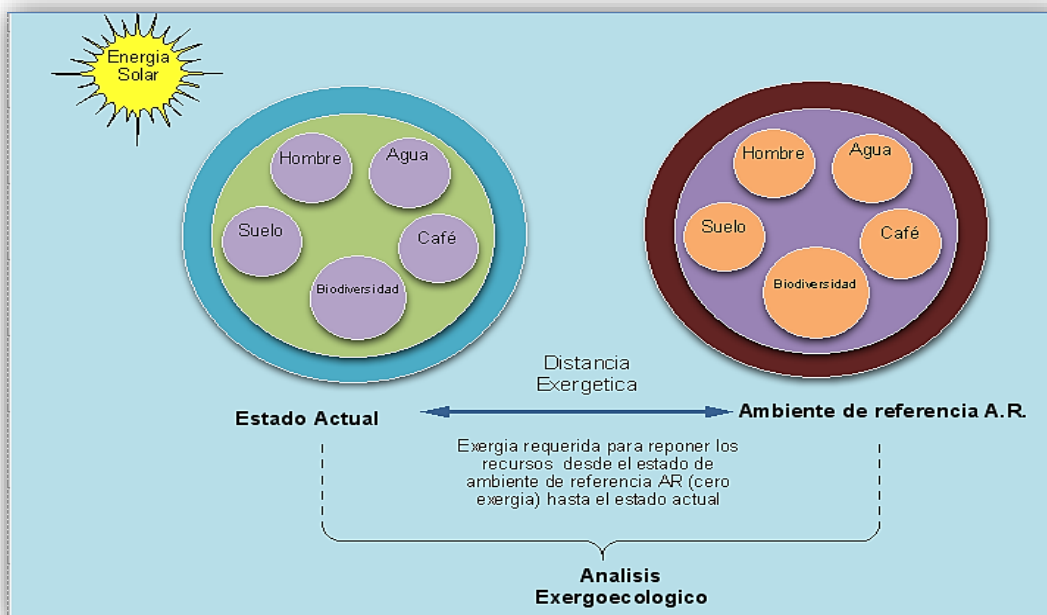
La metodología de análisis exergético, se realizó de la siguiente manera:

- Se realizó *balance de masa, de energía y de entropía*, y a partir de esto, se realizó el balance exergético y posteriormente el análisis exergético.
- Se partió de la premisa que se está trabajando con procesos en cuasi equilibrio y con régimen uniforme.

Definición de los volúmenes de control.

El volumen de control seleccionado, para cada una de las fincas estudiadas, coincide con los límites del sistema finca:

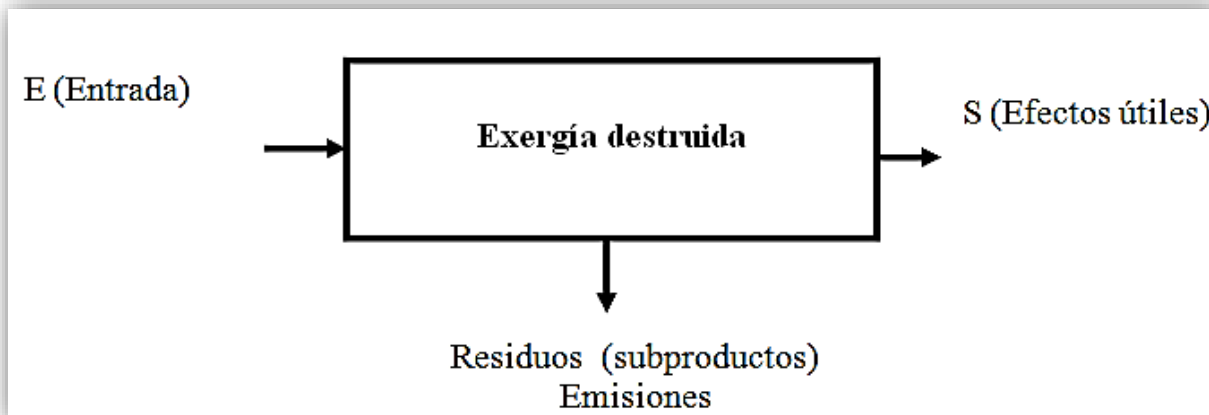
Figura 2-9: Modelo de volumen de control en análisis exergo ecológico.



Fuente: El autor

Realizar las idealizaciones necesarias para desarrollar un modelo manejable.

Idealización del ambiente de referencia: De acuerdo con Çengel *et al*, se afirma que un sistema está en el estado muerto, cuando se encuentra en equilibrio termodinámico con el ambiente; en este estado, un sistema está a la temperatura y a la presión del ambiente (en equilibrio térmico y mecánico), no tiene energía cinético o potencial relativas a su ambiente (velocidad 0 y elevación 0 por arriba del nivel de referencia) y no reacciona con el ambiente (químicamente inerte). (ver Anexo E).

Figura 2-10: Modelo de idealización en cálculo de exergía en las fincas tipo.

Fuente: El autor

Por lo anterior, el Ambiente de Referencia (RE), se asume como un sistema termodinámicamente muerto, en donde todos los materiales han reaccionado, se ha dispersado y mezclado.

De acuerdo a Szargut, el ambiente de referencia debe ser lo más similar al medio ambiente natural; la no existencia de equilibrio termodinámico en el medio ambiente natural, determina que para la definición del RE, deben establecerse los siguientes criterios:

- Debe adoptarse una única sustancia de referencia para cada elemento químico;
- las sustancias de referencia propuestas deben ser componentes comunes, abundantes y estables en la naturaleza;
- Los parámetros medios, de los componentes del AR convencionalmente adoptado, deben ser los correspondientes a la localización considerada (p.ej.: temperatura ambiente, composición del aire).

Balance de masa y Balance de Entropía.

Calcular los flujos de masa y energía, por medio del análisis de la *Primera* ley de la Termodinámica. Para lo cual, se usó toda la información obtenida en la cuantificación propuesta para los diferentes componentes del sistema generadores de biomasa, como lo son el cafetal, la biodiversidad asociada, las arvenses entre otras.

Selección de patrones de exergía química de los elementos.

Tabla 2-3. Patrones de exergía química usados en análisis exergo ecológico.

EXERGIA QUIMICA PATRON DE LOS ELEMENTOS KJ/Mol	
Elementos	Exergia Patron
<i>C = Carbono</i>	410,26
<i>N = Nitrógeno</i>	0,72
<i>P = Fosforo</i>	861,4
<i>K = Potasio</i>	366,6
<i>Ca = Calcio</i>	712,4
<i>Mg = Magnesio</i>	626,1
<i>S = Azufre</i>	609,6
<i>Cu = Cobre</i>	134,2
<i>Fe = Hierro</i>	374,3
<i>Zn = Zing</i>	339,2
<i>B = Boro</i>	
<i>Si = Silicio</i>	854,9

Fuente: Compilación el autor

Balance de masa:

$$E_{entrada} - E_{salida} = \Delta E_{sistema} \quad (\text{kJ})$$

Calculo de los flujos de entropía por medio del análisis de la *Segunda ley*.

Entropía y Balance de Entropía

$$dS = \left(\frac{dQ}{T} \right)_{Int rev} \quad (\text{kJ/K}).$$

Balance de entropía:

$$\dot{S}_{ent} - \dot{S}_{sal} + \dot{S}_{gen} = dS_{sistema} / dt$$

Calculo los flujos de la exergía en cada componente.

Con base a la dinámica del flujo de masa y energía, y los diferentes valores de los patrones de la exergía, se calculan y se hacen las conversiones exegéticas por cada uno de los componentes del sistema.

Balance de la Exergía en el sistema.

Con base a la dinámica del flujo exergético se realizará el análisis exergético para cada una de las fincas tipo seleccionadas en esta investigación.

$$\dot{B}_{ent} - \dot{B}_{sal} - \dot{B}_{destruida} = dB_{sistema} / dt$$

2.5 Construcción de indicadores de sustentabilidad basado en el análisis exergético y gradientes de biodiversidad

- Definición de Criterios de diagnóstico como elementos de enlace entre los atributos de sustentabilidad (productividad, estabilidad, resiliencia, adaptabilidad y equidad) con el conjunto de Indicadores
- Identificación de las fortalezas y las debilidades del sistema socio ambiental que se está evaluando, asegurándose que se cubran también todos los atributos de sustentabilidad.
- Elaboración de una lista general de posibles indicadores que cubran los criterios de diagnóstico, fortalezas y las debilidades identificadas.
- Selección final del conjunto robusto de indicadores exergético de sustentabilidad.
- Elaboración de una matriz de factibilidad para medir y monitorear los indicadores; posteriormente, para la medición y el monitoreo de indicadores, es necesario, la elaboración de una matriz de factibilidad, en donde se deben definir: 1) Los Límites superior e inferior del indicador (rango de equilibrio); 2) Si el indicador se relaciona con indicadores o mediciones existentes; 3) La unidad de medida; 4) Cuando, como y quien realizará la medición (presente y futura) del indicador; y 5) La confianza en obtener el resultado (en escala de 1 a 10, de menor a mayor).

3. Resultados y discusión

3.1 Biomasa en el sistema

3.1.1 Biomasa de Lombrices

Para la determinación de la biomasa de lombrices en los 15 transectos aleatoriamente dispuestos en las tres (3) fincas tipo, mediante cuadrantes de 1m², se hizo durante un año, en tres épocas de presencia de lluvias o sequía en el cultivo de café, solo a partir de su peso fresco promedio, medido en campo, bajo la relación número colectado de individuos / peso fresco total, a dos distintas profundidades de colección (10 y 20 centímetros de la superficie del suelo). La metodología de longitud en correlación con el peso seco, se aplicó la metodología de la Universidad de Minnesota (USA).

En los anexos (Anexo A) se observa la tabla que resume los valores por época y por sistema tipo de finca, de la biomasa de lombriz.

Para la evaluación de la biomasa de lombriz en base fresco, se usó la técnica estadística de un *ARREGLO FACTORIAL DISPUESTO EN UN DISEÑO COMPLETAMENTE AL AZAR*, en el cual los factores fueron: las fincas tipo (SISTEMAS, con tres niveles) y las épocas de recolección de las muestras (EPOCAS con tres niveles), así:

Factor A (SISTEMAS):	Finca Tipo I	(a0)
	Finca Tipo II	(a1)
	Finca Tipo III	(a2)
Factor B (Épocas):	Seca enero – marzo	(b0)
	Lluvias abril – mayo	(b1)
	Cosecha agosto – septiembre	(b2)

Igualmente en los anexos (Anexo A), se observa la tabla con datos de campo y la tabla con datos transformados.

Análisis de varianza al diseño estadístico DCA en arreglo factorial 3x3.

Tabla 3-1. ANAVA para arreglo factorial en un DCA, para relación Peso/Numero promedio estimadas, con datos transformados por Ln10 (2014).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Razón de Varianza	F tabulado	
					0.05	0.01
Tratamientos combinados	8	1,804	0,225	45(**)	2.21	3.06
Factor A (épocas)	2	1,287	0,643	128,6(**)	3.26	5.26
Factor B (fincas)	2	0,344	0,172	34,4(**)	3.26	5.26
Interacción AxB	4	0,173	0,043	8,6(**)	2.64	3.90
Error	36	0,181	0,005			
Total	44	1,985	0,045			

$$CV = \sqrt{(0.005)/0.426} \quad CV = 17,0\%$$

Los resultados de la anterior ANAVA, muestran que no obstante seguirse la toma de muestras, en los transectos igualmente escogidos para la otra toma de muestras del cálculo de exergia, en los tres tipos de fincas, estos transectos o sitios de muestreo presentaron diferencias altamente significativas. Igualmente, al observar por las tres épocas de recolección, los resultados arrojaron diferencias altamente significativas. Igual sucedió cuando se comparó entre las tres fincas estudiadas.

Al evaluar la precisión de la experiencia, se obtuvo que de cada 100 veces que se realice este muestreo en similares condiciones, 83 veces arrojaran los mismos resultados.

En razón a la diferencia altamente significativa encontrada en la ANAVA, el autor dispuso la aplicación de una Prueba de Significancia tipo DUNCAN, para observar la diferencia entre tratamientos, entre factores y entre la interacción de los factores.

Prueba de significancia DUNCAN.

Tabla 3-2. Distribución promedio, mayor a menor, de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).

FINCA TIPO II cosecha	0,762
FINCA TIPO II seca	0,6986
FINCA TIPO II lluvias	0,694
FINCA TIPO I lluvias	0,2904
FINCA TIPO I cosecha	0,2898
FINCA TIPO III lluvias	0,2846
FINCA TIPO III cosecha	0,283
FINCA TIPO I seca	0,2574
FINCA TIPO III seca	0,2478

Con la anterior distribución de medias de mayor a menor se hace la comparación de medias, para luego hallar la determinación de los puntos críticos (RMS), mediante el producto de la desviación estándar por la amplitud estandarizada, al 0,05 y al 0,01:

$$\text{RMS} = \text{Sd} * \text{Amplitud estandarizada}$$

$$\text{Sd} = \sqrt{\text{CME} / r}$$

$$\text{Sd} = \sqrt{(0,005 / 5)}$$

$$\text{Sd (desviación estándar)} = 0,0316$$

Tabla 3-3. Distribución **Amplitud estandarizada** de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).

	2	3	4	5	6	7	8	9
Ae. 0,05	2,87	3,02	3,10	3,18	3,23	3,27	3,28	3,33
Ae. 0,01	3,84	4,01	4,11	4,17	4,27	4,31	4,36	4,40

Tabla 3-4. Distribución **RMS calculado con la Ae y la Sd** de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).

	2	3	4	5	6	7	8	9
Ae. 0,05	0,09	0,095	0,097	0,100	0,102	0,103	0,103	0,105
Ae. 0,01	0,121	0,126	0,129	0,131	0,134	0,136	0,137	0,139

Tabla 3-5. Distribución **Comparación de medias** de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).

FINCA TIPO II cosecha	0,762	-	0,6986	0,063	-
			- 0,694	0,068	-
			- 0,2904	0,471	**
			- 0,2898	0,472	**
			- 0,2846	0,477	**
			- 0,283	0,479	**
			- 0,2574	0,504	**
			- 0,2478	0,514	**
FINCA TIPO II seca	0,6986	-	0,694	0,004	-
			- 0,2904	0,408	**
			- 0,2898	0,408	**
			- 0,2846	0,414	**
			- 0,283	0,4156	**
			- 0,2574	0,441	**
			- 0,2478	0,450	**
FINCA TIPO II luvias	0,694	-	0,2904	0,403	**
			- 0,2898	0,404	**
			- 0,2846	0,409	**
			- 0,283	0,411	**
			- 0,2574	0,436	**
			- 0,2478	0,446	**

FINCA TIPO I lluvias	0,2904	-	0,2898	0,0006	-
			- 0,2846	0,005	-
			- 0,283	0,007	-
			- 0,2574	0,033	-
			- 0,2478	0,042	-
FINCA TIPO I cosecha	0,2898	-	0,2846	0,005	-
			- 0,283	0,006	-
			- 0,2574	0,032	-
			- 0,2478	0,042	-
FINCA TIPO III lluvias	0,2846	-	0,283	0,001	-
			- 0,2574	0,027	-
			- 0,2478	0,036	-
FINCA TIPO III cosecha	0,283	-	0,2574	0,025	-
			- 0,2478	0,035	-
FINCA TIPO I seca	0,2574	-	0,2478	0,009	-

Como se observa en el cálculo del RMS, los muestreos en la Finca tipo II (orgánica) presentaron el mayor peso respecto a las demás fincas; explicable en la baja perturbación y afectación por residuos de insumos químicos y aumento de aportes de materia orgánica en la superficie del suelo, donde se alimentan las lombrices.

Dentro de esta mayor biomasa de lombriz en la Finca tipo II, en su orden se presentó mayor peso o biomasa en la época de Cosecha seguido por la Seca y por último la de Lluvias; deduciblemente dado en razón a la mayor presencia de humedad y residuos de la recolección en el cafetal para la cosecha; por su parte la de menor biomasa, se debe al alto contenido de agua de saturación en el suelo y en la hojarasca superficial, lo que impide el ascenso de las lombrices a la capa del suelo.

La participación de biomasa de lombriz en la Finca tipo I Lluvias y Cosecha, se comportaron con alto contenido, debido quizá a que por los mantenimientos culturales de los arbustos,

esto permite excedentes de fertilización inorgánica en el suelo, que incentivan la presencia de micronutrientes introducidos a la capa superficial del suelo siendo más disponibles para la alimentación de las lombrices.

El bajo contenido de biomasa en las Fincas tipo I y III Seca, respecto a las demás muestras, quizá se deba a la estructura del suelo, que ante bajos niveles de humedad higroscópica, minimiza el fácil tránsito y la movilidad de las lombrices hasta la superficie del suelo, quizá por la excesiva practica cultural de manejo de aporques y deshierbas en estas fincas, que ocasiona daños en la estructura y la textura natural de estos suelos.

Si se observa el Diagrama de letras y el diagrama de barras generado con los datos de la prueba de significancia tipo Duncan, más lo que se puede observar en la gráfica de la interacción Sistema x Época (A x B), se puede colegir más información, sobre la presencia de biomasa de lombriz en los cinco transectos evaluados.

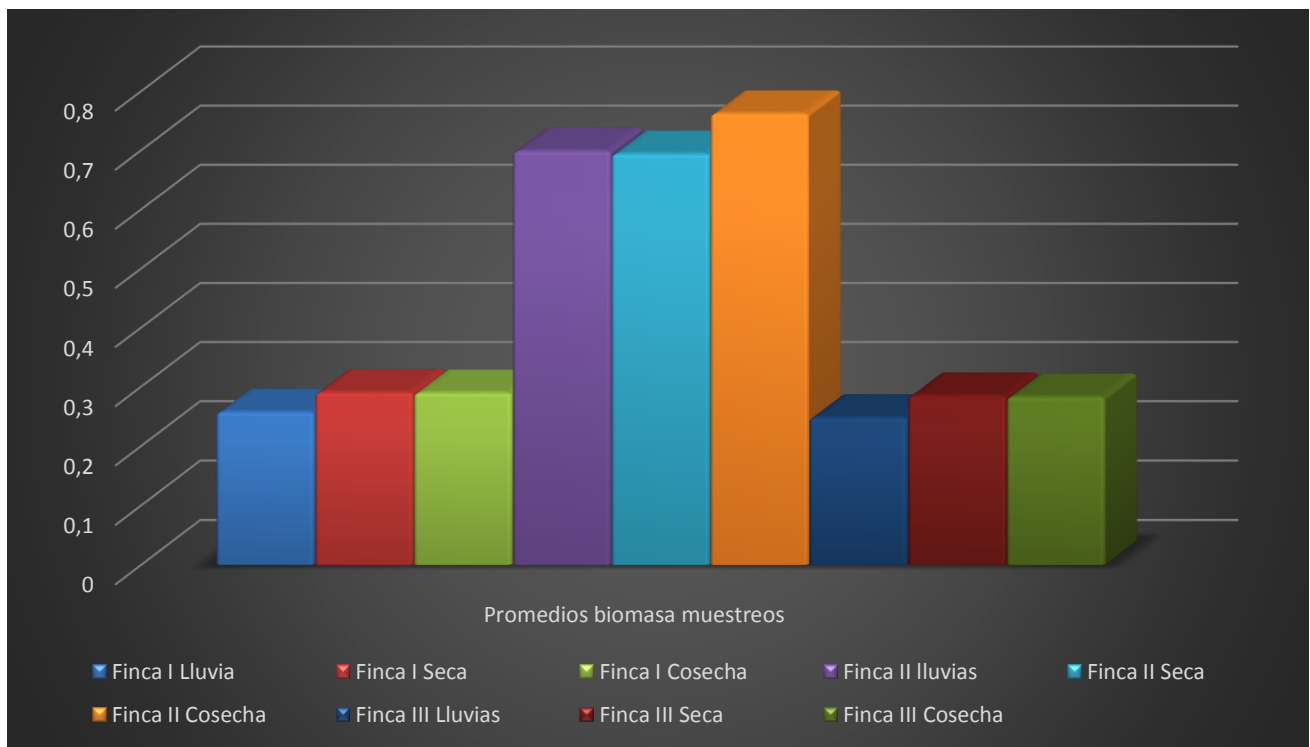
Tabla 3-6. Diagrama de letras de relación Peso/Numero biomasa lombriz, para cinco transectos, según tipo de finca y época de colección (2014).

Muestras	Promedio	0,05	0,01	Posición relativa %
FINCA TIPO II cosecha	0,762	a	a	307
FINCA TIPO II seca	0,6986	ab	ab	282
FINCA TIPO II lluvias	0,694	abc	abc	280
FINCA TIPO I lluvias	0,2904	d	d	172
FINCA TIPO I cosecha	0,2898	de	de	169
FINCA TIPO III lluvias	0,2846	def	def	148
FINCA TIPO III cosecha	0,283	defg	defg	142
FINCA TIPO I seca	0,2574	defgh	defgh	38
FINCA TIPO III seca	0,2478	defghi	defghi	100

De acuerdo a las gráficas siguientes, se puede establecer que la finca tipo II orgánica para las tres épocas mostró los mejores resultados de biomasa. A su vez la interacción no se presentó sino entre las fincas tipo I y III para las tres épocas.

Habría que aportar a la discusión, que en futuros trabajos sobre estas mismas condiciones de investigación y recolección en campo, se planteara un sistema de muestreo mayor que cubriera un área del transecto más grande, dado que a diferencia de las otras muestras tomadas para el análisis exergético, la ubicación y conteo de poblaciones de lombrices requiere cierta especificidad de tiempo y espacio para su colección en campo.

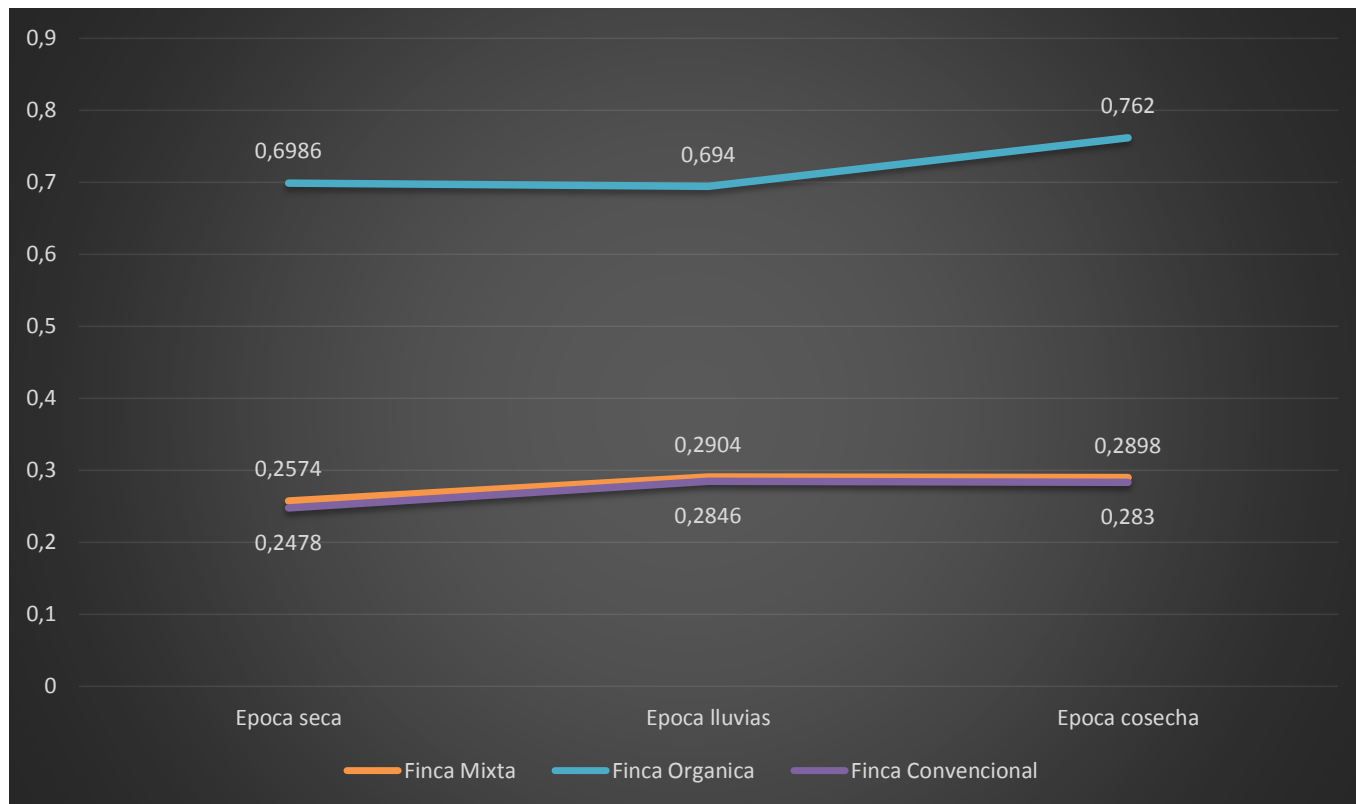
Figura 3-1: Diagrama de Barras en prueba de significancia tipo Duncan, para biomasa seca de lombriz en tres fincas y tres épocas de recolección en cálculo de exergía (2014).



De la misma forma emplear en futuros trabajos, bajo la misma investigación y condiciones de campo, el método de colección y evaluación de las lombrices capturadas, aportado en el capítulo anterior de esta Tesis doctoral, sobre el cálculo de biomasa empleado por la Universidad de Minnesota (Natural Resources Research Institute University of Minnesota, 2015).

Esto, aunque más costoso, procura tener en cuenta la biomasa seca respecto a la relación peso fresco / número de lombrices, que se usó en esta tesis.

Figura 3-2: Diagrama de la interacción Sistemas por Épocas en muestreo para biomasa seca de lombriz en tres fincas y tres épocas de recolección en cálculo de exergia (2014).



Finalmente, en la evaluación y discusión de las otras biomásas contabilizadas en el cálculo de exergia de las tres fincas tipo, el autor colige el papel que juega esta presencia homogénea de la población de anélidos en los suelos y ecosistema estudiado, frente a la evaluación estadística de los resultados de esas mismas biomásas y de la misma ecuación exergético.

3.1.2 Biomasa de café *in situ*

De acuerdo a lo citado en el capítulo anterior, se asumió el modelo alométrico logarítmico propuesto por Suarez (2003), y se obtuvo la siguiente biomasa en base seca de café para las tres fincas estudiadas:

Tabla 3-7. Biomasa Total (BT) en arbustos de café, en toneladas, en las tres fincas tipos, usando el modelo alométrico de Suarez (2003), con base a diámetro (D) del tallo a 15 cm de altura y altura (H) de plantas, en estudio de exergia (2014).

Finca tipo	D (cm)	H (m)	BT calculado planta	BT sistema (Ton)
			$LN(B) = -2,39287 + 0.95285 * LN(D) + 1.2693 * LN(H)$	
Convencional	4,93	1,69	0.52493	2.62
Mixta	5,45	1,72	0.51824	2.59
Orgánica	5,69	1,77	0.52153	2.35

Estas Biomosas están relacionadas con las densidades de cada uno de los tres sistemas, en los que la finca organica tiene menor numero de plantas por unidad de área.

3.1.3 Biomasa de residuos de cosecha y pos cosecha

De acuerdo a lo anotado en el capítulo anterior, la biomasa por residuos de cosecha y pos cosecha en las fincas tipo son:

Tabla 3-8. Biomasa Total (BT) en pulpa y mucilago de café, en toneladas, en las tres fincas tipos, usando el PRP encontrado por Terrapon-Pfaff (2012), con base a la relación residuo por producto anual, en estudio de exergia (2014).

Finca tipo	Rendimiento sistema (Ton/ha/año)	Biomasa pulpa y mucilago (Ton) con PRP= 1,4
Convencional	0.846	0.338
Mixta	0.720	0.288
Orgánica	0.480	0.192

3.1.4 Biomasa de Hojarasca de arboles

Según Polzot (2004), actualmente existen tres enfoques para medir o estimar la biomasa de formaciones leñosas: 1) basada en el volumen estimado; 2) directamente estima la biomasa usando ecuaciones de regresión existentes; 3) involucra recolección de datos

primarios y mediciones en campo, buscando desarrollar ecuaciones de regresión para un sitio específico (Polzot, 2004, pág. 73).

Se destaca que las muestras sobre transectos con asociación Nogal (*Cordia alliodora*) – Guayabo (*Psidium guajava*) – Yarumo (*Cecropia peltata*), presentaron mejor pesaje que los demás transectos donde solo hubo dos o una especie.

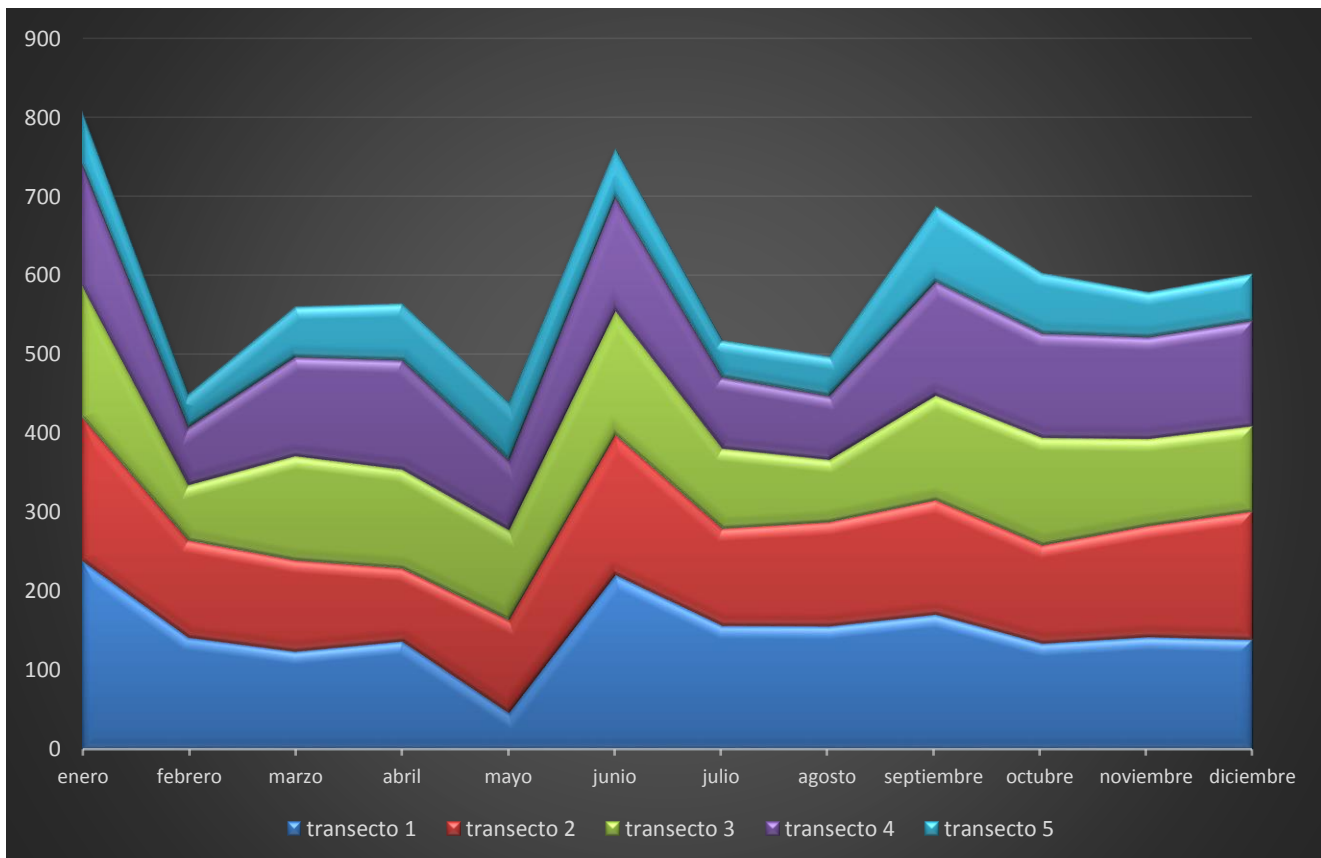
Tabla 3-9 Listado especies y pesaje promedio de trampas, captura por tres muestras en 24 lecturas, en análisis de Biomasa Hojarasca en gramos, Finca Tipo II Orgánica, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Fecha	Trampa #	T1/Gr.	Especie	T2/Gr.	Especie	T3/Gr.	Especie	T4/Gr.	Especie	T5/Gr.	Especie
15 de enero 2012	1	10	Nogal	14,8	Nogal	39,7	Nogal	19,3	Nogal	12,5	Nogal
	2	15,8	Guayabo	62,5	Nogal	37,6	Balu	30,7	Nogal	14,2	Nogal
	3	138	Yarumo	34,2	Nogal	32	Nogal	42	Nogal	18,6	Nogal
29 enero de 2012	1	6	Nogal	7,7	Nogal	15,6	Nogal	6,3	Nogal	6,4	Nogal
	2	10,3	Guayabo	25,3	Nogal	10,1	Balu	17,3	Nogal	8,6	Nogal
	3	58,7	Yarumo	37,1	Nogal	31,6	Nogal	38,2	Nogal	6,8	Nogal
Total mes		238,8		181,6		166,6		153,8		67,1	
15 de febrero de 2012	1	1,5	Nogal	10,1	Nogal	12,5	Nogal	10,3	Nogal	8	Nogal
	2	10,8	Guayabo	31	Nogal	7,2	Balu	9,3	Nogal	5,9	Nogal
	3	54,9	Yarumo	19,8	Nogal	17,3	Nogal	16,9	Nogal	6,9	Nogal
28 de febrero de 2012	1	1,6	Nogal	11,3	Nogal	9,3	Nogal	8,9	Nogal	7,8	Nogal
	2	11,6	Guayabo	28,3	Nogal	6,8	Balu	9,4	Nogal	6,1	Nogal
	3	61,7	Yarumo	22,4	Nogal	16,9	Nogal	18	Nogal	7,1	Nogal
Total mes		142,1		122,9		70		72,8		41,8	
15 de marzo de 2012	1	14,4	Nogal	11,3	Nogal	14,3	Nogal	16,8	Nogal	10,3	Nogal
	2	19,2	Guayabo	18,1	Nogal	29,3	Balu	17,4	Nogal	9,6	Nogal
	3	14,8	Yarumo	19,2	Nogal	28,4	Nogal	29,6	Nogal	12,3	Nogal
29 de marzo de 2012	1	10,4	Nogal	13,3	Nogal	12,8	Nogal	15,3	Nogal	9,3	Nogal
	2	29,2	Guayabo	32,2	Nogal	26,2	Balu	24,8	Nogal	10,3	Nogal
	3	36,3	Yarumo	21,4	Nogal	20,4	Nogal	21,3	Nogal	11,9	Nogal
Total mes		124,3		115,5		131,4		125,2		63,7	
15 de Abril del 2012	1	9,50	Nogal	20,50	Nogal	14,20	Nogal	6,10	Nogal	6,00	Nogal
	2	6,10	Guayabo	5,40	Nogal	27,00	Balu	37,40	Nogal	6,30	Nogal
	3	67,30	Yarumo	12,50	Nogal	17,50	Nogal	18,30	Nogal	13,60	Nogal
29 de Abril del 2012	1	19,80	Nogal	22,30	Nogal	18,60	Nogal	16,20	Nogal	15,80	Nogal
	2	11,60	Guayabo	17,50	Nogal	26,00	Balu	42,30	Nogal	13,60	Nogal
	3	23,10	Yarumo	13,80	Nogal	22,20	Nogal	17,20	Nogal	16,30	Nogal
Total mes		137,40		92,00		125,50		137,50		71,60	

13 de Mayo del 2012	1	6,80	Nogal	13,40	Nogal	19,20	Nogal	10,60	Nogal	10,00	Nogal
	2	7,10	Guayabo	20,50	Nogal	20,00	Balu	20,00	Nogal	16,30	Nogal
	3	23,80	Yarumo	20,00	Nogal	15,30	Nogal	10,30	Nogal	14,40	Nogal
27 de Mayo del 2012	1	4,00	Nogal	15,20	Nogal	21,40	Nogal	7,00	Nogal	10,20	Nogal
	2	5,60	Guayabo	28,00	Nogal	23,30	Balu	23,00	Nogal	10,00	Nogal
	3	-	Yarumo	20,40	Nogal	14,20	Nogal	17,00	Nogal	12,00	Nogal
Total mes		47,30		117,50		113,40		87,90		72,90	
10 de Junio del 2012	1	10,00	Nogal	14,80	Nogal	39,70	Nogal	19,30	Nogal	12,50	Nogal
	2	15,80	Guayabo	62,50	Nogal	27,80	Balu	30,70	Nogal	14,20	Nogal
	3	120,00	Yarumo	34,20	Nogal	32,00	Nogal	32,00	Nogal	12,80	Nogal
24 de Junio del 2012	1	6,00	Nogal	7,70	Nogal	15,60	Nogal	6,30	Nogal	6,40	Nogal
	2	10,30	Guayabo	20,50	Nogal	10,10	Balu	17,30	Nogal	8,60	Nogal
	3	58,70	Yarumo	37,10	Nogal	31,60	Nogal	38,20	Nogal	6,80	Nogal
Total mes		220,80		176,80		156,80		143,80		61,30	
8 de Julio del 2012	1	5,20	Nogal	7,50	Nogal	12,20	Nogal	5,20	Nogal	4,10	Nogal
	2	8,60	Guayabo	21,30	Nogal	18,20	Balu	16,00	Nogal	14,20	Nogal
	3	62,00	Yarumo	34,20	Nogal	35,10	Nogal	32,40	Nogal	8,20	Nogal
22 de Julio del 2012	1	1,00	Nogal	9,20	Nogal	10,90	Nogal	9,60	Nogal	7,20	Nogal
	2	11,00	Guayabo	30,20	Nogal	6,80	Balu	8,80	Nogal	5,60	Nogal
	3	68,70	Yarumo	20,80	Nogal	18,20	Nogal	17,50	Nogal	7,70	Nogal
Total mes		156,50		123,20		101,40		89,50		47,00	
5 de Agosto del 2012	1	1,50	Nogal	10,10	Nogal	12,50	Nogal	10,30	Nogal	8,00	Nogal
	2	10,80	Guayabo	31,00	Nogal	7,20	Balu	9,30	Nogal	5,90	Nogal
	3	54,90	Yarumo	19,80	Nogal	17,30	Nogal	16,90	Nogal	6,90	Nogal
19 de Agosto del 2012	1	15,80	Nogal	19,70	Nogal	18,70	Nogal	16,00	Nogal	15,90	Nogal
	2	11,60	Guayabo	28,30	Nogal	6,80	Balu	9,40	Nogal	6,10	Nogal
	3	61,70	Yarumo	22,40	Nogal	16,90	Nogal	18,00	Nogal	7,10	Nogal
Total mes		156,30		131,30		79,40		79,90		49,90	
Septiembre 2 de 2012	1	31,00	Nogal	15,20	Nogal	30,60	Nogal	30,20	Nogal	19,60	Nogal
	2	37,00	Guayabo	26,30	Nogal	19,00	Balu	10,80	Nogal	19,00	Nogal
	3	45,60	Yarumo	20,40	Nogal	15,80	Nogal	38,60	Nogal	16,70	Nogal
Septiembre 23 de 2012	1	13,60	Nogal	20,60	Nogal	18,40	Nogal	17,20	Nogal	9,80	Nogal
	2	28,30	Guayabo	17,20	Nogal	17,10	Balu	16,50	Nogal	17,80	Nogal
	3	15,30	Yarumo	44,80	Nogal	31,70	Nogal	30,50	Nogal	12,00	Nogal
Total mes		170,80		144,50		132,60		143,80		94,90	
Octubre 14 de 2012	1	14,40	Nogal	11,30	Nogal	14,30	Nogal	16,80	Nogal	10,30	Nogal
	2	19,20	Guayabo	18,10	Nogal	29,30	Balu	17,40	Nogal	9,60	Nogal
	3	24,90	Yarumo	28,00	Nogal	32,90	Nogal	35,80	Nogal	24,80	Nogal
	1	10,40	Nogal	13,30	Nogal	12,80	Nogal	15,30	Nogal	9,30	Nogal

Octubre 28 de 2012	2	29,20	Guayabo	32,20	Nogal	26,20	Balu	24,80	Nogal	10,30	Nogal
	3	36,30	Yarumo	21,40	Nogal	20,40	Nogal	21,30	Nogal	11,90	Nogal
Total mes		134,40		124,30		135,90		131,40		76,20	
Noviembre 11 de 2012	1	10,10	Nogal	10,30	Nogal	13,50	Nogal	14,50	Nogal	11,40	Nogal
	2	34,30	Guayabo	27,20	Nogal	20,70	Balu	22,30	Nogal	9,80	Nogal
	3	23,20	Yarumo	38,40	Nogal	34,70	Nogal	25,90	Nogal	12,1	Nogal
Noviembre 25 de 2012	1	16,30	Nogal	14,50	Nogal	13,90	Nogal	12,40	Nogal	9,80	Nogal
	2	27,80	Guayabo	25,10	Nogal	22,3	Balu	25,60	Nogal	14,20	Nogal
	3	31,10	Yarumo	24,60	Nogal	27,40	Nogal	27,60	Nogal	11,30	Nogal
Total mes		142,80		140,10		110,20		128,30		56,50	
Diciembre 9 de 2012	1	20,20	Nogal	21,30	Nogal	24,40	Nogal	18,40	Nogal	8,40	Nogal
	2	25,90	Guayabo	24,10	Nogal	18,30	Balu	19,30	Nogal	12,90	Nogal
	3	30,70	Yarumo	41,20	Nogal	27,40	Nogal	26,60	Nogal	9,80	Nogal
Diciembre 23 de 2012	1	10,30	Nogal	20,30	Nogal	21,70	Nogal	19,20	Nogal	8,30	Nogal
	2	26,70	Guayabo	18,90	Nogal	16,30	Balu	17,30	Nogal	9,90	Nogal
	3	25,20	Yarumo	36,20	Nogal	30,1	Nogal	32,20	Nogal	10,30	Nogal
Total mes		139,00		162,00		108,10		133,00		59,60	

Figura 3-3: Biomasa de Hojarasca sombrío en gramos/mes, en la Finca Orgánica o Tipo II, en estudio de cálculo de exergia (2014).

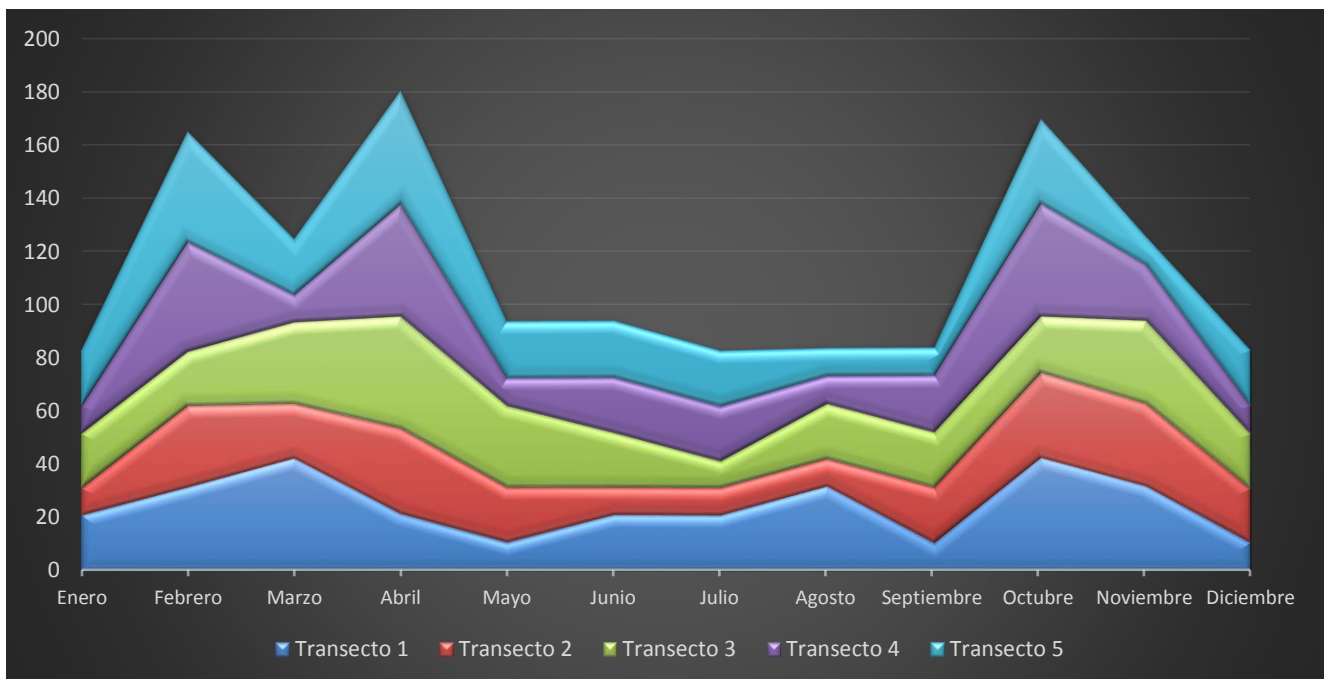


3.1.5 Biomasa de plátano

Tabla 3-10 Biomasa total de plátano (muestra aérea y raíz) en peso seco mensual, en Finca Mixta Tipo III, en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

	Transecto 1	Transecto 2	Transecto 3	Transecto 4	Transecto 5	TOTAL
Enero	20,686	10,333	20,4	10,07	21,02	82,509
Febrero	31,16	30,79	20,32	41,12	41,59	164,98
Marzo	42,106	20,56	30,64	10,28	20,96	124,546
Abril	21,266	32,19	41,99	42,22	42,78	180,446
Mayo	10,616	20,786	30,58	10,36	21,3	93,642
Junio	20,973	10,376	20,49	20,72	21,28	93,839
Julio	20,733	10,453	10,086	20,44	20,96	82,672
Agosto	31,49	10,583	20,7	10,45	10,35	83,573
Septiembre	10,54	20,826	20,69	21,29	10,5	83,846
Octubre	42,266	32,02	21,15	42,42	32,02	169,876
Noviembre	31,58	31,09	31,29	20,86	10,66	125,48
Diciembre	10,43	20,266	20,8	10,4	20,98	82,876
TOTAL	293,846	250,273	289,136	260,63	274,4	GT: 1368,285

Figura 3-4: Biomasa de Plátano en kilogramos/mes en base seca, en la Finca Mixta o Tipo III, en estudio de cálculo de exergía (2014).



3.1.6 Biomasa de arvenses

Para la determinación de la biomasa de arvenses en los 15 transectos en las tres (3) fincas tipo, aleatoriamente se tomaron 135 muestras, mediante cuadrantes de 1m², durante un año en tres épocas de lluvias o sequía en el cultivo de café, las muestras colectadas fueron preseleccionadas de acuerdo a su identificación taxonómica y enlistadas por su nombre científico; el peso fresco aéreo y radicular promedio, medido en campo, posteriormente fue secado a estufa, volviéndose a medir su peso seco aéreo y radicular; los datos en gramos de peso seco final, conjuntamente aéreo más radicular, fueron transformados por Logaritmo Natural, para su cálculo dentro del modelo estadístico empleado.

En los anexos (Anexo A, Biomasa de los sistemas), se observa la tabla que resume los valores por tipo de finca, época de recolección de muestras en cuadrantes y determinación de transectos ubicados en cada finca en estudio.

Para la evaluación de la biomasa seca de arvenses colectadas en base seca, se usó la técnica estadística de un Arreglo Factorial 3x3x5 dispuesto en un *Parcela Doblemente Dividida en Bloques Completamente al Azar* en tres mediciones con cuadrantes de 1m², en el cual los factores fueron: las fincas tipo (FINCA, con tres niveles), las épocas de recolección de las muestras (EPOCA, con tres niveles), y la ubicación de los transectos en cada finca (TRANSECTOS, con cinco niveles), así:

Factor "A" (FINCA):	Finca Tipo I	(a0)
	Finca Tipo II	(a1)
	Finca Tipo III	(a2)
Factor "B" (ÉPOCA):	Seca enero – marzo	(b0)
	Lluvias abril – mayo	(b1)
	Cosecha agosto – septiembre	(b2)
Factor "C" (TRANSECTO):	Transecto I	(t1)
	Transecto II	(t2)
	Transecto III	(t3)
	Transecto IV	(t4)
	Transecto V	(t5)

Análisis de varianza para biomasa arvenses en un BCA en arreglo factorial 3x3.

Tabla 3-11 ANAVA para arreglo factorial en un Parcela Doblemente Dividida en un BCA, para pesos secos en gramos de arvenses con datos transformados (LN) (2014).

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Razón de Varianza	F tabulado	
P. Principal	8	122,68				
Cuadrante	2	30,16	15,08	1,29(-)	6,94	18
Finca	2	45,96	22,98	1,97(-)	6,94	18
Error "a"	4	46,56	11,64			
Sub parcela	18	20,35				
Época	2	6,78	3,39	8,25(**)	3,89	6,93
Inter FxE	4	8,63	2,157	5,25(*)	3,26	5,41
Error "b"	12	4,94	0,411			
Subsubparcela	108	73,54				
Transecto	4	6,62	1,655	2,43(-)	2,45	3,48
Inter FxT	8	10,83	1,353	1,98(-)	2,02	2,66
Inter ExT	8	3,16	0,395	0,58(-)	2,02	2,66
Inter FxExT	16	3,87	0,241	0,353(-)	1,75	2,1
Error "c"	72	49,06	0,681			
TOTAL	134	216,57				

$$CV \text{ Parcela Principal} = [\sqrt{(11,64) / 606,531}] * (100) * (3) * (3) = 5,06\%$$

$$CV \text{ Sub Parcela} = [\sqrt{(0,411) / 606,531}] * (100) * (3) * (3) = 0,95\%$$

$$CV \text{ Sub subparcela} = [\sqrt{(0,681) / 606,531}] * (100) * (135) = 18,36\%$$

Los resultados muestran que existe en las muestras aérea más radicular en peso seco colectadas de arvenses, diferencias altamente significativa entre estas en la Sub parcela (factor ÉPOCA) y diferencia significativa en el arreglo estadístico en la interacción Finca por Época (AxB); lo anterior puede ser debido a una mayor preponderancia de especies e individuos en un tipo de finca aleccionada por la ausencia o presencia de lluvias. Observadas los pesos secos de las muestras colectadas de arvenses por Parcela Principal (Tipos de fincas), únicamente, sin considerar los otros factores del arreglo estadístico, no se presentó diferencias significativas. Igual a lo anterior sucedió, si se observan

únicamente los pesos secos de arvenses colectadas en la Sub subparcela (ubicación de Transectos).

En los arreglos estadísticos Finca por Transecto (AxC), Época por Transecto (BxC) y el más general Finca por Época por Transecto (AxBxC), esta tesis doctoral, encontró que para los pesos secos de las especies y subespecies de arvenses colectadas, no existió diferencia significativa. Respecto de la precisión (Coeficiente de Variación CV) del diseño experimental seleccionado, la toma de muestras y la conformación de los datos en un arreglo factorial, se concluye que en general esta fue de óptimamente confiable (para el caso de las Parcelas y Sub parcelas, 5% y 0,95% respectivamente) a aceptablemente confiable (para las Sub subparcelas, 18%). Lo anterior puede sugerir que en otra experimentación con los mismos parámetros de esta, se deben tomar más número de transectos por finca, para evitar posibles yerros en la extracción y manipulación de las plantas, su corte en campo entre parte aérea y parte radicular, y el pesaje de estas en laboratorio. Al evaluar la precisión de la experiencia, se obtuvo que de cada 100 veces que se realice este muestreo en similares condiciones, entre 99 a 82 veces arrojaran los mismos resultados. En razón a la diferencia significativa en la interacción Finca por Época encontrada en la ANAVA, el autor dispuso la aplicación de una Prueba de Significancia tipo DMS con arreglo especial, para observar la diferencia entre las muestras.

Prueba de significancia DMS con arreglo especial para la interacción AxB.

Tabla 3-12. Valores (media de cada 15 lecturas) de las 135 unidades experimentales agrupadas en el arreglo factorial Subparcela Finca por Época (AxB), con datos transformados LN (2014).

	lluvias	seca	cosecha
convencional	3,762	3,873	3,605
orgánica	5,256	4,554	5,704
mixta	4,482	4,24	4,991

Con la anterior distribución de medias de la interacción, se hace la comparación de medias, luego de hallar el rango estandarizado (R), el “t” de Student y la desviación estándar, a la probabilidad del 0,025 y 0,005 por ser bilateral, de acuerdo a la ecuación:

$$DMS = \sqrt{2} * R * t * Sd$$

Donde:

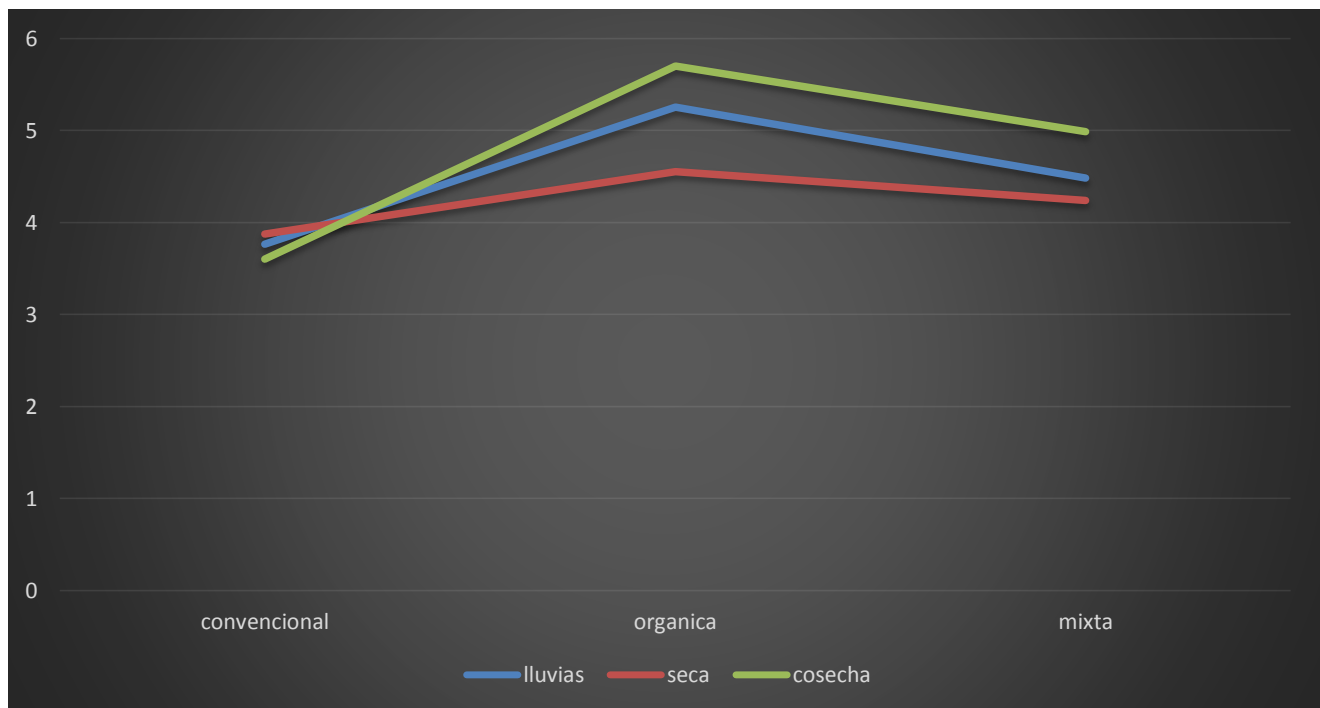
$$Sd = \sqrt{\frac{CME \text{ "b" }}{UE / NA * NB}}$$

Dejando el factor "A" constante.

Tabla 3-13 Comparación de medias del factor "B" (Época) cuando está constante el factor "A" (Finca) en prueba DMS, con datos transformados LN (2014).

para a0=K		para a1=K		para a2=K	
3,873 - 3,762	0,11(-)	5,704 - 5,256	0,44(-)	4,991 - 4,482	0,51(*)
- 3,605	0,26(-)	- 4,554	1,15(**)	- 4,240	0,75(**)

Figura 3-5. Distribución de medias para la interacción Finca por Época en prueba DMS, con datos transformados LN (2014).



Se observa en la tabla de comparación de medias y en la figura anterior sobre las mismas, la mayor participación del peso seco en general en la Finca Orgánica (Finca Tipo II) frente a las dos restantes fincas evaluadas, para las tres épocas lluvias o sequía en recolección

de arvenses dentro de un cultivo de café, dentro de un estudio general de exergía; esto se debe, probablemente, en la baja perturbación y afectación por residuos de insumos químicos y aumento de aportes de materia orgánica en la superficie del suelo, donde se alimentan las arvenses; la prueba de significancia muestra que la Finca Orgánica es significativamente superior a la Finca Mixta y altamente significativa frente a la Finca Convencional, cuando se evalúa la información de pesos secos de arvenses, en el arreglo factorial interacción Finca por Época. Por el contrario la Finca Tipo I (Convencional) presentó, para las tres épocas de recolección de arvenses, lo más bajos pesos secos en promedio, presumiendo quizá que la aplicación de agro insumos químicos.

Calculo de Índice de Shannon y Simpson.

Índice Finca Tipo I – Convencional:

Tabla 3-14 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo I (Convencional), en análisis de Biomasa Arvenses en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Especie Nombre vulgar y Nombre científico	n	Pi	LN Pi	Pi * LN Pi	n(n-1)
Achira (Cannacoccinea Mill)	19	0,00348816	-5,6583813	-0,01973733	342
Bledo (Amaranthus dubius Mart)	2	0,00036717	-7,9096731	-0,00290423	2
Botoncillo (Spermacoce alata DC)	41	0,00752708	-4,88924821	-0,03680176	1640
Botoncillo amarillo (Acmella linnaei C)	10	0,00183587	-6,30023518	-0,01156643	90
Cadillo carreton (Cenchrus sp)	2	0,00036717	-7,9096731	-0,00290423	2
Caminadora (Rottboellia exaltata K)	38	0,00697632	-4,96523412	-0,03463905	1406
Chipaca (Bidens pilosa L)	450	0,08261428	-2,49357269	-0,20600472	202050
Cilantro (Astrephia chaerophylloides DC)	28	0,00514044	-5,27061577	-0,02709331	756
Clavo de cristo (Euphorbia heterophylla L)	12	0,00220305	-6,11791363	-0,01347805	132
Colombianita (Thunbergia alata Bojer)	2	0,00036717	-7,9096731	-0,00290423	2
Cortadera (Cyperus ferax L)	25	0,00458968	-5,38394445	-0,0247106	600
Escoba (Sida acuta Burm)	14	0,00257022	-5,96376295	-0,0153282	182
Estrellita (Dichromena ciliata Vahl)	12	0,00220305	-6,11791363	-0,01347805	132
Golondrina (Drymaria cordata L)	86	0,01578851	-4,14847298	-0,0654982	7310
Gramalote (Paspalum macrophyllum H.B.K)	100	0,01835873	-3,99765009	-0,07339178	9900
Guardarocio (Digitaria sanguinalis L)	1572	0,28859923	-1,2427163	-0,35864697	2469612
Limpia frascos (Setaria geniculata Lam)	8	0,0014687	-6,52337874	-0,00958088	56

Melampodium sp.	20	0,00367175	-5,607088	-0,0205878	380
Nabo (Brassica alba Boiss)	133	0,02441711	-3,71247115	-0,09064782	17556
Palo de agua (Jussiaea suffruticosa L)	2	0,00036717	-7,9096731	-0,00290423	2
Pan con queso (Galinsoga parviflora Cav)	2130	0,39104094	-0,93894302	-0,36716516	4534770
Pata de gallina (Eleusine indica L)	78	0,01431981	-4,24611145	-0,06080351	6006
Pegapega (Desmodium tortuosum SW)	4	0,00073435	-7,21652592	-0,00529945	12
Pincelito amarillo	95	0,01744079	-4,04894339	-0,07061678	8930
Pincelito rojo (Emilia sonchifolia L)	294	0,05397466	-2,91924051	-0,15756503	86142
Sanalotodo (Cuphea racemosa L)	13	0,00238663	-6,03787092	-0,01441019	156
Siempreviva (Tradescantia cumanensis L)	57	0,01046448	-4,55976901	-0,04771559	3192
Sinedrela (Sinedrella nudiflora L)	59	0,01083165	-4,52528283	-0,04901628	3422
Suelda consuela (Commelina diffusa Burn)	36	0,00660914	-5,01930134	-0,03317328	1260
Teresita azul (Browalia americana L)	1	0,00018359	-8,60282028	-0,00157937	0
Tripaepollo (Euphorbia hirta L)	48	0,00881219	-4,73161927	-0,04169593	2256
Viernes santo (Phyllanthus niruri L)	6	0,00110152	-6,81106081	-0,00750255	30
Yuyo (Acmella mutisii Cass)	40	0,00734349	-4,91394082	-0,03608548	1560
TOTALES	5437			-1,92543646	7359888

Índice de SHANNON	Índice de Simpson
H = 1,925	D = (Sum n(n-1)) / (N (N-1))
Hmax = LN (33) = 3,496	D = 7359888 / (5437 (5437-1))
Uniformidad = H / Hmax = (1,925) / (3,496) = 0,55	D = 7359888 / 29555532
Uniformidad = 0,55	D = 0,249
Índice de Diversidad de SHANNON = 1,925	Índice de diversidad de Simpson = 1 - D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,751

Índice Finca Tipo II – Orgánica:

Tabla 3-15 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo II (Orgánica), en análisis de Biomasa Arvenses en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Especie Nombre vulgar y Nombre científico	n	Pi	LN Pi	Pi * LN Pi	n(n-1)
Abrojo (Iresine celosia L)	37	0,01148355	-4,46683965	-0,05129518	1332

Barbasquillo (<i>Poligonum hydropiperoides</i>)	16	0,00496586	-5,30516884	-0,02634472	240
Besito antioqueño (<i>Impatiens balsamina</i> L)	310	0,09621353	-2,34118527	-0,2252537	95790
Boton pequeño (<i>Siegesbeckia jorullensis</i> H.B.K)	86	0,0266915	-3,62341027	-0,09671424	7310
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)	45	0,01396648	-4,27109507	-0,05965217	1980
Botoncillo amarillo (<i>Acmella linnaei</i> C)	8	0,00248293	-5,99831602	-0,0148934	56
Chapola (<i>Coffea arabiga</i>)	16	0,00496586	-5,30516884	-0,02634472	240
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	240	0,0744879	-2,59711864	-0,1934539	57360
Cilantro (<i>Astrephia chaerophylloides</i> DC)	328	0,10180012	-2,28474396	-0,23258722	107256
Coneja (<i>Oplismenus burmanii</i> Retz)	30	0,00931099	-4,67656018	-0,04354339	870
Cortadera (<i>Cyperus ferax</i> L)	31	0,00962135	-4,64377036	-0,04467935	930
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> L)	93	0,02886406	-3,54515807	-0,10232765	8556
helecho (<i>Ptenitis ampla</i>)	21	0,00651769	-5,03323513	-0,03280507	420
Llanten (<i>Plantago rugelli</i> Decne)	714	0,22160149	-1,5068746	-0,33392566	509082
Mastranto (<i>Salvia palaefolia</i> H.B.K)	24	0,00744879	-4,89970373	-0,03649686	552
Melampodium sp.	73	0,02265673	-3,78729812	-0,08580781	5256
Nabo (<i>Brassica alba</i> Boiss)	5	0,00155183	-6,46831965	-0,01003774	20
Pan con queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	139	0,04314091	-3,14328363	-0,1356041	19182
Parecido Golondrina (<i>Stellaria</i> sp)	19	0,00589696	-5,13331858	-0,03027097	342
Pincelito amarillo	138	0,04283054	-3,15050388	-0,13493778	18906
Pincelito rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> L)	71	0,022036	-3,81507769	-0,08406906	4970
Sanalotodo (<i>Cuphea racemosa</i> L)	4	0,00124146	-6,6914632	-0,00830722	12
Siempreviva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L)	354	0,10986965	-2,20846065	-0,24264279	124962
Teresita azul (<i>Browalia americana</i> L)	30	0,00931099	-4,67656018	-0,04354339	870
Tiririca brava (<i>Hipoxis decumbens</i> L)	3	0,0009311	-6,97914528	-0,00649827	6
Trebol Flor amarilla (<i>Oxalis corniculata</i> L)	3	0,0009311	-6,97914528	-0,00649827	6
Trebol moradito (<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K)	32	0,00993172	-4,61202166	-0,04580531	992
Tripaepollo (<i>Euphorbia hirta</i> L)	16	0,00496586	-5,30516884	-0,02634472	240
Urticacea (<i>Boehmeria</i> sp)	327	0,10148976	-2,28779739	-0,232188	106602
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	9	0,0027933	-5,88053299	-0,01642607	72
TOTALES	3222			-2,62929876	1074412

Índice de Shannon	Índice de Simpson
$H = 2,62$	$D = (\text{Sum } n(n-1)) / (N(N-1))$
$H_{\text{max}} = \text{LN}(30) = 3,4$	$D = 1074412 / (3222(3222-1))$
$\text{Uniformidad} = H / H_{\text{max}} = (2,62) / (3,4) = 0,77$	$D = 1074412 / 10378062$
$\text{Uniformidad} = 0,77$	$D = 0,103$

Índice de Diversidad de Shannon = 2,62	Índice de diversidad de Simpson = 1 -D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,896

Índice Finca Tipo III – Mixta:

Tabla 3-16 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo III (Mixta), en análisis de Biomasa Arvenses en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Especie Nombre vulgar y Nombre científico	n	Pi	LN Pi	Pi * LN Pi	n(n-1)
Alacrán (<i>Cyathula achyranoides</i> H.B.K)	15	0,0128866	-4,35156743	-0,0560769	210
Astaracea moradita (<i>Ageratum</i> sp)	7	0,00601375	-5,11370748	-0,03075254	42
Batatilla (<i>Ipomoea trifida</i> H.B.K)	2	0,00171821	-6,36647045	-0,01093895	2
Besito antioqueño (<i>Impatiens balsamina</i> L)	78	0,06701031	-2,7029088	-0,18112275	6006
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)	8	0,00687285	-4,98017609	-0,03422801	56
Chapola (<i>Coffea arabica</i>)	266	0,22852234	-1,47612132	-0,33732669	70490
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	15	0,0128866	-4,35156743	-0,0560769	210
Clavo de cristo (<i>Euphorbia heterophylla</i> L)	2	0,00171821	-6,36647045	-0,01093895	2
Coneja (<i>Oplismenus burmanii</i> Retz)	497	0,42697595	-0,8510276	-0,36336831	246512
Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Escoba (<i>Sida acuta</i> Burm)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> L)	85	0,07302405	-2,61696637	-0,1911015	7140
Gramalote (<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K)	6	0,00515464	-5,26785816	-0,02715391	30
Guardarocio (<i>Digitaria sanguinalis</i> L)	15	0,0128866	-4,35156743	-0,0560769	210
helecho (<i>Ptenitis ampla</i>)	11	0,00945017	-4,66172236	-0,04405408	110
Mastrantillo (<i>Hyptis atrorubens</i> Poit)	10	0,00859107	-4,75703254	-0,04086798	90
Melampodium sp.	7	0,00601375	-5,11370748	-0,03075254	42
Pan con queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	22	0,01890034	-3,96857517	-0,07500743	462
Pasto horqueta (<i>Paspalum conjugatum</i> B)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Pata de gallina (<i>Eleusine indica</i> L)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Pincelito rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> L)	35	0,03006873	-3,50426957	-0,10536893	1190
Siempreviva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L)	13	0,01116838	-4,49466827	-0,05019819	156
Sinedrela (<i>Sinedrella nudiflora</i> L)	17	0,01460481	-4,22640428	-0,06172584	272
Suelda consuela (<i>Commelina diffusa</i> Burn)	17	0,01460481	-4,22640428	-0,06172584	272
Teresita azul (<i>Browalia americana</i> L)	2	0,00171821	-6,36647045	-0,01093895	2

Tiririca brava (<i>Hipoxis decumbens</i> L)	1	0,00085911	-7,05961763	-0,00606496	0
Trebol moradito (<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K)	6	0,00515464	-5,26785816	-0,02715391	30
Tripaepollo (<i>Euphorbia hirta</i> L)	4	0,00343643	-5,67332327	-0,01949596	12
Tusilla (<i>Kohleria spicata</i> H.B.K)	2	0,00171821	-6,36647045	-0,01093895	2
Verbena blanca (<i>Verbena littoralis</i> H.B.K)	5	0,00429553	-5,45017972	-0,02341142	20
Yerba papagayo (<i>Blechum pyramidatum</i> L)	5	0,00429553	-5,45017972	-0,02341142	20
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	7	0,00601375	-5,11370748	-0,03075254	42
TOTALES	1164			-2,00129111	333632

Índice de Shannon	Índice de Simpson
H = 2,00	$D = (\text{Sum } n(n-1)) / (N (N-1))$
Hmax = LN (32) = 3,46	$D = 333632 / (1164 (1164-1))$
Uniformidad = H / Hmax = (2,00) / (3,46) = 0,57	$D = 333632 / 1353732$
Uniformidad = 0,57	$D = 0,246$
Índice de Diversidad de Shannon = 2,00	Índice de diversidad de Simpson = 1 -D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,753

3.1.7 Artrópodos

En los anexos (Anexo A) se puede observar los datos de taxonomía y conteo en campo; como se anotó en las biomásas anteriores, los índices de Shannon y Simpson, estuvieron para el índice de Shannon cercano a dos (2) y para Simpson por encima del 0,5; la finca tipo II u Orgánica, en la biomasa de artrópodos, se comportó en los promedios que venían dándose para las otras biomásas analizadas.

Calculo de Índice de Shannon y Simpson.

Índice Finca Tipo I – Convencional:

Tabla 3-17 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo I (Convencional), en análisis de Biomasa Artrópodos en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Phyllum	Clase	Orden	Familia	n	Pi * LN Pi	n*(n-1)	
ANELIDA	Anelida		anelida	1	3	-0,03140492	6
ARACNIDA	Arácnida	Acari	ácaros	2	100	-0,32531655	9900

ARACNIDA	Arácnida		araña, pseudo escorpiones	3	3	-0,03140492	6
MIRIAPODA	Chilopoda		cien pies	4	2	-0,02260519	2
MIRIAPODA	Diplopoda	Julida	Julida Nemasomatidae	5	10	-0,07990995	90
MIRIAPODA	Diplopoda	Polidesmida	mil pies con caparazón	6	1	-0,01272882	0
MIRIAPODA	Diplopoda	Polixenida	mil pies con pelos urticantes	7	6	-0,05425246	30
SYMPHILA	Symphyla		Symphyla	8	19	-0,12673585	342
HEXAPODA	Collembola	Entomobriidae	Entomobriidae	9	87	-0,30795503	7482
HEXAPODA	Collembola	Isotomidae	Isotomidae	10	16	-0,11238255	240
HEXAPODA	Collembola	Poduridae	Poduridae	11	11	-0,08574372	110
HEXAPODA	Collembola	Sminthuridae	sminthuridae	12	2	-0,02260519	2
HEXAPODA	Collembola	NI	Collembola	13	1	-0,01272882	0
HEXAPODA	Diplura	Japigidae	japigidae	14	13	-0,09686496	156
INSECTA	Microcorypgia	NI	Microcoryphia	15	11	-0,08574372	110
INSECTA	Dermaptera	NI	Dermaptera	16	1	-0,01272882	0
INSECTA	Blattodea	Blattidae	Blattidae	17	1	-0,01272882	0
INSECTA	Hemiptera	Cydnidae	Cydnidae	18	3	-0,03140492	6
INSECTA	Hemiptera	Gelastocoridae	Gelastocoridae	19	3	-0,03140492	6
INSECTA	Hemiptera	Pentatomidae	Pentatomidae	20	1	-0,01272882	0
INSECTA	Hemiptera	NI	NI	21	1	-0,01272882	0
INSECTA	Hemiptera	Miridae	Miridae	22	1	-0,01272882	0
INSECTA	Psocoptera	NI	Psocoptera	23	2	-0,02260519	2
INSECTA	Coleoptera	Nitidulidae	nitidulidae	24	1	-0,01272882	0
INSECTA	Coleoptera	Ptilidae	Ptilidae	25	1	-0,01272882	0
INSECTA	Coleoptera	Scolitidae	scolitidae	26	1	-0,01272882	0
INSECTA	Coleoptera	Scydmaenidae	scydmaenidae	27	3	-0,03140492	6
INSECTA	Coleoptera	Staphilinidae	Staphilinidae	28	13	-0,09686496	156
INSECTA	Coleoptera	NI	NI	29	2	-0,02260519	2
INSECTA	Hymenoptera	Formicidae	hormigas	30	152	-0,36352648	22952
INSECTA	Lepidoptera	NI	Polilla pequeña	31	1	-0,01272882	0
INSECTA	Diptera	Cecydomidae	Cecydomidae	32	4	-0,03950547	12
INSECTA	Diptera	Phoridae	Phoridae	33	2	-0,02260519	2
INSECTA	diptera	Psychodidae	Psychodidae	34	1	-0,01272882	0
INSECTA	Diptera	NI	moscas, zancudos	35	7	-0,06107426	42
TOTALES					486	2,25867238	41662

Índice de Shannon	Índice de Simpson
H = 2,258	$D = (\text{Sum } n(n-1)) / (N(N-1))$
Hmax = LN (35) = 3,555	$D = 41662 / (486(486-1))$
Uniformidad = H / Hmax = (2,258) / (3,555) = 0,63	$D = 41662 / 235710$

Uniformidad = 0,63	D = 0,18
Índice de Diversidad de Shannon = 2,258	Índice de diversidad de Simpson = 1 -D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,82

Índice Finca Tipo II – Orgánica:

Tabla 3-18 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo II (Orgánica), en análisis de Biomasa Artrópodos en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Phyllum	Clase	Orden	Familia	n	Pi * LN Pi	n*(n-1)	
ANELIDA	Anelida		anelida	1	1	-0,00382873	0
ARACNIDA	Aracnida	Acari	acaros	2	270	-0,27149013	72630
MIRIAPODA	Chilopoda		cien pies	3	16	-0,03888877	240
MIRIAPODA	Diplopoda	Julida	Julida Nemasomatidae	4	16	-0,03888877	240
MIRIAPODA	Diplopoda	Polidesmida	mil pies con caparazón	5	34	-0,06971467	1122
MIRIAPODA	Diplopoda	Polixenida	mil pies con pelos urticantes	6	8	-0,02224074	56
CRUSTACEA	Isopoda		Isopoda	7	36	-0,07277786	1260
SYMPHILA	Symphila		Symphila	8	73	-0,12155279	5256
HEXAPODA	Collembola	Entomobriidae	Entomobriidae	9	153	-0,19766768	23256
HEXAPODA	Collembola	Isotomidae	Isotomidae	10	138	-0,18546925	18906
HEXAPODA	Diplura	Campodeidae	Campodeidae	11	2	-0,00695837	2
HEXAPODA	Diplura	Japigidae	japigidae	12	45	-0,08590855	1980
INSECTA	Microcorypgia	NI	Microcoryphia	13	14	-0,03497041	182
INSECTA	Hemiptera	Cydnidae	Cydnidae	14	17	-0,0407996	272
INSECTA	Hemiptera	NI	NI	15	2	-0,00695837	2
INSECTA	Hemiptera	Miridae	Miridae	16	1	-0,00382873	0
INSECTA	Hemiptera	Pseudococcidae	Pseudococcidae	17	3	-0,00982414	6
INSECTA	Coleoptera	Ptilidae	Ptilidae	18	8	-0,02224074	56
INSECTA	Coleoptera	Scarabaeidae	Scarabaeidae	19	6	-0,017551	30
INSECTA	Coleoptera	Scydmaenidae	scydmaenidae	20	4	-0,01251855	12
INSECTA	Coleoptera	Staphilinidae	Staphilinidae	21	10	-0,02667565	90
INSECTA	Coleoptera	Tenebrionidae	Tenebrionidae	22	1	-0,00382873	0
INSECTA	Coleoptera	NI	NI	23	1	-0,00382873	0
INSECTA	Hymenoptera	Formicidae	hormigas	24	1099	-0,32710085	1206702
INSECTA	Diptera	Drosophilidae	Drosophila	25	2	-0,00695837	2
INSECTA	Díptera	Muscidae	Muscidae	26	1	-0,00382873	0
INSECTA	Díptera	Psychodidae	Psychodidae	27	1	-0,00382873	0
INSECTA	Diptera	NI	moscas, zancudos	28	21	-0,04816173	420
TOTALES				1983	-1,68828936	1332722	

Índice de Shannon	Índice de Simpson
$H = 1,688$	$D = (\text{Sum } n(n-1)) / (N(N-1))$
$H_{\text{max}} = \text{LN}(28) = 3,332$	$D = 1332722 / (1983(1983-1))$
$\text{Uniformidad} = H / H_{\text{max}} = (1,688) / (3,332) = 0,51$	$D = 1332722 / 3930306$
$\text{Uniformidad} = 0,51$	$D = 0,339$
Índice de Diversidad de Shannon = 1,688	Índice de diversidad de Simpson = 1 - D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,66

Índice Finca Tipo III – Mixta:

Tabla 3-19 Listado especies y cálculos índices Shannon y Simpson, Finca Tipo III (Mixta), en análisis de Biomasa Artrópodos en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Phyllum	Clase	Orden	Familia	n	Pi * LN Pi	n*(n-1)	
ANELIDA	Anelida		anelida	1	1	-0,00883677	0
ARACNIDA	Aracnida	Acari	acaros	2	88	-0,25159331	7656
ARACNIDA	Aracnida		araña, pseudoescorpiones	3	1	-0,00883677	0
MIRIAPODA	Chilopoda		cien pies	4	4	-0,02794363	12
MIRIAPODA	Diplopoda	Julida	Julida Nemasomatidae	5	9	-0,05312901	72
MIRIAPODA	Diplopoda	Polidesmida	mil pies con caparazón	6	6	-0,03866739	30
MIRIAPODA	Diplopoda	Polixenida	mil pies con pelos urticantes	7	2	-0,01582268	2
CRUSTACEA	Isopoda		Isopoda	8	3	-0,02210999	6
SYMPHILA	Symphila		Symphila	9	7	-0,0436713	42
HEXAPODA	Collembola	Entomobriidae	Entomobriidae	10	119	-0,29227536	14042
HEXAPODA	Collembola	Isotomidae	Isotomidae	11	92	-0,25756934	8372
HEXAPODA	Collembola	Poduridae	Poduridae	12	18	-0,08960028	306
HEXAPODA	Diplura	Campodeidae	Campodeidae	13	3	-0,02210999	6
HEXAPODA	Diplura	Japigidae	japigidae	14	10	-0,05762555	90
INSECTA	Microcorypgia	NI	Microcoryphia	15	7	-0,0436713	42
INSECTA	Hemiptera	Cydnidae	Cydnidae	16	11	-0,06198836	110
INSECTA	Hemiptera	Gelastocoridae	Gelastocoridae	17	2	-0,01582268	2
INSECTA	Psocoptera	NI	Psocoptera	18	1	-0,00883677	0
INSECTA	Coleoptera	Ptilidae	Ptilidae	19	2	-0,01582268	2
INSECTA	Coleoptera	Scarabaeidae	Scarabaeidae	20	4	-0,02794363	12
INSECTA	Coleoptera	Scydmaenidae	scydmaenidae	21	10	-0,05762555	90

INSECTA	Coleoptera	Staphilinidae	Staphilinidae	22	24	-0,11024892	552
INSECTA	Coleoptera	NI	NI	23	7	-0,0436713	42
INSECTA	Himenoptera	NI	Microhymenoptera	24	1	-0,00883677	0
INSECTA	Hymenoptera	Formicidae	hormigas	25	313	-0,36462444	97656
INSECTA	Diptera	Tachinidae	Tachinidae	26	1	-0,00883677	0
INSECTA	Diptera	NI	moscas, zancudos	27	3	-0,02210999	6
TOTALES					749	-1,9798305	129150

Índice de Shannon	Índice de Simpson
H = 1,979	$D = (\text{Sum } n(n-1)) / (N(N-1))$
Hmax = LN (27) = 3,295	$D = 129150 / (749(749-1))$
Uniformidad = H / Hmax = (1,979) / (3,295) = 0,6	$D = 129150 / 560252$
Uniformidad = 0,6	$D = 0,23$
Índice de Diversidad de Shannon = 1,979	Índice de diversidad de Simpson = 1 - D
	Índice de diversidad de Simpson = 0,77

De acuerdo a lo citado por Ruiz, Lavelle y Jiménez (2008), la macro fauna es un grupo Funcional debido a que se constituye en un grupo de organismos que cumplen la misma función y tienen impacto similar dentro del suelo, citando a Gitay y Noble (1997) (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 35).

No existe, continua el autor, un único sistema de clasificación, debido a que los criterios usados para clasificar los organismos del suelo y el grado de subdivisión aplicados son una función de quien orienta la investigación (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 36).

De otra parte, para los propósitos de esta tesis doctoral, los autores citados, argumentan que dentro de un suelo existe un balance complejo y dinámico entre los diferentes grupos de organismos y los diferentes hábitos de alimentación. La Predación y la Competencia, son los principales factores que controlan dicho equilibrio, como se vio en la clasificación anterior de la biomasa encontrada (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 23).

Los autores citados, consideran que la Predación tiene un importante papel debido a que establece un balance entre el número de individuos y la cantidad de recursos disponibles.

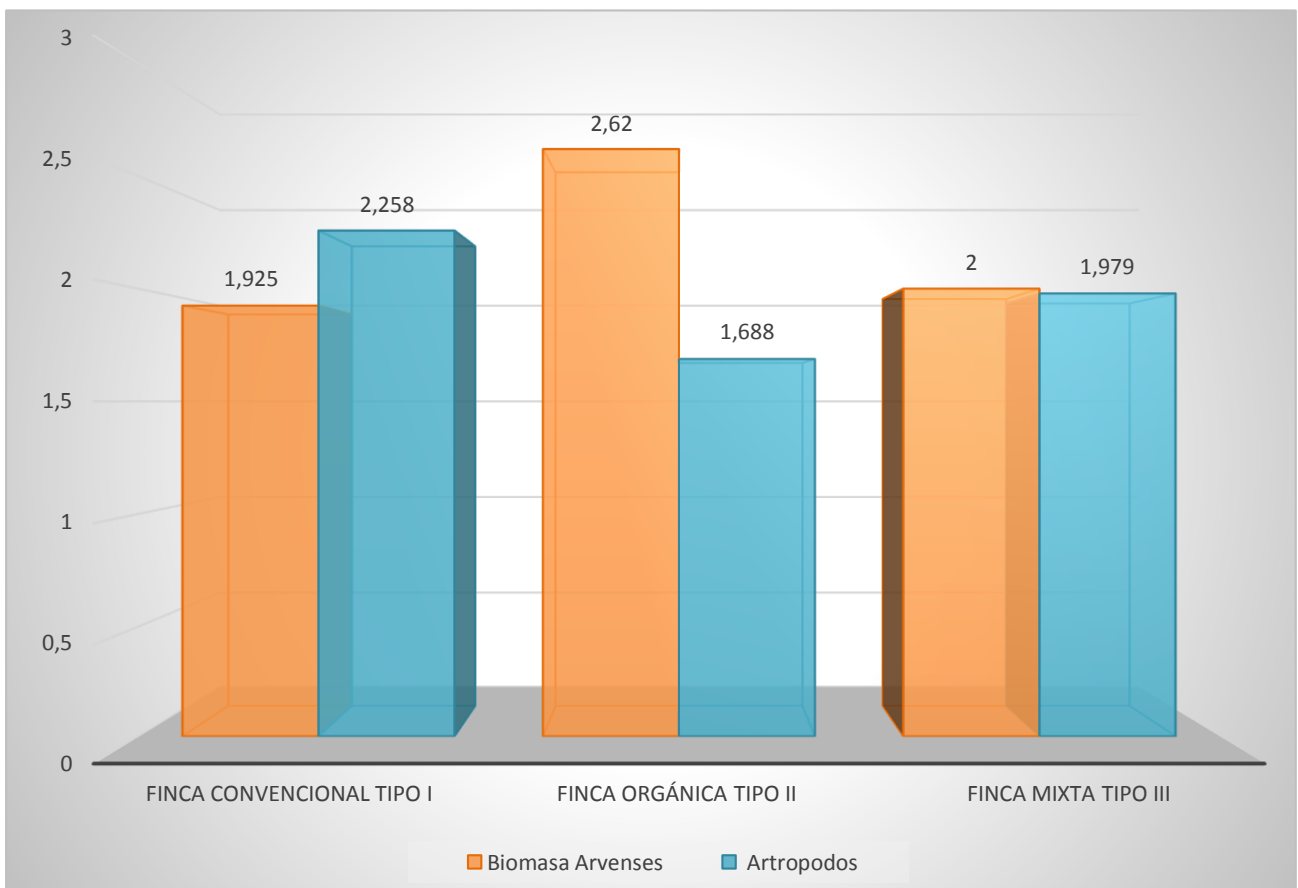
La competencia es otra forma de mantener las poblaciones de fauna del suelo, en balance con los recursos del suelo (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 23).

Continúan Ruiz, Lavelle y Jiménez (2008), resaltando que otro efecto biológico de la macro fauna del suelo, es la eliminación del material muerto.

Este trabajo es realizado por los Necrófagos (alimento de animales muertos o muriéndose) y los Coprófagos (alimento del excremento), tales como las larvas Dípteras y Coleóptera, y las larvas y los adultos de Lepidóptera.

Ellos limpian la superficie del suelo e incorporan material orgánica. Además la macro fauna del suelo disemina bacterias y esporas a través de la dispersión de excremento (Ruiz, Lavelle, & Jiménez, 2008, pág. 24).

Figura 3-6. Distribución de índices de Shannon en biomasa de arvenses y artrópodos para los tres sistemas de producción, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.



3.1.8 Contenido mineralógico suelo y foliar

Análisis químico – físico de muestras de suelo.

Índice Finca Tipo I – Convencional:

Tabla 3-20 Listado características químico – físicas de muestra de suelo, Finca San Felipe Tipo I (Convencional), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

PROPIEDADES	%	gr/cc	us/cm	cmol/kg
ARENA	66%			
LIMOS	17,00%			
ARCILLA	16,80%			
TEXTURA Franco arenoso				
M.O	4,25%			
D.Apa		0,94		
PH				5,5
C.E			294,9	
C.I.C.E				4,7
C.O	2,47%			
SATURACIONES				
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO		
CALCIO	67,16%	40-50		
MAGNESIO	9,59%	10,0-15,0		
POTASIO	20,04%	22,0-4,0		
SODIO	3,20%			
ALUMINIO	0,00%	MENOR 40		
MAYORES				
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO		
NITROGENO	%			
FOSFORO	0,11	15-40	MG/KG	
POTASIO	0,94	0,20-0,60	CMOL/KG	
CALCIO	3,15	5,0-10,0	CMOL/KG	
MAGNESIO	0,45	1,0-2,0	CMOL/KG	
AZUFRE	18,36	5,0-10,0	MG/KG	
MENORES				
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO		
BORO	0,27	0,20-0,40	MG/KG	
ZINC	8,08	3,0-6,0	MG/KG	
HIERRO	56,74	10,0-50,0	MG/KG	
SODIO	0,15		CMOL/KG	
MANGANESO	112,3	5,0-50,0	MG/KG	
COBRE	0,59	1,0-4,0	MG/KG	

SILICIO	MEG/100	NR
Al+H	0	CMOL/KG
Al+3	0	CMOL/KG
RELACIONES IONICAS		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
CA+MG/K	3,83	20-0-40,0
CA/MG	7	3,0-6,0
CA/K	3,35	15,0-30,0
MG/K	0,48	8,0-10,0
CA/B	2333,3	1000,0-2000,0
FE/MN	0,51	5,0-10,0
P/ZN	1,34	10,0-10,0

Índice Finca Tipo III – Mixta:

Tabla 3-21 Listado características químico – físicas de muestra de suelo, Finca La Granja Tipo III (Mixta), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

PROPIEDADES	%	gr/cc	us/cm	cmol/kg
ARENA	63%			
LIMOS	21,00%			
ARCILLA	15,80%			
TEXTURA				
Franco arenoso				
M.O	11,4%			
D.Apa		0,88		
PH				5,65
C.E			251,4	
C.I.C.E				4,5
C.O	2,77%			
SATURACIONES				
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO		
CALCIO	64,67%	40-50		
MAGNESIO	8,89%	10,0-15,0		
POTASIO	23,56%	22,0-4,0		
SODIO	2,89%			
ALUMINIO	0,00%	MENOR 40		
MAYORES				
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO		
NITROGENO	%			

FOSFORO	18,48	15-40	MG/KG
POTASIO	1,06	0,20-0,60	CMOL/KG
CALCIO	2,91	5,0-10,0	CMOL/KG
MAGNESIO	0,4	1,0-2,0	CMOL/KG
AZUFRE	6,89	5,0-10,0	MG/KG
MENORES			
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO	
BORO	0,16	0,20-0,40	MG/KG
ZINC	4,07	3,0-6,0	MG/KG
HIERRO	2,15	10,0-50,0	MG/KG
SODIO	0,13		CMOL/KG
MANGANESO	98,58	5,0-50,0	MG/KG
COBRE	0,07	1,0-4,0	MG/KG
SILICIO	MEG/100	NR	
Al+H	0		CMOL/KG
Al+3	0		CMOL/KG
RELACIONES IONICAS			
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO	
CA+MG/K	3,12	20-0-40,0	
CA/MG	7,28	3,0-6,0	
CA/K	2,75	15,0-30,0	
MG/K	0,38	8,0-10,0	
CA/B	3637,5	1000,0-2000,0	
FE/MN	0,02	5,0-10,0	
P/ZN	4,54	10,0-10,0	

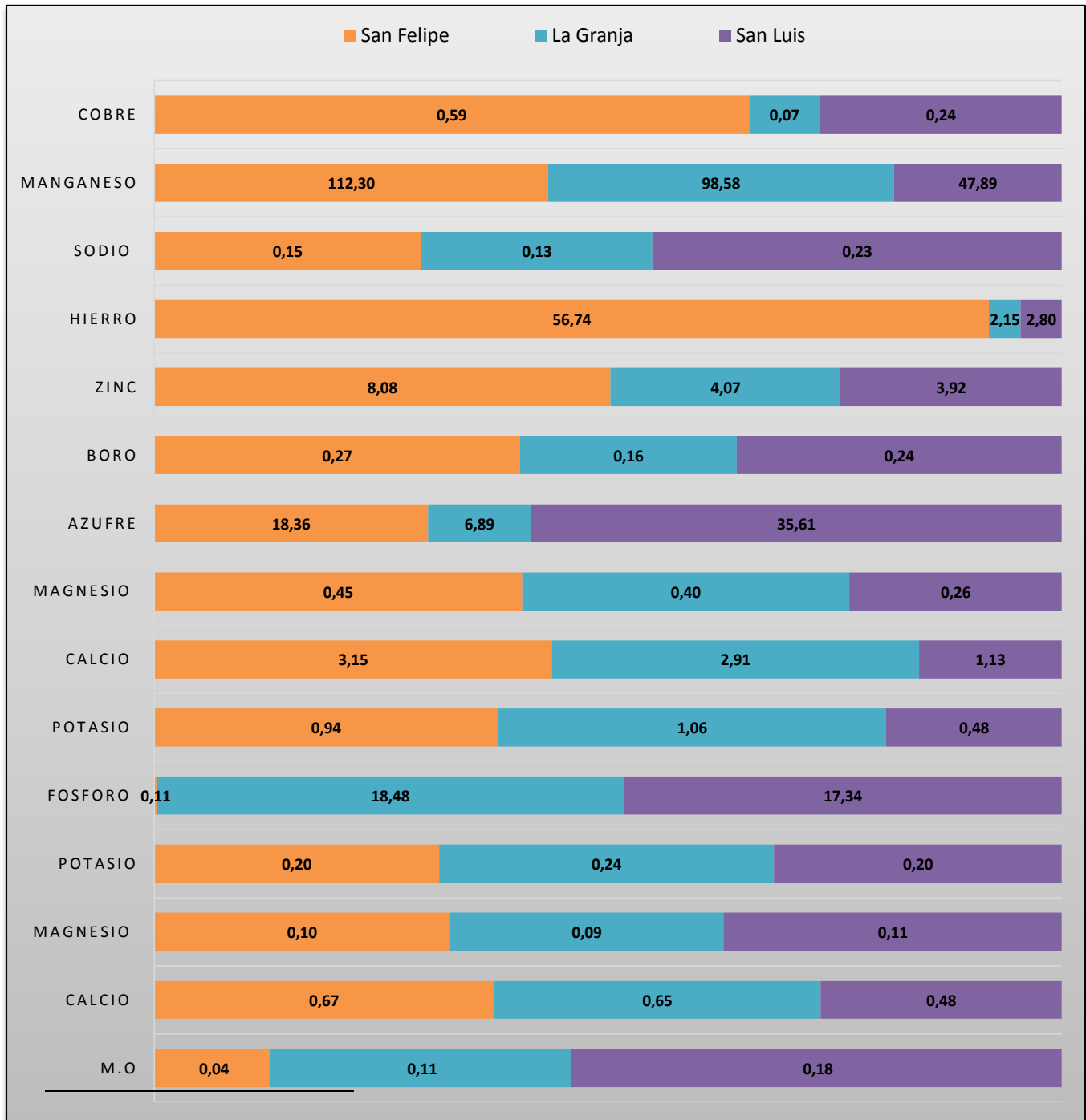
Índice Finca Tipo II – Orgánica:

Tabla 3-22 Listado características químico – físicas de muestra de suelo, Finca San Luis Tipo II (Orgánica), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

PROPIEDADES	%	gr/cc	us/cm	cmol/kg
ARENA	66,50%			
LIMOS	21,00%			
ARCILLA	12,50%			
TEXTURA				
Franco arenoso				
M.O	18,5%			
D.Apa		0,94		
PH				5,32
C.E			99,82	

C.I.C.E		2,4	
C.O	3,94%		
SATURACIONES			
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO	
CALCIO	47,68%	40-50	
MAGNESIO	10,97%	10,0-15,0	
POTASIO	20,25%	22,0-4,0	
SODIO	9,70%		
ALUMINIO	7,17%	MENOR 40	
MAYORES			
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO	
NITROGENO	%		
FOSFORO	17,34	15-40	MG/KG
POTASIO	0,48	0,20-0,60	CMOL/KG
CALCIO	1,13	5,0-10,0	CMOL/KG
MAGNESIO	0,26	1,0-2,0	CMOL/KG
AZUFRE	35,61	5,0-10,0	MG/KG
MENORES			
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO	
BORO	0,24	0,20-0,40	MG/KG
ZINC	3,92	3,0-6,0	MG/KG
HIERRO	2,8	10,0-50,0	MG/KG
SODIO	0,23		CMOL/KG
MANGANESO	47,89	5,0-50,0	MG/KG
COBRE	0,24	1,0-4,0	MG/KG
SILICIO	MEG/100	NR	
Al+H	0,27		CMOL/KG
Al+3	1,17		CMOL/KG
RELACIONES IONICAS			
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO	
CA+MG/K	2,9	20-0-40,0	
CA/MG	4,35	3,0-6,0	
CA/K	2,35	15,0-30,0	
MG/K	0,54	8,0-10,0	
CA/B	941,7	1000,0-2000,0	
FE/MN	0,06	5,0-10,0	
P/ZN	4,42	10,0-10,0	

Figura 3-7. Distribución contenidos mineralógicos^{4,5} en muestras de suelo, en análisis de Biomasa en tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.



⁴ Nota del autor: El Calcio que aparece en el listado, corresponde en su orden a Calcio de saturación y Calcio como contenido de Mayores, según los análisis.

⁵ Ibidem para Magnesio y Potasio, los primeros valores son de saturación y los segundos son de contenido de mayores.

3.2 Valoración de la productividad mediante análisis financiero en los sistemas

El autor empleó los métodos de presupuestación de capital: valor presente neto (VPN), tasa interna de retorno (TIR) y tasa interna de retorno con reinversión (TIRM), en un periodo de 5 años, para producciones en las tres fincas con edades de 4 años de establecidas, con precios por carga de \$700.000,00 para las fincas Mixta y Convencional y de \$3'234.250,00 par la carga de la finca Orgánica; los costos se asumieron para los rublos Insumos, Labores mantenimiento, Cosecha y Transporte, Administración, y en el caso de la finca Orgánica adicionalmente se tuvo en cuenta el rubro Aseguramiento de la Calidad; las producciones estimadas son 25 cargas por hectárea para la Finca Convencional, 30 para la Mixta y 15 para la Orgánica (ver Anexo D. Costos de los sistemas).

A estas producciones para los años 2 y 3 se les hizo un merma porcentual con base a la renovación por resiembra o por poda, para los tres sistemas, después de lo cual se asumió la producción del año 1; de la misma manera se hizo una merma porcentual de un 10% anual, después del año 1 para el flujo de los Egresos, que igual se asumió para los tres sistema indistintamente; el capital inicial para los tres sistemas se asumió en \$20 millones de pesos, asumiendo los costos directos e indirectos del establecimiento y mantenimiento durante los primeros 4 años previos a la evaluación de esta Tesis Doctoral, por no tener información de campo confiable en las fincas de las muestras.

Las siguientes tablas resumen la evaluación financiera que se hizo a las tres fincas:

Tabla 3-23 Análisis de Flujo Neto (FNE), VPN, TIR y TIRM, por hectárea, para Finca San Felipe Tipo I (Convencional), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Ingresos	-\$ 20.000.000	\$ 17.500.000	\$ 7.000.000	\$ 10.500.000	\$ 17.500.000	\$ 17.500.000
Egresos		\$ 5.524.000	\$ 4.971.600	\$ 4.474.440	\$ 4.026.996	\$ 3.624.296
flujo neto (FNE)	-\$ 20.000.000	\$ 11.976.000	\$ 2.028.400	\$ 6.025.560	\$ 13.473.004	\$ 13.875.704
Tasa de Descuento	10,00000%					
periodo	FNE	(1+i)ⁿ	FNE/(1+i)ⁿ			
0	-20000000		-\$20.000.000,00			
1	11976000	1,1	\$ 10.887.272,73			
2	2028400	1,21	\$ 1.676.363,64			

3	6025560	1,331	\$ 4.527.092,41
4	13473004	1,4641	\$ 9.202.243,02
5	13875703,6	1,61051	\$ 8.615.720,24
TOTAL			\$ 14.908.692,03
VPN			\$ 14.908.692,03
TIR			34%
TIRM			231%

Tabla 3-24 Análisis de Flujo Neto (FNE), VPN, TIR y TIRM, por hectárea, para Finca San Luis Tipo II (Orgánica), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Ingresos	-\$ 20.000.000	\$ 19.405,500	\$ 25.874.000	\$ 32.342.500	\$ 38.811.000	\$ 45.279.500
Egresos		\$ 9.889,500	\$ 8.900.550	\$ 8.010.495	\$ 7.209.446	\$ 6.488.501
flujo neto (FNE)	-\$ 20.000.000	\$ 9.516.000	\$ 16.973.450	\$ 24.332.005	\$ 31.601.555	\$ 38.790.999
Tasa de Descuento	10,00000%					
periodo	FNE	(1+i)ⁿ	FNE/(1+i)ⁿ			
0	-20000000,00		-\$ 20.000.000,00			
1	9516000	1,1	\$ 8.650.909,09			
2	16973450	1,21	\$ 14.027.644,63			
3	24332005	1,331	\$ 18.280.995,49			
4	31601554,5	1,4641	\$ 21.584.286,93			
5	38790999,05	1,61051	\$ 24.086.158,45			
TOTAL			\$ 66.629.994,60			
VPN			\$ 66.629.994,60			
TIR			79%			
TIRM			238%			

Tabla 3-25 Análisis de Flujo Neto (FNE), VPN, TIR y TIRM, por hectárea, para Finca El Triunfo Tipo III (Mixta), dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Ingresos	-\$ 20.000.000	\$ 21.000.000	\$ 10.500.000	\$ 14.000.000	\$ 21.000.000	\$ 21.000.000
Egresos		\$ 5.938.000	\$ 5.344.200	\$ 4.809.780	\$ 4.328.802	\$ 3.895.922
flujo neto (FNE)	-\$ 20.000.000	\$ 15.062.000	\$ 5.155.800	\$ 9.190.220	\$ 16.671.198	\$ 17.104.078
Tasa de Descuento	10,00000%					

periodo	FNE	$(1+i)^n$	$FNE/(1+i)^n$
0	-20000000		-\$ 20.000.000,00
1	15062000	1,1	\$ 13.692.727,27
2	5155800	1,21	\$ 4.260.991,74
3	9190220	1,331	\$ 6.904.748,31
4	16671198	1,4641	\$ 11.386.652,55
5	17104078,2	1,61051	\$ 10.620.286,87
		TOTAL	\$ 26.865.406,73
		VPN	\$ 26.865.406,73
		TIR	52%
		TIRM	249%

Figura 3-8. Distribución VPN, TIR y TIRM en evaluación financiera por hectárea, a tres sistemas de producción de café, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.



3.3 Valoración de la productividad mediante análisis multivariado en los sistemas

El autor de esta Tesis Doctoral, asumió la predicción del contenido de carbono orgánico total (COT), deducido del contenido de materia orgánica (MO) hallado en las muestras de suelos (Ver anexo C, Análisis de Suelos de los Sistemas) de los transectos en los tres sistemas de producción a partir de las biomásas de lombriz, de arvenses y de artrópodos.

La conversión usada fue asumir que el 58% de la materia orgánica del suelo le corresponde a carbono orgánico total (COT).

Para la evaluación de la predicción, se empleó la regresión lineal múltiple mediante el método de la matriz inversa, haciendo prueba de significancia a las constantes halladas a los parámetros.

Se usaron los datos de campo de las biomásas (variables independientes) transformándolas mediante LN (logaritmo natural), y se correlacionaron con el contenido de carbono orgánico total (COT) derivado de la materia orgánica analizada en las muestras de suelo de cada una de las fincas y sistemas de producción, asumiendo un valor máximo y mínimo, en décimas, para cada uno de los transectos evaluados.

La ecuación resultante, según lo hallado en la MANOVA, se ajusta al modelo a nivel altamente significativo, donde de cada 100 veces que use, 99 veces resultará correcta en su predicción de resultados, bajo similares condiciones de esta investigación.

Calculada su razón de varianza, se encontró que maneja el 72% de lo que sucede en el fenómeno analizado.

Respecto de la confiabilidad de la toma y análisis de los datos de campo, estos son altamente aceptables, debido a que en el cálculo del Coeficiente de Variación su resultado fue del 6%. Una vez elaborados los cálculos se obtuvo las siguientes tablas:

Tabla 3-26 Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, datos de campo sobre materia organica, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

	Y	X1	X2	X4
MO	COT	lombriz	arvenses	artrópodos
18,5	10,73	1,286	549,00	510
18,46	10,7068	1,222	537,45	331
18,48	10,7184	1,332	535,42	424
18,501	10,73058	1,295	874,85	294
18,42	10,6836	1,21	997,72	424
11,4	6,612	1,206	151,18	285
11,36	6,5888	1,339	333,07	177
11,38	6,6004	1,109	214,32	82
11,401	6,61258	1,19	1099,79	66
11,34	6,5772	1,175	519,73	139
4,25	2,465	1,329	270,54	148
4,21	2,4418	1,337	316,68	103
4,23	2,4534	1,224	350,11	54
4,201	2,43658	1,367	346,59	11
4,2	2,436	1,417	427,13	170

Tabla 3-27 Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, Varianzas y Covarianzas, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

CALCULO DE VARIANZAS					
l11	l22	l33	lyy		
0,004275	0,288412	0,949706	0,377834		
CACULO DE COVARIANZAS					
l12:l21	l13:l31	l23:l32	l1y	l2y	l3y
-0,0005460	-0,00309342	0,12464056	-0,01681162	0,153197699	0,41432572

Tabla 3-28 Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, Matriz y Matriz Inversa, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

	0,00427516	-0,00054601	-0,00309342
L_{ij}	-0,00054601	0,28841202	0,12464056
	-0,00309342	0,12464056	0,94970553
	234,466034	0,12068043	0,74787477
C_{ij}	0,12068043	3,67580258	-0,48202393
	0,74787477	-0,48202393	1,11865541

Tabla 3-29 Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, Calculo de parámetros y Ecuación, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

CALCULO DE PARAMETROS			
b1			
$c_{11}l_1y + c_{12}l_2y + c_{13}l_3y$			
-3,94175501	0,01848796	0,30986375	-3,6134033
b2			
$c_{21}l_1y + c_{22}l_2y + c_{23}l_3y$			
-0,00202883	0,5631245	-0,19971491	0,36138075
b3			
$c_{31}l_1y + c_{32}l_2y + c_{33}l_3y$			
-0,01257299	-0,07384496	0,4634877	0,37706976
ECUACION			
$Y = - 1,5175 - 3,61(B.Lombriz) + 0,361(B.Arvenses) + 0,377(N.Artropodos)$			

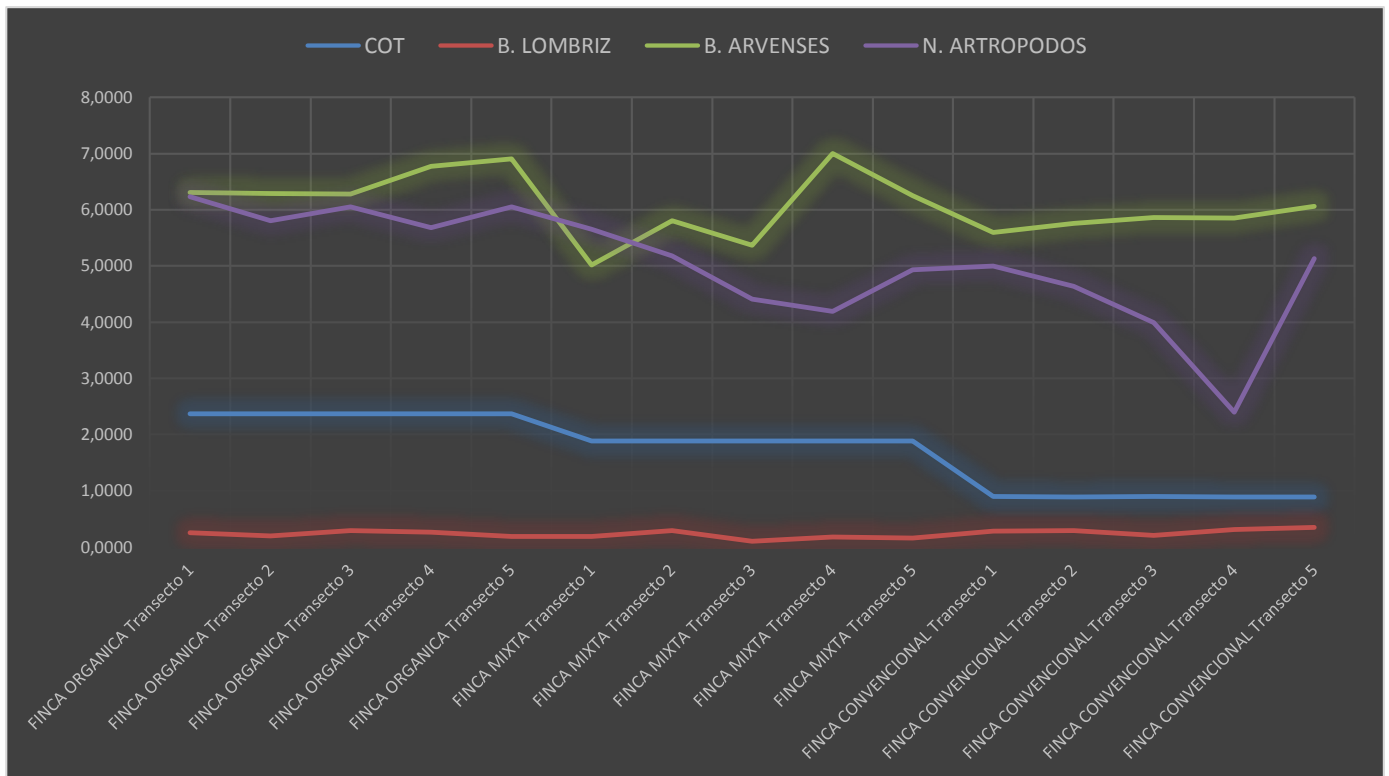
Tabla 3-30 MANOVA para Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

MANOVA						
F.de V	GL	SC	CM	RV	Ft 0.05	Ft 0.01
Modelo	3	0,27233958	0,090779	9,46 (**)	3,59	6,22
Error	11	0,10549438	0,00959039			
Total	14	0,37783396	0,026988			
CV = (Raíz 0,00959) / 1,718				6%		
R2 = 0,27233958 / 0,37783396				72,08%		

Tabla 3-31 Prueba de Significancia a parámetros y Ajuste Ecuación en Análisis Multivariado Regresión Lineal Múltiple mediante Matriz Inversa, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

PRUEBA DE SIGNIFICANCIA A PARAMETROS				
b1				
-3,6134033			t0,025	t0,005
234,466034	0,00959039	2,409 (*)	2,201	3,106
b2				
0,36138075			t0,025	t0,005
3,67580258	0,00959039	1,924 (-)	2,201	3,106
b3				
0,37706976			t0,025	t0,005
1,11865541	0,00959039	3,64 (**)	2,201	3,106
ECUACION AJUSTADA				
$Y = 4,95 - 3,61(B.Lombriz) + 0,377(N.Artropodos)$				

Figura 3-9. Distribución variables independientes y dependiente en Análisis Multivariado para predecir COT a partir de biomazas de lombriz, arvenses y artrópodos, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

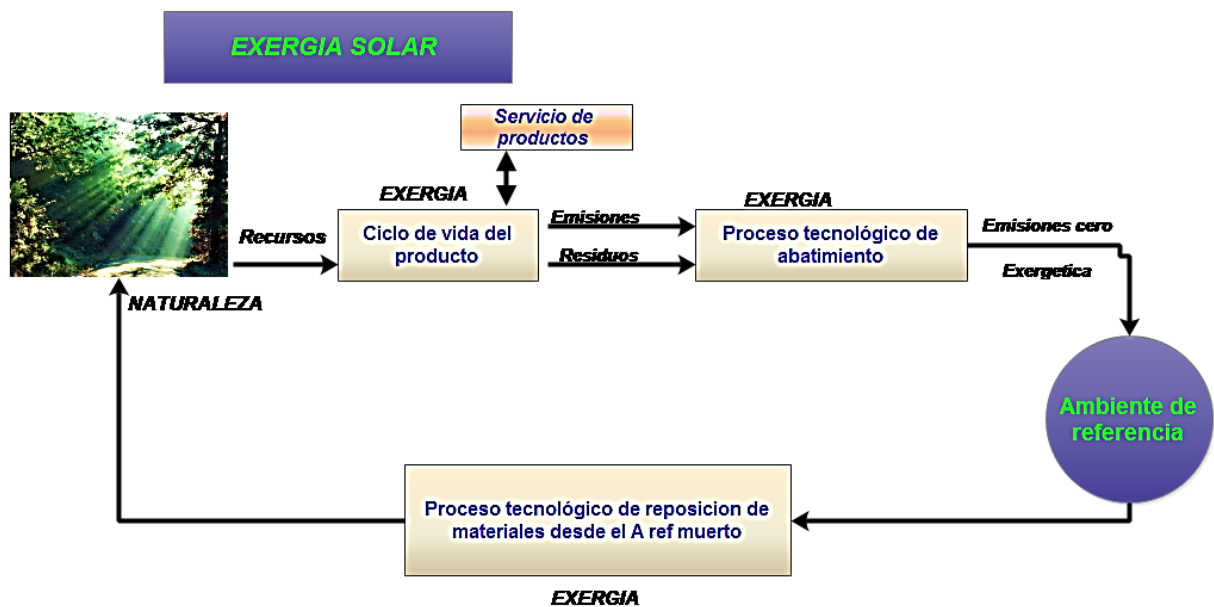


Con el análisis multivariado empleado, el autor de esta Tesis Doctoral, observa que las biomásas de lombriz, arvenses y artrópodos pueden predecir los contenidos de Carbono orgánico total (COT) contenidos en materia orgánica, a nivel significativo y altamente significativo, bajo las mismas circunstancias de esta evaluación. Observada la información a través de los parámetros en forma independiente, la biomasa de arvenses no fue significativa para la predicción de contenido de COT en materia orgánica.

3.4 Valoración de la productividad mediante análisis exergo ecológico en los sistemas

De acuerdo con Naredo y Valero 1999, entendemos por “costo ecológico de un producto, o más estrictamente coste exergo ecológico” a la exergía que necesita ser utilizada a lo largo de su ciclo de vida, desde que se extraen las materias primas que lo conforman, hasta que estas se devuelven a la naturaleza totalmente repuestas. En este sentido el trabajo desarrollo las diferentes etapas del sistema productivo de café en el marco de la metodología exergo ecológico.

Figura 3-10. Mapa conceptual valoración de la exergía en los sistemas, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.



Fuente: El Autor, adaptado de Naredo y Valero

En este sentido, las etapas que se desarrollaron fueron las siguientes:

3.4.1 Cálculo del costo Exergético del ciclo de vida del producto

Se realizó el análisis detallado de los sistemas productivos de la investigación donde se establecieron los flujos másicos para cada uno de las tres fincas tipo con el fin de posteriormente hacer los cálculos en materia de balance de masas, balance de entropía y finalmente balance de exergía.

Figura 3-11. Diseño para evaluar exergía en insumos y salidas de la producción en Finca Convencional, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.



Figura 3-12. Diseño para evaluar exergía en insumos y salidas de la producción en Finca Orgánica, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

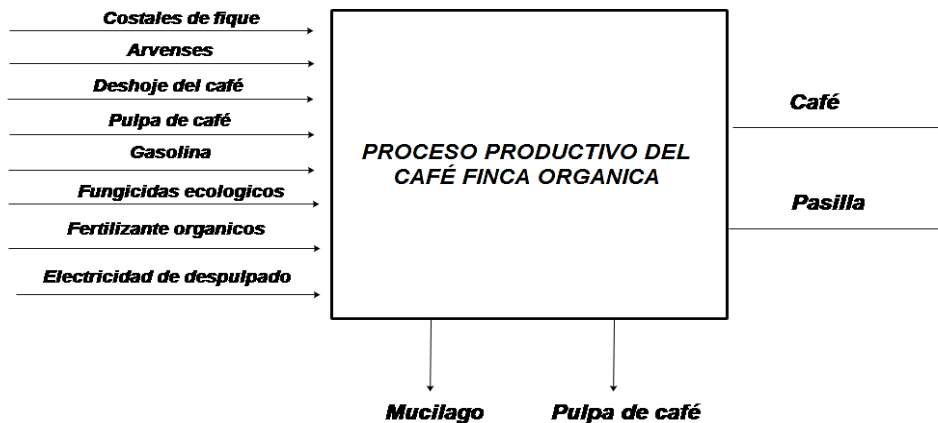


Figura 3-13. Diseño para evaluar exergía en insumos y salidas de la producción en Finca Mixta, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.



3.4.2 Cálculo del coste exergético de abatimiento de los residuos y emisiones

En este componente de la investigación se realizó el cálculo de las exergías de contaminación de las emisiones para las fincas convencional y mixta que no realizan un manejo tecnológico para la habilitación de los residuos o recursos. En este sentido de acuerdo con Naredo (1999) se construyen tres escenarios del costo real de descontaminación, que son 10, 100 y 1000 veces el costo termodinámico del residuo contaminante, para la finca orgánica no se asumen estos costos, puesto que en ella se realiza adecuadamente la habilitación de las aguas mieles del café, en el caso de los residuos de pulpa de café las tres fincas hacen un manejo adecuado mediante el compostaje razón por la cual no se cargan a los costos de abatimiento.

3.4.3 Cálculo del costo exergético de reposición de los recursos naturales utilizados

La metodología utilizada en la investigación implica el cálculo del costo exergético de los recursos naturales utilizados, con el fin de compensar en el marco del ciclo de vida del producto, de tal forma que se reponga a la naturaleza, el recurso que en cierta forma se ha prestado para la obtención del café.

Para dicho cálculo, se realizó el análisis de la reposición mediante la herramienta de ambiente de referencia, que fue construida de acuerdo a las proyecciones hipotéticas de un ambiente termodinámicamente estable, en donde los sistemas de café de la zona estudio, donde ya todos los componentes han reaccionado, es decir un ambiente hipotético muerto. (Ver anexo B, Entradas y Abatimientos Exergéticos).

Para cuantificar el costo tecnológico de reposición, en unidades exergéticos donde se asume los mismos escenarios, que se establecieron para el abatimiento, pues de acuerdo con los mismos, se necesita como pocas 100 veces más exergia, para realizar el proceso de reposición de los recursos empleados de la naturaleza. (Ver anexo B, Entradas y Abatimientos Exergéticos).

Cálculos puntuales:

Calculo exergético de abatimiento – finca mixta

En la finca mixta se tuvo una producción de 18337 kilogramos de café cereza que corresponden a 30 cargas de café pergamino seco (CPS), a los cuales se les realizó los debidos cálculos para el abatimiento de la contaminación por residuos líquidos del beneficiadero residuo en el marco de la metodología exergo ecológico.

Despulpado del café

De acuerdo con Zambrano (1994) y Zambrano et al, (1999) un Kilogramo de café cereza tiene 82,9 g de Demanda química de oxígeno (DQO)

$$18337 \text{ Kg Café cereza} \times \frac{82,9 \text{ g DQO}}{\text{Kg Café Cereza}} = 1520137 \text{ g de DQO}$$

$$\text{Sabiendo que } \frac{25 \text{ Lts de Biogas}}{1 \text{ Kg de Pulpa de café}} \text{ y que } \frac{287 \text{ Lts de Biogas}}{1 \text{ Kg de DQO}}$$

$$1520,1 \text{ Kg DQO} \times \frac{287 \text{ Lts de Biogas}}{\text{Kg de DQO}} = 436279,4 \text{ Lts de Biogas}$$

$$\text{Y sabiendo que biogás } \begin{cases} 60\% \text{ CH}_4 \\ 40\% \text{ CO}_2 \end{cases}$$

$$436279,4 \text{ Lts de Biogas} \times 0,6 = 261767,6 \text{ Lts CH}_4$$

El poder calórico del CH₄ es 35,78

$$\frac{261767,6 \text{ Lts CH}_4 \times 35,78 \text{ Kj}}{\text{Lts CH}_4} = 9\ 366\ 046,3 \text{ Kj}$$

Para la pulpa del café tenemos lo siguiente:

$$18337 \text{ Kg Café Cereza} \times 0,4358 = 7991,3 \text{ Kg de Pulpa}$$

Para el caso del residuo sólido, de acuerdo con Rodríguez y Zambrano (2010) el poder calórico de la pulpa de café es 15,88 MJ/Kg y 0,54 MJ/Kg pulpa fresca.

$$7991,3 \text{ Kg de Pulpa Fresca} \times \frac{540 \text{ Kj}}{\text{Kg de Pulpa fresca}} = 4315282,9 \text{ Kj}$$

Por lo tanto la Exergia de contaminación por este concepto es:

$$9\,366\,046,3 \text{ Kj} + 4315282,9 \text{ Kj} = 13681329,3 \frac{\text{Kj}}{\text{Ha}}/\text{Año}$$

Para el caso de la finca convencional el cálculo de la exergia de contaminación por este concepto es de 11401418,5 kJ/Ha/Año.

Secado del café

Tiempo de secado: 18 horas

Caudal del aire: $100 \text{ m}^3/\text{min}$

La Temperatura de secado es de 50 °C y una temperatura ambiente de 20 °C.

$$^{\circ}\text{F} = (20^{\circ}\text{C} \times 1,8) + 32 = 68 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

$$\rho_{\text{aire}} = 2,02 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

Masa de café = 80 arrobas

Poder calórico cascarilla: $17.936 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

Capacidad calorífica del aire = $0,22 \frac{\text{Btu}}{\text{lb } ^{\circ}\text{F}}$

Cp aire = $1,012 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$

$$m_c = \frac{1,012 \text{ kJ/Kg K} \times (2,02 \text{ Kg/m}^3 \times 100 \text{ m}^3/\text{min}) \times (50-20) \text{ K}}{17912 \text{ kJ/Kg cascarilla}} = 0,34 \frac{\text{Kg}}{\text{min}}$$

$$m_c = 0,34 \frac{\text{Kg}}{\text{min}} \times \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} \times 18 \text{ h} = 367,2 \frac{\text{Kg}}{\text{cochada}}$$

Cantidad de energía por cochada:

$$\text{Cascarilla} = 367,2 \frac{\text{Kg}}{\text{cochada}} \times 17912 \frac{\text{KJ}}{\text{Kg cascarilla}} = 6.577.286,4 \text{ KJ}$$

La cantidad de exergías para $3125 \frac{Kg\ cps}{año}$

$$3750 \frac{Kg\ cps}{año} \times \frac{6.577.286,4\ KJ}{1000\ Kg\ cps} = 20.664.824 \frac{KJ}{Ha} / Año$$

Motor eléctrico:

Potencia de 3/4 HP: 0,75 HP

$$0,75\ HP \times \frac{0,75\ KW}{1\ HP} = 0,5625\ KW$$

$$0,5625\ KW \times 18\ h = 10,125\ KW - h$$

$$10,125 \frac{KJ\ h}{s} \times \frac{3600\ s}{1h} = 36450\ KJ$$

Para el caso de la finca Convencional, en la que la producción es de 25 cps /Ha /Año la exergia de la Energía eléctrica es:

$$3125 \frac{Kg\ cps}{año} \times \frac{36450\ KJ}{1000\ Kg\ cps} = 113906,25 \frac{Kj}{Ha} / Año$$

Tabla 3-32 Exergia de arvenses, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Convencional Tipo I, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Nombre Vulgar / Nombre Científico	FINCA CONVENCIONAL		
	BIOMASA SECA TOTAL	PODER CALORICO DE LA ESPECIE KJ/KG	EXERGIA
Coneja (<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv)			
Cadillo Carreton (<i>Cenchrus</i> sp)	24,6	22558,326	554934,8196
Trebol Flor Amarilla (<i>Oxalis corniculata</i> L.)			
(<i>Melampodium</i> sp)	282,1	16090,418	4539106,918
Abrojo (<i>Iresine celosia</i> L)			
Achira (<i>Canna coccinea</i> Mill)	45	19084,184	858788,28
Alacran (<i>Cyathula achyranoides</i> H.B.K)			
Asteracea Moraditas (<i>Ageratum</i> sp)			
Barbasquillo (<i>Poligonum hydropiperoides</i>)			
Batatilla (<i>Ipomoea trifida</i> (H.B.K) G. Don)			
Besito Antioqueño (<i>Impatiens balsamina</i> L.)			
Bledo (<i>Amaranthus dubius</i> Mart)	109	17919,749	1953252,641
Boton amarillo (<i>Acmella linnaei</i> Cass)	206	20135,146	4147840,076
Boton pequeño (<i>Siegesbeckia jorullensis</i> H.B.K)	113,1	19786,151	2237813,678
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)			
Caminadora (<i>Rottboellia exaltata</i> Ktze)	1268,2	25932,636	32887768,98

Chapola (Coffea Arabiga)			
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	1035,5	47667,238	49359424,95
cilantro (<i>Astrephia chaerophylloides</i> DC)	119,6	19508,117	2333170,793
Clavo de Cristo (<i>Euphorbia heterophylla</i> L.)	180,4	18356,653	3311540,201
Colombianita (<i>Thunbergia alata</i> Bojer)	32	22476,192	719238,144
Cortadera (<i>Cyperus ferax</i> (L) Rich)	519,3	24972,803	12968376,6
Elefante (Pennisetum purpureum Schum)			
Escoba (<i>Sida acuta</i> Burm f)	75,8	16184,142	1226757,964
Estrellita (<i>Dichromena ciliata</i> Vahl)	94,9	23083,305	2190605,645
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd)	36,8	20490,335	754044,328
Gramalote (<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K)	2949,9	19000,544	56049704,75
Guardarrocio (<i>Digitaria sanguinalis</i> (L) Scop)	289	24468,996	7071539,844
Helecho (Ptenitis ampla)			
Limpia frascos (<i>Setaria geniculata</i> (Lam) Beauv)	23,5	19682,134	462530,149
Llantén (Plantago rugelli Decne)			
Mastrantillo (Hyptis atrorubens Poit)			
Mastranto (Salvia palaefolia H.B.K)			
Nabo (<i>Brassica alba</i> Boiss)	270	21133,305	5705992,35
Palo de agua (<i>Jussiaea suffruticosa</i> L)	4,1	17593,556	72133,5796
Pan con Queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	4839,8	51364,226	248592581
Parecido Golondrina (Stellaria sp)			
Pasto horqueta (Paspalum conjugatum Bergius)			
Pata de Gallina (<i>Eleusine indica</i> (L) Gaertn)	152,5	25697,531	3918873,478
Pega pega (<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw) D.C)	19,5	17963,808	350294,256
Pincelito amarillo (<i>Fleischmannia</i> sp))	388,4	22850,711	8875216,152
Pincelito Rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC)	930,3	16824,603	15651928,17
Sanalotodo (<i>Cuphea racemosa</i> (L) Spreng)	24,1	23249,54	560313,914
Siempre viva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L.)	631,3	18298,574	11551889,77
Sinedrela (<i>Synedrella nudiflora</i> (L) Gaertn)	113,6	25444,895	2890540,072
Suelda (<i>Commelina diffusa</i> Burm f)	267,4	20083,808	5370410,259
Teresita Azul (<i>Browalia americana</i> L)	8	18973,347	151786,776
Tiririca brava (Hypoxis decumbens L)			
Trebol Moradito (Oxalis latifolia H.B.K)			
Tripa de Pollo (<i>Euphorbia hirta</i> L.)	136,8	43528,745	5954732,316
Tusilla (Kohleria spicata (H.B.K) Oerst)			
Urticacea (Boehmeria sp)			
Verbena Blanca (Verbena littoralis H.B.K)			
Viernes Santo (<i>Phyllanthus niruri</i> L)	40,9	27216,946	1113173,091
Yerba Papagallo (Blechum pyramidatum (Lam) Urban)			
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	912,3	18043,975	16461518,39
TOTAL CONVENCIONAL			510847822,3

Tabla 3-33 Exergía de arvenses, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Orgánica Tipo II, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Nombre Vulgar / Nombre Científico	FINCA ORGANICA		
	BIOMASA SECA TOTAL	PODER CALORICO DE LA ESPECIE KJ/KG	EXERGIA
Coneja (<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv)	79,6	20331,130	1618357,948
Cadillo Carreton (<i>Cenchrus</i> sp)			
Trebol Flor Amarilla (<i>Oxalis corniculata</i> L.)			
(<i>Melampodium</i> sp)	1606,80	16090,418	25854083,64
Abrojo (<i>Iresine celosia</i> L)	342,4	16800,418	5752463,123
Achira (<i>Canna coccinea</i> Mill)			
Alacran (<i>Cyathula achyranoides</i> H.B.K)			
Asteracea Moraditas (<i>Ageratum</i> sp)			
Barbasquillo (<i>Polygonum hydropiperoides</i>)	376,5	27247,364	10258632,55
Batatilla (<i>Ipomoea trifida</i> (H.B.K) G. Don)			
Besito Antioqueño (<i>Impatiens balsamina</i> L.)	1988,9	48981,255	97418818,07
Bledo (<i>Amaranthus dubius</i> Mart)			
Boton amarillo (<i>Acmella linnaei</i> Cass)	174,970	20135,146	3523046,496
Boton pequeño (<i>Siegesbeckia jorullensis</i> H.B.K)	1557,7	19786,151	30820887,41
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)	85,6	23491,967	2010912,375
Caminadora (<i>Rottboellia exaltata</i> Ktze)			
Chapola (<i>Coffea arabica</i>)	8,1	18004,184	145833,8904
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	4616,3	47667,238	220046270,8
cilantro (<i>Astrophia chaerophylloides</i> DC)	503,9	19508,117	9830140,156
Clavo de Cristo (<i>Euphorbia heterophylla</i> L.)			
Colombianita (<i>Thunbergia alata</i> Bojer)			
Cortadera (<i>Cyperus ferax</i> (L) Rich)	922,6	24972,803	23039908,05
Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum)			
Escoba (<i>Sida acuta</i> Burm f)			
Estrellita (<i>Dichromena ciliata</i> Vahl)			
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd)	2446,4	20490,335	50127555,54
Gramalote (<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K)			
Guardarroco (<i>Digitaria sanguinalis</i> (L) Scop)			
Helecho (<i>Ptenitis ampla</i>)	163,9	17636,862	2890681,682
Limpia frascos (<i>Setaria geniculata</i> (Lam) Beauv)			
Llantén (<i>Plantago rugelli</i> Decne)	424,4	45196,444	19181370,83
Mastrantillo (<i>Hyptis atrorubens</i> Poit)			
Mastranto (<i>Salvia palaefolia</i> H.B.K)	58,3	25065,858	1461339,521
Nabo (<i>Brassica alba</i> Boiss)	112	21133,305	2366930,16
Palo de agua (<i>Jussiaea suffruticosa</i> L)			
Pan con Queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	1427,1	51364,226	73301886,92
Parecido Golondrina (<i>Stellaria</i> sp)	147,45	25657,406	3783184,515
Pasto horqueta (<i>Paspalum conjugatum</i> Bergius)			
Pata de Gallina (<i>Eleusine indica</i> (L) Gaertn)			
Pega pega (<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw) D.C)			
Pincelito amarillo (<i>Fleischmannia</i> sp))	436,10	22850,711	9965195,067
Pincelito Rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC)	301,9	16824,603	5079347,646
Sanalotodo (<i>Cuphea racemosa</i> (L) Spreng)	58,2	23249,540	1353123,228
Siempre viva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L.)	442,4	18298,574	8095289,138
Sinedrela (<i>Synedrella nudiflora</i> (L) Gaertn)			
Suelda (<i>Commelina diffusa</i> Burm f)			
Teresita Azul (<i>Browalia americana</i> L)	85,9	18973,347	1629810,507
Tiririca brava (<i>Hipoxis decumbens</i> L)	56,9	23090,084	1313825,78
Trebol Moradito (<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K)	61,4	23026,067	1413800,514
Tripa de Pollo (<i>Euphorbia hirta</i> L.)	14,3	43528,745	622461,0535
Tusilla (<i>Kohleria spicata</i> (H.B.K) Oerst)			
Urticea (<i>Boehmeria</i> sp)	508,30	22275,481	11322626,99

Verbena Blanca (<i>Verbena littoralis</i> H.B.K)			
Viernes Santo (<i>Phyllanthus niruri</i> L)			
Yerba Papagallo (<i>Blechnum pyramidatum</i> (Lam) Urban)			
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	31,6	18043,975	570189,61
TOTAL ORGANICA			624797973,2

Tabla 3-34 Exergía de arvenses, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Mixta Tipo III, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Nombre Vulgar / Nombre Científico	FINCA MIXTA		
	BIOMASA SECA TOTAL	PODER CALORICO DE LA ESPECIE KJ/KG	EXERGIA
Coneja (<i>Oplismenus burmannii</i> (Retz) P. Beauv)	1042,74	20331,13	21200082,5
Cadillo Carreton (<i>Cenchrus</i> sp)			
Trebol Flor Amarilla (<i>Oxalis corniculata</i> L.)			
(<i>Melampodium</i> sp)	49,1	16090,418	790039,5238
Abrojo (<i>Iresine celosia</i> L)			
Achira (<i>Canna coccinea</i> Mill)			
Alacran (<i>Cyathula achyranoides</i> H.B.K)	24,59	22440,586	551814,0097
Asteracea Moraditas (<i>Ageratum</i> sp)	38,52	22851,088	880223,9098
Barbasquillo (<i>Poligonum hydropiperoides</i>)			
Batatilla (<i>Ipomoea trifida</i> (H.B.K) G. Don)	56,1	17067,28	957474,408
Besito Antioqueño (<i>Impatiens balsamina</i> L.)	200	48981,255	9796251
Bledo (<i>Amaranthus dubius</i> Mart)			
Boton amarillo (<i>Acmella linnaei</i> Cass)			
Boton pequeño (<i>Siegesbeckia jorullensis</i> H.B.K)			
Botoncillo (<i>Spermacoce alata</i> DC)	35,8	23491,967	841012,4186
Caminadora (<i>Rottboellia exaltata</i> Ktze)			
Chapola (<i>Coffea Arabiga</i>)	316,2	18004,184	5692922,981
Chipaca (<i>Bidens pilosa</i> L)	1270	47667,238	60537392,26
cilantro (<i>Astrephia chaerophylloides</i> DC)			
Clavo de Cristo (<i>Euphorbia heterophylla</i> L.)	35,18	18356,653	645787,0525
Colombianita (<i>Thunbergia alata</i> Bojer)			
Cortadera (<i>Cyperus ferax</i> (L) Rich)			
Elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum)	620,7	18080,418	11222515,45
Escoba (<i>Sida acuta</i> Burm f)	171	16184,142	2767488,282
Estrellita (<i>Dichromena ciliata</i> Vahl)			
Golondrina (<i>Drymaria cordata</i> (L) Willd)	431,4	20490,335	8839530,519
Gramalote (<i>Paspalum macrophyllum</i> H.B.K)	16,5	19000,544	313508,976
Guardarrocio (<i>Digitaria sanguinalis</i> (L) Scop)	39	24468,996	954290,844
Helecho (<i>Ptenitis ampla</i>)	98,7	17636,862	1740758,279
Limpia frascos (<i>Setaria geniculata</i> (Lam) Beauv)			
Llantén (<i>Plantago rugelli</i> Decne)			
Mastrantillo (<i>Hyptis atrorubens</i> Poit)	33,3	23302,05	775958,265
Mastranto (<i>Salvia palaefolia</i> H.B.K)			
Nabo (<i>Brassica alba</i> Boiss)			
Palo de agua (<i>Jussiaea suffruticosa</i> L)			
Pan con Queso (<i>Galinsoga parviflora</i> Cav)	241,4	51364,226	12399324,16
Parecido Golondrina (<i>Stellaria</i> sp)			
Pasto horqueta (<i>Paspalum conjugatum</i> Bergius)	103,1	21975,481	2265672,091
Pata de Gallina (<i>Eleusine indica</i> (L) Gaertn)	5,8	25697,531	149045,6798
Pega pega (<i>Desmodium tortuosum</i> (Sw) D.C)			
Pincelito amarillo (<i>Fleischmannia</i> sp))			
Pincelito Rojo (<i>Emilia sonchifolia</i> (L) DC)	235,2	16824,603	3957146,626
Sanalotodo (<i>Cuphea racemosa</i> (L) Spreng)			
Siempre viva (<i>Tradescantia cumanensis</i> L.)	282,4	18298,574	5167517,298

Sinedrela (<i>Synedrella nudiflora</i> (L) Gaertn)	123,1	25444,895	3132266,575
Suelda (<i>Commelina diffusa</i> Burm f)	64,6	20083,808	1297413,997
Teresita Azul (<i>Browalia americana</i> L)	12,2	18973,347	231474,8334
Tiririca brava (<i>Hipoxis decumbens</i> L)	9,4	23090,084	217046,7896
Trebol Moradito (<i>Oxalis latifolia</i> H.B.K)	12,3	23026,067	283220,6241
Tripa de Pollo (<i>Euphorbia hirta</i> L.)	10,4	43528,745	452698,948
Tusilla (<i>Kohleria spicata</i> (H.B.K) Oerst)	13	17010,126	221131,638
Urticea (<i>Boehmeria</i> sp)			
Verbena Blanca (<i>Verbena littoralis</i> H.B.K)	729,8	18923,724	13810533,78
Viernes Santo (<i>Phyllanthus niruri</i> L)			
Yerba Papagallo (<i>Blechnum pyramidatum</i> (Lam) Urban)	44,4	18885,397	838511,6268
Yuyo (<i>Acmella mutisii</i> Cass)	635,5	18043,975	11466946,11
		TOTAL MIXTA	184397001,4

Tabla 3-35 Exergía de árboles, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Orgánica Tipo II, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Nombre Vulgar / Nombre Científico	FINCA ORGANICA		
	BIOMASA SECA TOTAL	PODER CALORICO DE LA ESPECIE KJ/KG	EXERGIA
Nogal cafetero (<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz y Pavón) Oken)	5298,8	19155,14644	101499290
Chachafruto (<i>Erythrina edulis</i> Triana ex Micheli)	156	17198,74477	2683004,184
Guayabo (<i>Psidium guajava</i>)	263,2	14966,86192	3939278,059
Yarumo (<i>Cecropia peltata</i> L)	205,4	15772,59414	3239690,837
		TOTAL	111361263,1

Tabla 3-36 Exergía de árboles, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Mixta Tipo III, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Nombre Vulgar / Nombre Científico	FINCA MIXTA		
	BIOMASA SECA TOTAL	PODER CALORICO DE LA ESPECIE KJ/KG	EXERGIA
Planta de Plátano (<i>Musa x paradisiaca</i> L.)	1368,285	16044,22594	21953073,69
		TOTAL	21953073,69

Tabla 3-37 Exergía de otros insumos, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Orgánica Tipo II, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Nombre Vulgar / Nombre Científico	FINCA ORGANICA		
	BIOMASA SECA TOTAL	PODER CALORICO DE LA ESPECIE KJ/KG	EXERGIA
Café Variedad caturra hojas	2350	16538,5774	38865656,9
Grano de café pergamino seco (GPS)	1875	15187,866	28477249

Saco de Fique (62,5 Kg)	12	13858,9958	166307,95
TOTAL			67509213,8

Tabla 3-38 Exergía de otros insumos, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Mixta Tipo III, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Nombre Vulgar / Nombre Científico	FINCA MIXTA		
	BIOMASA SECA TOTAL	PODER CALORICO DE LA ESPECIE KJ/KG	EXERGIA
Café Variedad Castilla hojas	2590	16058,636	41591867,2
Café Variedad caturra hojas			
Grano de café pergamino seco (GPS)	3750	15187,866	56954497,9
Racimo de Plátano	12188	16044,2259	195547026
Saco de Fique (62,5 Kg)	24	13858,9958	332615,9
TOTAL			294426007

Tabla 3-39 Exergía de otros insumos, cálculos con base a poder calórico hallado en Finca Convencional Tipo I, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

Nombre Vulgar / Nombre Científico	FINCA CONVENCIONAL		
	BIOMASA SECA TOTAL	PODER CALORICO DE LA ESPECIE KJ/KG	EXERGIA
Café Variedad Castilla hojas	2620	16058,636	42073626,3
Café Variedad caturra hojas			0
Grano de café pergamino seco (GPS)	3125	15187,866	47462081,6
Racimo de Plátano			
Saco de Fique (62,5 Kg)	20	13858,9958	277179,916
TOTAL			89812887,8

Tabla 3-40 Análisis del costo exergo ecológico de los tres sistemas, 2014.

	COSTO EXERGETICO DE CICLO DE VIDA DEL PRODUCTO	EXERGIA DE REPOSICION	EXERGIA DE ABATIMIENTO	COSTO EXERGOECOLOGICO
MIXTA	10522304,94	862249,7296	2410728227	2422112781
CONVENCIONAL	3844359,741	431975,2394	1511578218	1515854553
ORGANICA	633204,4158	5921767,234		6554971,65

Tabla 3-41 Exergia en Finca Convencional Tipo I, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

	FERTILIZANTES	ELECTRICIDAD DE DESPULPADO	GASOLINA	DESHOJE DEL CAFÉ	ARVENSES	ROUND UP	PULPA DE CAFÉ	LORSBAN	DIMETOATO	COSTALES DE FIQUE	B_e
EXERGIA DE ENTRADA	2477,354927	44206,47	392496	42073626,28	510847822,3	1.672.000	3596167,13	728.000	728.000	277179,9163	560361975,5

$$B_e = B_{FERTILIZANTES} + B_{ELEC. DE DESP.} + B_{GASOL.} + B_{ARV.} + B_{DESH. CAFE} + B_{COST. FIQUE} + B_{LORBAN} + B_{ROUND UP} + B_{DIMETOATO} + B_{PULPA CAFÉ}$$

Tabla 3-42 Exergia en Finca Orgánica Tipo II, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

	FERTILIZANTES	ELECTRICIDAD DE DESPULPADO	GASOLINA	ARVENSES	DESHOJE DE ARBOLES	COSTALES DE FIQUE	PULPA DE CAFÉ	DESHOJE DEL CAFÉ	B_e
EXERGIA DE ENTRADA	48075,466	26325	392496	624797973,2	111361263,1	166307,9498	2157700,28	38865656,9	777815797,9

$$B_e = B_{FERTILIZANTES} + B_{ELEC. DE DESP.} + B_{GASOL.} + B_{ARV.} + B_{COST. FIQUE} + B_{DESH. ARB.} + B_{DESH. CAFE} + B_{PULPA CAFÉ}$$

Tabla 3-43 Exergia en Finca Mixta Tipo III, dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

	FERTILIZANTES	ELECTRICIDAD DE DESPULPADO	GASOLINA	ELECTRICIDAD DE SECADO	DESHOJE DE ARBOLES	COSTALES DE FIQUE	PULPA DE CAFÉ	DESHOJE DEL CAFÉ	ARVENSES
EXERGIA DE ENTRADA	2421,888827	53034,75	392496	36450	21953073,69	332615,8996	4315400,55	41591867,2	184397001,4
	COMBUSTIBLE CASCARILLA		LORBAN	ROUND UP	DIMETOATO		PLANTA DE PLATANO		B_e
EXERGIA DE ENTRADA		6577286,4	728000	1672000		728000	195547025,8	458326673,6	

$$B_e = B_{FERTILIZANTES} + B_{ELEC. DE DESP.} + B_{ELEC. DE SEC} + B_{GASOL.} + B_{ARV.} + B_{DESH. ARB.} + B_{DESH. CAFE} + B_{COST. FIQUE} + B_{COMB. CASCAR} + B_{LORBAN} + B_{ROUND UP} + B_{DIMETOATO} + B_{PULPA CAFÉ}$$

Tabla 3-44 Balance de Exergia dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

$$\dot{B}_{ent} - \dot{B}_{sal} - \dot{B}_{almacenamiento en el sistema} = 0$$

FINCA	EXERGIA DE ENTRADA	EXERGIA DE SALIDA	EXERGIA ALAMCENAMIENTO EN EL SISTEMA	$\frac{dB_{sistema}}{dt}$
MIXTA	560361975,5	47462081,25	512899894,2	o

CONVENCIONAL	458326673,6	56954497,5	401372176,1	o
ORGANICA	777815797,9	28477248,75	749338549,1	o

Tabla 3-45 Costo Exergetico Unitario dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

FINCA	Costo Exegetico real del producto	Exergia Café/Ha	Costo Exergetico Unitario (CEU)	Aporte de la Biomasa al CEU	Aporte Insumos de Abatimiento al CEU
ORGANICA	777815797,9	28477248,75	<u>27,31358653</u>	27,29135108	
Mixta	458326673,6	56954497,5	<u>8,047242864</u>	7,401274928	0,130690303
Convencional	560361975,5	47462081,25	<u>11,80651924</u>	11,64975142	0,141674511

Este costose define como la suma de todos los recursos que han sido necesarios para constituir un producto, en este caso el café a partir de sus componentes (las unidades de exergia necesarias * Kg de café).

Tabla 3-46 Irreversibilidad interna del proceso dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

FINCA	Costo Exegetico real del producto (Kj/Ha)	Exergia Café/Ha (Kj/Ha)	Exergia residuos beneficio (Kj/Ha)	<u>Irreversibilidad Interna del Proceso</u>
Organica	777815797,9	28477248,75		<u>749338549,1</u>
Mixta	458326673,6	56954497,5	13681329,15	<u>387690846,9</u>
Convencional	560361975,5	47462081,25	11401418,5	<u>501498475,7</u>

En este marco al comparar los indicadores Financieros Frente a los indicadores producto del análisis exergetico se puede apreciar la gran brecha conceptual, en donde la economía convencional se basa exclusivamente en el valor monetario como bitácora de su análisis, frente a análisis exergoecológico que mediante un análisis integral de los sistemas, cuantifica los esfuerzos planetarios en la conformación del capital biofísico, internaliza la contaminación y cuantifica su abatimiento y por último cuantifica a partir de la Entropía, la reposición de los elementos químicos del capital natural mezclado en la sopa entrópica desde el ambiente de referencia.

Los resultados muestran una alternativa para valorar el costo de producción unitario del café a través de Costo unitario Exergetico que expresa la sumatoria de todos los recursos que han sido invertidos para concebir un kilogramo de café en unidades exergeticas.

En materia de Funcionamiento Agroecosistémica la investigación involucra la exergía a partir del cálculo del poder calórico de la biomasa generada por los diferentes actores vegetales de los arreglos agroecosistémicos de cada Finca Tipo. En este aspecto la cuantificación vía exergía o energía útil, establece los roles e importancia efectiva de cada planta o grupos de plantas, aspecto que abre el escenario de la investigación hacia la tipificación de árboles o plantas como aportantes de energía útil. Por lo anterior el Flujo de Energía Util (Exergía) de la finca Convencional depende del aporte de las arvenses y el deshoje del café; mientras que en la finca Mixta depende de los aportes de Arvenses, Plátano (Disposición antrópica de Materiales orgánicos del plátano) y deshoje del café; y para la finca Orgánica, dicho flujo depende de las arvenses, los árboles y el deshoje del café, y realizados las sumatorias de dichos aportes la finca orgánica muestra una mayor generación de aportes exergético vía materiales vegetales, lo cual influye positivamente en su mayor almacenamiento exergético frente a las fincas mixta y convencional (Ver tablas 3-32 a 4-42).

4. Indicadores de sustentabilidad con base a análisis exergético y gradientes de biodiversidad

La metodología empleada para la construcción de los indicadores se basó en el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales, mediante Indicadores de Sustentabilidad – MESMIS, mediante la cual se desarrolló gran parte del proceso. En este sentido, el primer paso del proceso lo constituyó la determinación del objeto de estudio.

4.1 Método y pasos

4.1.1 Paso 1: objeto de estudio

Se identificaron tres sistemas de producción con diferentes manejos agropecuarios en el contexto sociocultural del Líbano Tolima, en donde la escala espacial que se adoptó fue de pequeño caficultor de máximo 5 hectáreas productivas. La escala temporal adoptada fue de un año calendario del proceso productivo del café que involucra dos épocas de recolección del grano, una llamada mitaca que es cerca del 40% de la producción y otra llamada cosecha que abarca el 60%.

Como se expresó en capítulos anteriores de la investigación, se establecieron tres sistemas de producción con diferente arreglo espacial, agronómico de producción de café los cuales fueron la finca orgánica, la finca mixta y la convencional.

- Finca Convencional: se caracteriza por tener un arreglo productivo en monocultivo de café, se utilizan insumos químicos de síntesis para la producción
- Finca orgánica: caracterizada por una estructura agroecosistémico que involucra un diseño agroforestal con especies como nogal, yarumo, chachafruto y guayabo. En este sistema productivo se utilizan insumos orgánicos, derivados de roca y se propende

por la generación de sinergias o servicios agroecosistemicos en el modelo de administración

- Finca Mixta: se caracteriza por tener un asocio entre café y plátano en barreras y se hace una mixtura en el manejo del sistema productivo, en donde se involucran insumos ecológicos e insumos convencionales en el desarrollo de los procesos del sistema productivo.

4.1.2 Paso 2: definición de interacciones, interfases y patrones

Las Interfases: La dinámica proyectual desarrollada mediante las visitas a campo en las fincas, consistió en la lectura de contextos cafeteros y la aplicación de la herramienta de percepción, articulada a un análisis de contexto. De acuerdo con Pesci, Pérez y Pesci (2007), las interfases se conciben como zonas borde o de traslape entre dos o más componentes de un agroecosistema o entre ecosistemas, que tienen la mayor intensidad de intercambios de flujo e información y donde es posible registrar los fenómenos críticos de cada ecosistema o agroecosistema en su relación con el contexto. Es la puesta en evidencia de las relaciones complejas de cualquier sistema ambiental y por lo tanto poseen la ventaja de que a través de su detención es posible captar lo esencial lo cual otorga una gran eficiencia sistémica ante cualquier diagnostico o síntesis (Pesci, Perez, & Pesci, 2007). La metodología consistió, en vislumbrar las principales interfaces o ecotonos que emergen de interacciones de diferentes componentes del agroecosistema cafetero. Los ecotonos identificados y priorizados entre los diferentes componentes proyectuales visualizados desde el rol del proyectista y el equipo proyectual aparecen a continuación.

Patrones: unidades de comportamiento ambiental: De acuerdo con Pesci, Pérez y Pesci (2007), los patrones se conciben como registro de unidades del ambiente que conllevan la memoria genética y social del mismo y cuya reelaboración conduce a la formulación de alternativas sustentables. En efecto, los patrones, o unidades genéticas de comportamiento del ambiente, contienen la información mínima de significado para reconocer el tipo de ambiente y su estado, dando así un camino continuo a su propuesta de ajuste. Es una noción muy potente en semiología, incluso en semiología médica, pues consiste en los síntomas o indicios claves para detectar una anomalía. La temperatura a 37 grados es para el ser humano es un patrón de normalidad clínica. Pero también en biología es una aproximación potente porque determinado patrón alimentario hecha

profundas luces sobre el comportamiento de todo ser vivo de que se trate. Y en el ambiente construido, ha sido Christopher Alexander, quien en las últimas décadas ha recuperado esta noción, postulando que el ambiente es un lenguaje y que los patrones son la gramática de ese lenguaje consciente (un patio sombreado para las culturas del desierto, una galería ventilada para las culturas del trópico húmedo). (Ver Figura 4.1.).

4.2 Selección de indicadores estratégicos

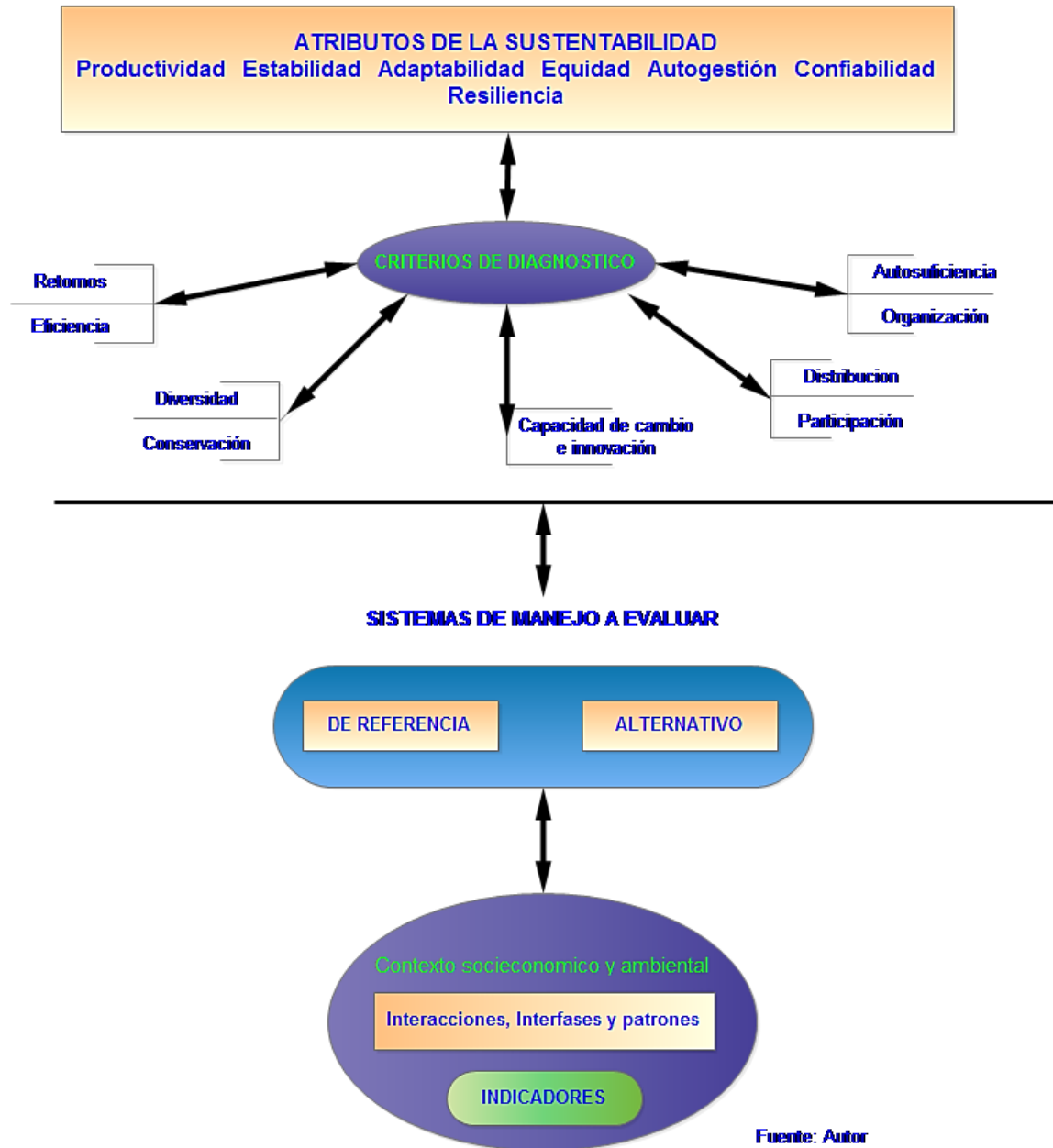
Por la naturaleza de la investigación los indicadores propuestos se relacionan con los diferentes atributos propuestos por la metodología MESMIS (Figura 4.1), (Productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión) pero en materia de criterios de diagnóstico por ser un análisis de estudio de caso de tres predios, basado en flujos exergético dinámicas del carbono, flujos máscicos de insumos residuos y diversidad de artrópodos y arvenses, la escala no logra la dimensión social, por lo tanto se trabaja con criterios de diagnóstico como retorno, eficiencia, diversidad, conservación, capacidad de cambio e innovación y autosuficiencia, excluyéndose del análisis criterios como participación, distribución de costos y beneficios, organización y control.

4.3 Medición y monitoreo de indicadores

Los indicadores se diseñaron con base a las interacciones de interfases y patrones teniendo como eje central la metodología exergo ecológico. El diseño de dichos indicadores por su naturaleza tan específica, en términos exergético aplicados a la agricultura, son novedosos y en la mayoría de los casos no tienen referentes internacionales, puesto que gran parte de los estudios realizados en materia se han efectuado para especialidades como la ingeniería mecánica, la termodinámica aplicada a análisis de transferencia de calor y la exergía aplicada al sector petrolero, de combustibles y biocombustibles y solo dos o tres trabajos realizados en uva y maíz, pero basados en producción convencional sin tener en cuenta las especificidades de la agroecología.

Por lo anterior, algunos de los indicadores no han sido diseñados a partir de un estudio de referencia, que pueda dar luces sobre óptimos exergético de algunas variables, en este sentido, esta tesis doctoral genera unas bases para seguir trasegando hacia la construcción de indicadores y a la generación de estándares de medición de los mismos.

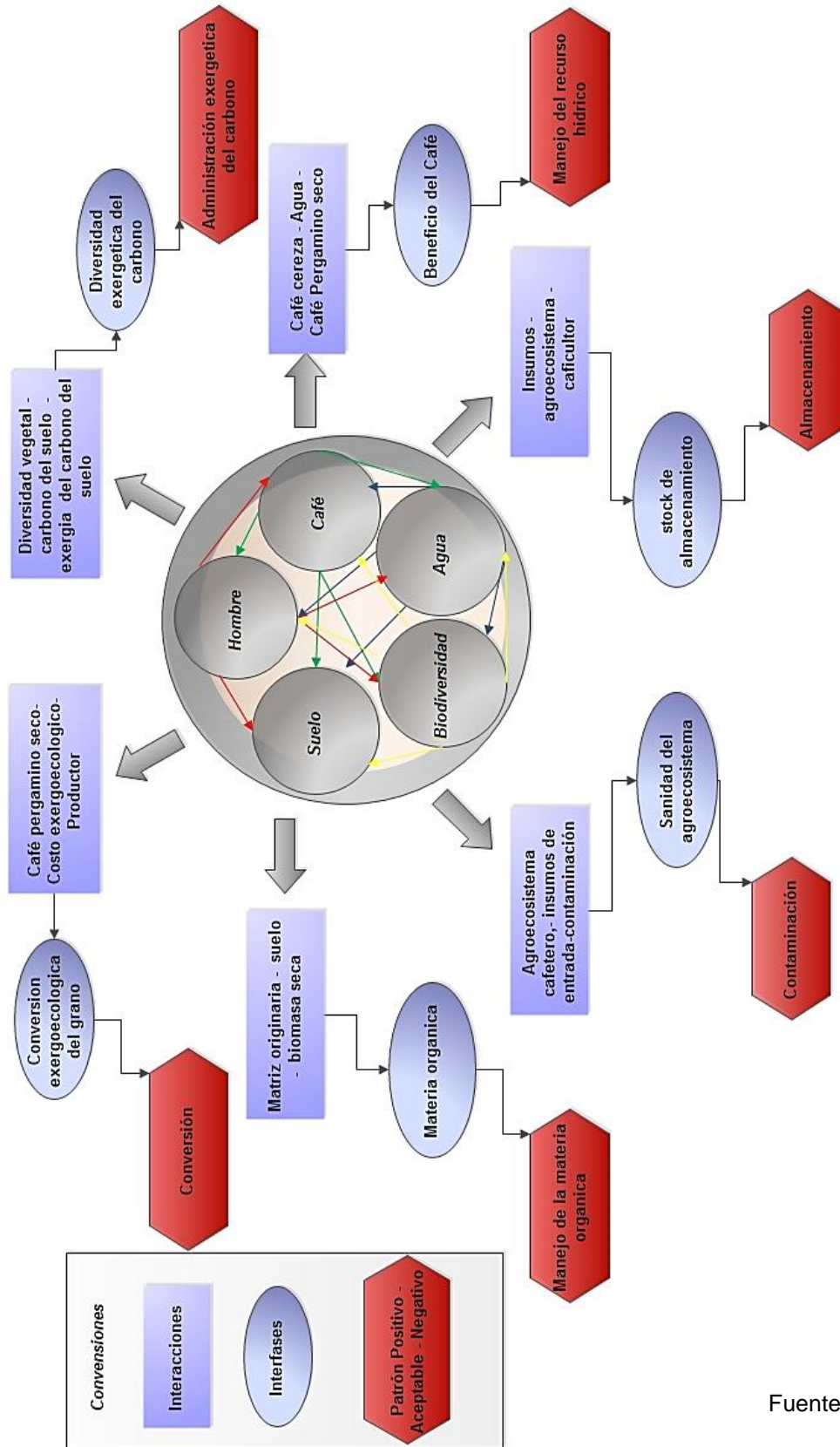
Figura 4-1. Esquema general MESMIS (Masera et al., 1999), adaptado dentro de estudio exergo ecológico, 2014.



4.4 Presentación e integración de resultados

Los indicadores construidos han sido aplicados en los tres escenarios propuestos en el trabajo, es decir en la finca orgánica, mixta y convencional.

Figura 4-2. Esquema de Interacciones dentro de estudio exergo ecológico, 2014.



Fuente: El Autor

Tabla 4-1 Matriz de calificación de Indicadores de Sustentabilidad hallados dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

INDICADOR	FORMULA	FINCA ORGANICA	FINCA MIXTA	FINCA CONVENCIONAL	CALIFICACIÓN PROPUESTA INVESTIGACIÓN
INDICE DE SHANON	INDICE DE SHANON	2,60	2,00	1,93	De 0 a 1= Negativo , De 1,1 a 2= Regular, De 2,1 a 3= Aceptable, mayor a 3,1 es Positivo
EXERGIA DE ALMACENAMIENTO	Exergia de salida / Exergia de entrada	0,04	0,12	0,08	De 0 a 0,5 = Positivo, de 0,51 a 0,7 =Aceptable, de 0,71 a 1 = regular, mayor a 1 es negativo
INDICADOR DE ABATIMIENTO UNITARIO	Exergia de abatimiento/ la produccion de café ha	0	642860,8604	403087,5249	De 0 a 50EXP (3)= Positivo, de 50EXP (3) a 100EXP (3)= aceptable. De 100EXP(3) a 200EXP(3)= Regular y mayor a 200 EXP(3) es Negativo
MATRICIAL DEL CARBONO DEL SUELO	%De carbono organico del predio / % de carbono de la matriz original del territorio	0,93	0,57	0,21	De 0 a 0,25= Negativo, de 0,251 a 0,5 = Regular, De 0,51 a 0,75 Aceptable, Mayor a 0,75 es Positivo
COSTO EXERGOECOLOGICO POR KILOGRAMO	Costo exergoecologico / Unidades producidas (Kg)	3495,98	645896,74	485073,46	De 0 a 50EXP (3)= Positivo, de 50EXP (3) a 100EXP (3)= aceptable. De 100EXP(3) a 200EXP(3)= Regular y mayor a 200 EXP(3) es Negativo
RELACIÓN COSTO EXERGOECOLOGICO POR KILOGRAMO / RELACION INDICADOR FINANCIERO CONVENCIONAL	COSTO EXERGOECOLOGICO POR KILOGRAMO / TIR	44,16	12430,65	14308,95	De 0 a 50= Positivo, de 50 a 1000= aceptable. De 100E a 10.000)= Regular y mayor a 10.000 es Negativo

MATRIZ CALIFICACIÓN**POSITIVO** 4**ACEPTABLE** 3**REGULAR** 2**NEGATIVO** 1

INDICADOR	FORMULA	CALIFICACIÓN			METODO DE CALIFICACIÓN
		FINCA CONVENCIONAL	FINCA MIXTA	FINCA ORGANICA	
INDICE DE SHANNON	INDICE DE SHANNON	2,33	2,58	3,35	De 0 a 1= Negativo , De 1,1 a 2= Regular, De 2,1 a 3= Aceptable, mayor a 3,1 es Positivo
EXERGIA DE ALMACENAMIENTO	Exergia de salida / Exergia de entrada	3,92	3,88	3,96	De 0 a 0,5 = Positivo, de 0,51 a 0,7 =Aceptable, de 0,71 a 1 = regular, mayor a 1 es negativo

INDICADOR DE ABATIMIENTO UNITARIO	Exergia de abatimiento/ la producción de café ha	0,65	0,45	4,00	De 0 a 50EXP (3)= Positivo, de 50EXP (3) a 100EXP (3)= aceptable. De 100EXP(3) a 200EXP(3)= Regular y mayor a 200 EXP(3) es Negativo
MATRICIAL DEL CARBONO DEL SUELO	%De carbono orgánico del predio / % de carbono de la matriz original del territorio	0,84	2,28	3,72	De 0 a 0,25= Negativo, de 0,251 a 0,5 = Regular, De 0,51 a 0,75 Aceptable, Mayor a 0,75 es Positivo
COSTO EXERGOECOLOGICO POR KILOGRAMO	Costo exergo ecológico / Unidades producidas (Kg)	0,65	0,55	3,93	De 0 a 50EXP (3)= Positivo, de 50EXP (3) a 100EXP (3)= aceptable. De 100EXP(3) a 200EXP(3)= Regular y mayor a 200 EXP(3) es Negativo
RELACIÓN COSTO EXERGOECOLOGICO POR KILOGRAMO / RELACION INDICADOR FINANCIERO CONVENCIONAL	COSTO EXERGOECOLOGICO POR KILOGRAMO / TIR	0,57	0,76	3,14	De 0 a 50= Positivo, de 50 a 1000= aceptable. De 100E a 10.000)= Regular y mayor a 10.000 es Negativo

Tabla 4-2 Fundamentos de medición de la Matriz de calificación de Indicadores de Sustentabilidad hallados dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

INDICADOR	FORMULA	FORMA DE MEDICION	UNIDADES	PROPUESTA DE MEDICIÓN	FUENTE
INDICE DE SHANNON	INDICE DE SHANNON	Realizando el inventario de especies por unidad de área y aplicando la fórmula de Shannon	Adimensional	De 0 a 1= Negativo , De 1,1 a 2= Regular, De 2,1 a 3= Aceptable, mayor a 3,1 es Positivo	Gliessman 2002
EXERGIA DE ALMACENAMIENTO	Exergia de salida / Exergia de entrada	Se calcula mediante el balance exergético del sistema debidamente delimitado teniendo en cuenta las entradas del flujo másico al sistema y las salidas del flujo másico al sistema. Se aplica la formula	Adimensional (KJ-Ha-año / KJ-ha-año)	De 0 a 0,5 = Positivo, de 0,51 a 0,7 =Aceptable, de 0,71 a 1 = regular, mayor a 1 es negativo	Szargut 2005
INDICADOR DE ABATIMIENTO UNITARIO	Exergia de abatimiento/ la producción de café ha			De 0 a 50EXP (3)= Positivo, de 50EXP (3) a 100EXP (3)= aceptable. De 100EXP(3) a 200EXP(3)= Regular y mayor a 200 EXP(3) es Negativo	El autor
MATRICIAL DEL CARBONO DEL SUELO	%De carbono orgánico del predio / % de carbono de la matriz original del territorio	Se realiza mediante el análisis de suelos de los predios tomando el carbono orgánico presente y dividiéndolo por el	Adimensional	De 0 a 0,25= Negativo, de 0,251 a 0,5 = Regular, De 0,51 a 0,75 Aceptable, Mayor a 0,75 es Positivo	El autor

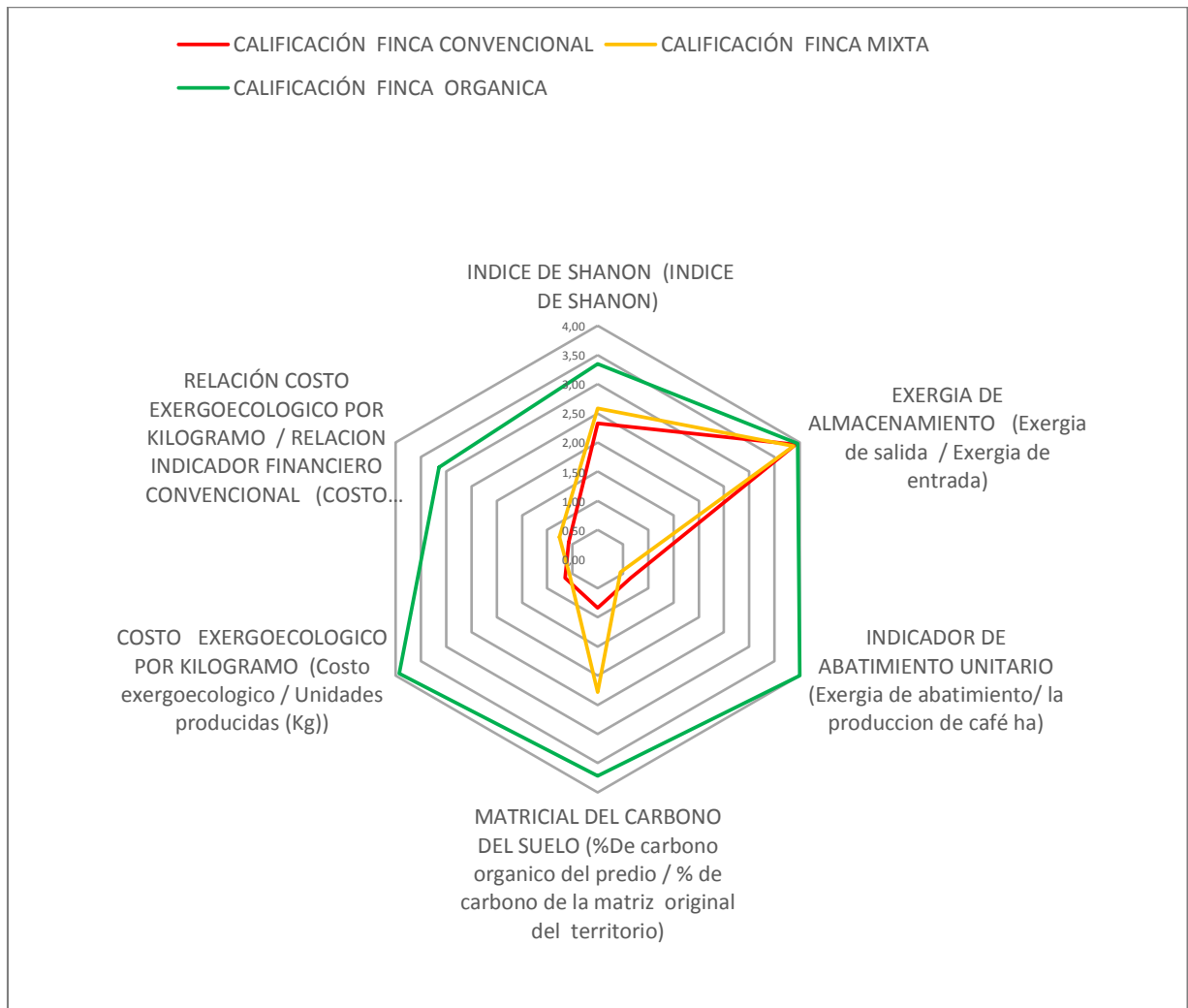
		carbono orgánico de un área que mantenga aproximadamente la matriz originaria del territorio, es decir un bosque no intervenido			
COSTO EXERGOECOLOGICO POR KILOGRAMO	Costo exergo ecológico / Unidades producidas (Kg)	Relaciona el costo exergoecologico dividido en las unidades de café por hectarea (Kg)	(\$/Kg / kJ/Kg)	De 0 a 50EXP (3)= Positivo, de 50EXP (3) a 100EXP (3)= aceptable. De 100EXP(3) a 200EXP(3)= Regular y mayor a 200 EXP(3) es Negativo	El autor
RELACIÓN COSTO EXERGOECOLOGICO POR KILOGRAMO / RELACION INDICADOR FINANCIERO CONVENCIONAL	COSTO EXERGOECOLOGICO POR KILOGRAMO / TIR	Se divide costo el exergo ecológico de producir un kilogramo de café sobre la tasa interna de retorno	KJ / Kg	De 0 a 50= Positivo, de 50 a 1000= aceptable. De 100E a 10.000)= Regular y mayor a 10.000 es Negativo	El autor

Tabla 4-3 Matriz de selección de Indicadores de Sustentabilidad hallados dentro de estudio exergo ecológico, 2014.

INTERACCIONES	INTERFASES	PATRÓN	Calificación del Patrón	Atributos	Criterio	NOMBRE DEL INDICADOR	INDICADORES
Diversidad vegetal - carbono del suelo - exergia del carbono del suelo	Diversidad exergética del carbono	Administración exergética del carbono	Positivo-aceptable- Regular - negativo	Productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión	conservación / Diversidad	INDICE DE SHANNON	INDICE DE SHANNON
Insumos - agroecosistema - caficultor	stock de almacenamiento	Almacenamiento	Positivo-aceptable- Regular - negativo	Productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión	Autosuficiencia	EXERGIA DE ALMACENAMIENTO	Exergia de salida / Exergia de entrada
Agroecosistema cafetero, - insumos de entrada - contaminación	Sanidad del agroecosistema	Contaminación	Positivo-aceptable- Regular - negativo	Productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión	Conservación	INDICADOR DE ABATIMIENTO UNITARIO	Exergia de abatimiento/ la producción de café ha
Matriz originaria - suelo - biomasa seca	Materia orgánica	Manejo de la materia orgánica	Positivo-aceptable- negativo	Productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión	Autosuficiencia	MATRICIAL DEL CARBONO DEL SUELO	%De carbono orgánico del predio / % de carbono de la matriz original del territorio

Café pergamino seco-Costo exergo ecológico-Productor	Conversión exergo ecológica del grano	Conversión	Positivo-aceptable-Regular-negativo	Productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión	Eficiencia	COSTO EXERGOECO LOGICO POR KILOGRAMO	Costo exergo ecológico / Unidades producidas (Kg)
Indicador financiero convencional- costo exergo ecológico unitario- Café pergamino	Nexo exergo ecológico - financiero	Sustentabilidad exergo ecológico-financiero	Positivo-aceptable-Regular-negativo	Productividad, estabilidad, confiabilidad, resiliencia, adaptabilidad, equidad y autogestión	Distribución de costos y beneficios	RELACIÓN COSTO EXERGOECO LOGICO POR KILOGRAMO / RELACION INDICADOR FINANCIERO CONVENCIONAL	Costo exergo ecológico por kg/ TIR

Figura 4-3. Grafica de Indicadores Exergéticos de Sustentabilidad dentro de estudio exergo ecológico, 2014.



La herramienta de lectura de Interacciones (Figura 4-2) permite profundizar en los elementos del lenguaje de contexto con miras a la construcción de los indicadores.

- La Interacción entre la diversidad vegetal, los contenidos de Carbono del Suelo y la exergia de Carbono del suelo, genera el ecotono Diversidad Exergetica del carbono, la cual en la gramática de la funcionalidad agroecosistemica está cargada tanto de información (Abundancia o diversidad de plantas) así como de energía útil (Exergia). De tal forma que mediante la evaluación del índice de diversidad de Shannon y el patrón exergético del carbono en las Fincas Tipo, se puede calificar la sustentabilidad de cada una de las fincas del estudio. En la Tabla 4-1 y grafico 4-3 se puede valorar la distancia hacia la sustentabilidad que existe en cada una de las fincas del estudio. Los altos índices de Shannon asociado a un patrón positivo en la Administración Exergetica del Carbono refleja una alta calificación y por ende una buena funcionalidad agroecosistemica al respecto.
- La interacción entre insumos, Agroecosistema y Caficultor, genera la interfase stock de almacenamiento, la cual me expresa un patrón de almacenamiento que puede ser calificado en materia de sustentabilidad a través del Indicador de Exergia de Almacenamiento. Al aplicar este indicador de sustentabilidad en la evaluación de la tres Fincas Tipo, no se encuentra una gran diferencia entre ellas, pero la finca orgánica es la que más se acerca a cero, lo cual significa que el agroecosistema acumula más exergia o energía útil frente a la exergia de salida del agroecisostema. Es importante analizar que la exergia que se acumula puede tipificarse de acuerdo a su gestión la interior del agroecosistema, por lo cual, la exergia procedente de fotosisntesis es la que me aporta en mayor medida a la sustentabilidad, y en la finca orgánica se puede apreciar dicho aporte, frente a las fincas Convencional y mixta en donde dicho aporte es menor y en las cuales hay un aporte significativo en acumulación de exergia procedente de insumos contaminantes y residuos en donde dicha exergia es de gestión negativa en las respectivas fincas tipo.
- De la interacción agroecosistema cafetero – Insumos de entrada – contaminación, emerge la interfase sanidad del agroecosistema, lo cual me expresa un patron de contaminación de las fincas Tipo. De esta lectura de contexto, la investigación propone el indicador de abatimiento unitario (ver figura 4-2 ; tablas 4-1, 4-2, 4-3 y Figura 4-3) el

cual relaciona la exergía de abatimiento y la producción de café por Hectarea, es decir este indicador interioriza la contaminación en la producción del grano, uno de los aspectos fundamental que diferencia esta evaluación exergetica, de las evaluaciones económicas convencionales, basadas en indicadores eminentemente crematísticos o del orden financiero. El análisis exergetico cuantifica en unidades exergeticas el costo de abatimiento de la contaminación o cuánto cuesta exergeticamente descontaminar el agroecosistema, en este caso producto de los residuos líquidos del beneficiadero y la pulpa del café que para el caso de las fincas convencional y mixta no se realizan las debidas habilitaciones mediante sistemas de filtrado y compostaje respectivamente, frente a la finca orgánica, en donde el proceso de certificación orgánica exige dichos manejos. El resultado de este análisis integral Interacciones – Interfase – patrones – Indicador de Sustentabilidad, muestra como resultado que la finca mixta tiene el escenario más negativo, seguido de la finca convencional en materia de sustentabilidad. La finca orgánica tiene una deuda cercana a cero en materia de abatimiento por realizar adecuadamente la habilitación de los residuos.

- Mediante el análisis de la Interacción Carbono de la Matriz Originaria – Carbono del Suelo – Biomasa seca, emerge la interfase Materia Orgánica, que es producto de un patrón de manejo de la Materia Orgánica en cada una de las fincas Tipo. A través de la lectura de contexto realizada en la investigación se propone el indicador Matricial de Carbono del Suelo (ver figura 4-2; tablas 4-1, 4-2, 4-3 y Figura 4-3) que relaciona el Porcentaje del Carbono Orgánico de Predio y una aproximación al Porcentaje de la Matriz Originaria de Territorio. De acuerdo a la Matriz de Calificación en materia de sustentabilidad, la cercanía del indicador al Valor de 1 es el óptimo, pues indica un patrón de materia orgánica cercano al generado por la dinámica de formación vegetal de la matriz territorial. En este sentido la finca convencional muestra el indicador menos sustentable, seguida de la finca mixta y por último la finca orgánica es la que tiene dicho indicador más cercano a la unidad o al óptimo en materia de sustentabilidad.
- De la Interaccion Café Pergamino Seco – Costo Exergoecológico – Productor Cafetero, emerge la interfase Conversión exergoecológica del grano de café. En este sentido es importante aclarar que el costo exergoecologico para la fincas tipo (Ver Tabal 3-40) se calcula mediante la siguiente fórmula: Costo exergetico de ciclo de vida el producto (insumos y recursos utilizados en la producción) menos la exergía de reposición menos

la exergia de abatimiento. Es decir tiene en cuenta la exergia de los insumos utilizados en la producción, la exergia de reponer los insumos mezclados en el ambiente de referencia termodinámicamente estable (ambiente de referencia – Planeta termodinámicamente estable – Ver Anexo B) y la exergia de Abatimiento (ver Anexo B). es decir, se tiene en cuenta devolver al planeta los insumos que nos ha prestado en unidades exergeticas, así como realizar la descontamiantacion del agroecosistema (aguas del beneficiadero y pulpa de café) este costo se calcula en unidades exergeticas y además reponer al planeta los elementos químicos desde moléculas que se forman en la idealización de un ambiente de referencia futuro en donde todas las moléculas han reaccionado y se calcula la exergia de concentración de dichas moléculas, para a partir de esta exergia y energía libre de Gibbs establecer la exergia de los elementos químicos que me presto el planeta y se concentraron en la sopa entrópica (Ambiente de Referencia – Figura 3-10 y Anexo B). A partir de este ejercicio, se construye el Indicador Costo Exergoecológico por Kilogramo de café, que relaciona el Costo Exergoecologico dividido en la unidades de café pergamino por Hectarea, que es una medida del esfuerzo exergético que la realiza el planeta tierra para producto un kilogramo de café para cada una de las fincas Tipo. En la tabla 4 -1 se aprecia el costo exergoecológico por Kilogramo de café pergamino seco para las tres fincas tipo, mostrando la gran ventaja en materia de sustentabilidad que presenta la finca organica frente a las fincas convencional y mixta, resultado que tiene que ver con el alto aporte de producción primaria neta (Biomasa producto de Fotosintesis) y la baja exergia de reposición y abatimiento en la finca orgánica (ver figura 4-2 ; tablas 4-1, 4-2, 4-3 y Figura 4-3).

- Con el fin de evaluar la interacción entre el costo exergoecológico con indicadores financieros convencionales, la investigación estableció mediante este análisis, la interaccion Costo Exergoecológico por Kilogramo – Café Pergamino seco – TIR, mediante factor Costo Exergoecologico por Kg dividido en el Indicador Financiero Convencional – TIR (Tasa Interna de Retorno). De este análisis surge la interfase Nexo Exergoecológico Fiananciero que es producto de un patrón de sustentabilidad exergoecológico financiero propio de cada finca. Al aplicar la matriz de calificación la investigación encuentra gran diferencia en materia de sustentabilidad entre la finca orgánica y las fincas convencional y mixta, debido al gran sobreprecio o Premium que tiene el café organico, la TIR es demasiado alta, lo cual influye en la generación un

mejor Indicador Costo Exergoecológico por Kg/TIR en la Finca Orgánica Frente a las Fincas Mixtas y Convencional que poseen indicadores que de acuerdo a la matriz de calificación se alejan bastante de los rangos positivos hacia la sustentabilidad.

En el marco de la Agroecología la investigación desarrolla una metodología de lectura de contexto que involucra diferentes interacciones al interior de los agroecosistemas, para posteriormente vislumbrar las interfases o ecotonos (Ligados a la Estructura Agroecosistémica), que son zonas donde sucede alto intercambio de información, intercambio de energía, pero también posibilidad de alta entropía, lo cual justifica desde la estructura agroecosistémica se priorice el accionar de investigación en la interfases, pues representan las franjas de mayor complejidad. Paralelamente se identifican los patrones como unidades de comportamiento y ambiente (ligados a la Función Agroecosistémica) y se establece si dichos patrones son positivos o negativos en cada agroecosistema o finca Tipo. Posteriormente se llega a la gestión de indicadores de sustentabilidad basados en la Metodología MESMIS y la metodología de interacciones del presente Trabajo. En materia de Exergía y de manera transversal a la metodología expresada anteriormente, la investigación desarrolla un análisis profundo de Función agroecosistémica en cuanto al movimiento de materia y el flujo de la energía útil (Exergía) al interior de los agroecosistemas de estudio, estableciendo un modelo para el análisis de agroecosistemas basado en la exergía.

5. Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- La estructura agroecosistémica de la Finca Orgánica redundante en una alta estabilidad de la función de generación de biomasa in situ, esto influye notoriamente en el aumento del stock de carbono en el suelo, presentando un alto aporte por este concepto, frente a las fincas Mixta que tiene un aporte importante por biomasa del plátano pero muy inferior a la orgánica y la Convencional que por su monocultivo no recibe aportes agroecosistémicos al respecto.
- El componente Arvenses muestra una mayor diversidad en la finca orgánica frente a los otros dos tipos de finca, presentado índices cercanos a los de un ecosistema natural. Este patrón de Comportamiento agroecosistémico está relacionado con el componente antrópico, pues depende de las prácticas de manejo. Se encontró un gradiente de homogenización de las poblaciones de arvenses en la medida que se transita hacia sistemas productivos convencionales y dependientes de insumos externos y que principalmente utilizan herbicidas, de tal forma que las mayores poblaciones de arvenses gramíneas y cyperáceas se encuentran en la finca convencional. Este aspecto también está ligado a un alto aporte de biomasa característica de estas especies con alto contenido de lignina, celulosa y hemicelulosa.
- El análisis químico de las arvenses integrado a la evaluación de su biomasa por unidad de área tipifica ciertas familias o especies como reservorios de elementos químicos, influyendo en la economía de los mismos al evitar su lixiviación o volatilización y cediéndolos nuevamente al agroecosistema al ser cegadas, de manera análoga a la función agroecosistémica de las arcillas mediante su capacidad de intercambio catiónico.

- De acuerdo a investigaciones es sabido que las lombrices colaboran en la formación de agregados del suelo, la aireación y dinámica de los nutrientes, los Collembolos, que son considerados como indicadores de las condiciones hídricas del suelo, de hormigas cuya presencia favorece características físicas y químicas del suelo y los acaros como actores más relacionados en los procesos biológicos del suelo. En el presente estudio fueron siempre superiores en la finca Orgánica, frente a los otros dos sistemas, aspecto que está relacionado con la mayor generación de residuos orgánicos en cantidad y calidad, lo cual se expresa en una mayor superficie específica que redundará en una mejor retención de humedad, mayor cantidad de sitios de intercambio que actúan favorablemente en la dinámica de retención de cationes evitando su lixiviado o volatilización.
- Conociendo las biomásas de lombriz, arvenses y artrópodos se pueden predecir los contenidos de Carbono Orgánico Total - COT contenidos en la materia orgánica, a nivel significativo y altamente significativo, bajo las mismas circunstancias de esta evaluación y utilizando la fórmula de regresión múltiple generada en la presente investigación. Como se puede apreciar existe un claro gradiente de incremento del COT cuando en el agroecosistema se incrementan la biomasa de lombriz por unidad de área, la biomasa de arvenses y las poblaciones artrópodos.
- A través del costo exergo ecológico se evidenció que existe una notoria diferencia de distancia exergética del sistema productivo orgánico con respecto a su ambiente de referencia, en comparación de la distancia exergética del sistema productivo convencional con su ambiente de referencia, y mucho mayor la distancia exergética del sistema productivo mixto. Lo cual se traduce en una mayor sustentabilidad del sistema productivo orgánico, que significa un mayor tiempo para llegar a un planeta o ambiente termodinámicamente estable. De otra parte se puede observar que la ruta hacia la sustentabilidad está ligada a la búsqueda de las condiciones originales del Territorio en donde el planeta concibió un equilibrio dinámico basado en la utilización de la energía solar, de la cual un porcentaje muy pequeño se convierte en Producción Primaria Neta y el resto la utiliza el planeta para dinamizar los ciclos hidrológicos, disparar procesos de la naturaleza en general dentro del cual siempre existe una alta dosis de Entropía.

-
- La exergía de reposición más alta es la de la finca orgánica, debido principalmente al alto costo Exergético del Carbono de los fertilizantes orgánicos, pero esto se compensa con el carbono orgánico producido al interior del sistema vía funciones agroecosistemicas del deshoje de árboles, cegado de arvenses y aporte del compost de la pulpa. En este sentido se puede apreciar que gran parte de la reposición de las fincas convencional y mixta tiene que ver con insumos provenientes de la síntesis química que son producidos con una alta carga de desmaterialización de los recursos naturales de la tierra, aspecto que no ha sido dimensionado adecuadamente por la sociedad moderna, en donde se utilizan las reservas geológicas de forma indiscriminada bajo la visión de su existencia infinita en un planeta finito. Es así como muchos de estos insumos proviene también de industria petroquímica, que es de las que más le suma a la entropía del planeta vía calentamiento global.
 - La mayor exergía de abatimiento la presentó el sistema productivo Mixto, seguido del sistema productivo Convencional y por último el sistema productivo orgánico. Esto se debe al uso de insumo altamente contaminantes, que exigen un gran esfuerzo Exergético y tecnológico para ser habilitados, aspecto que influye notoriamente en la gran distancia exergética de los sistemas productivos Mixto y Convencional. Lo cual se relaciona directamente con la propuesta agroecológica que integra entre otras disciplinas la ecología y la termodinámica de manera análoga a la funcionalidad de Biosfera, tratando de depender al mínimo de insumos externos y configurando arreglos estructura - Función que trabajen con el reciclaje natural que tiene bajos requerimientos de abatimiento basado en el trabajo de actores entre otros como los microorganismos, artrópodos y lombrices.
 - El análisis financiero convencional muestra un mejor desempeño económico de la finca orgánica, presentado unos indicadores económicos en materia de TIR, que superan en más del 25% la finca mixta y cerca del 50% la finca convencional. Esto debido a la cualificación del producto orgánico, que tiene la posibilidad en este caso de comercializar su producto con un plus que pagan los exportadores y el consumidor final en el mercado internacional.
 - La aplicación de metodología de indicadores demuestra un alto grado de sustentabilidad exergética por parte de la finca orgánica, producto de su menor índice

de abatimiento unitario y un alto índice de exergia de acumulación, resultado de las emergencias y funciones agroecosistémica, además del adecuado manejo agroecológico por parte del componente antrópico.

- El Análisis de Interrelaciones, Interfases y patrones como herramienta de percepción constituye un elemento importante para lograr vislumbrar lecturas de paisaje que para este estudio coadyuvo en la generación del “Modelo Metodológico propuesto para Evaluar la Sustentabilidad” de los tres Sistemas Productivos en el Marco del Análisis Exergoecológico.

5.2 Recomendaciones

Es importante desarrollar investigaciones similares en otros sistemas productivos y en otras matrices territoriales, con el fin de validar y seguir refinando la metodología en el sector agropecuario, evaluando su inserción como elemento de evaluación de gradientes de sustentabilidad en el desarrollo del sector y específicamente en la agroecología.

La metodología implica el conocimiento transdisciplinario o la integración de equipos de trabajo de varias disciplinas, debido a la complejidad del proceso en donde están involucrados aspectos de Agroecología, Termodinámica, Biología, Agronomía, Estadística, Economía y Administración.

A. Anexo: Biomasa en el sistema

Tablas de distribución por parámetros y transectos, y por valores de campo y valores transformados.

LOMBRICES

Tabla 5-1. Distribución relación peso fresco / numero individuos en cálculo de biomasa lombriz, frente a época de muestreo y tipo de finca en análisis exergo ecológico (2014).

Época Recolección	Profundidad Muestra	FINCA I				FINCA II				FINCA III			
		aobo				aob1				aob2			
E. Seca	10 cm	16	6,56	0,41	0,335	15	8,3	0,533	0,646	7	2,03	0,29	0,258
	20 cm	6	1,56	0,26		6	4,56	0,76		6	1,56	0,226	
	10 cm	10	3,1	0,31	0,225	10	7,1	0,71	0,78	15	6,3	0,41	0,336
	20 cm	2	0,28	0,14		4	3,4	0,85		6	1,56	0,26	
	10 cm	10	3	0,3	0,228	15	8,3	0,553	0,656	10	3,1	0,31	0,225
	20 cm	4	0,624	0,156		6	4,56	0,76		2	0,28	0,14	
	10 cm	8	2,72	0,34	0,224	8	5,72	0,715	0,736	10	3,1	0,3	0,32
	20 cm	2	0,216	0,108		7	5,3	0,757		8	2,72	0,34	
	10 cm	8	2,72	0,35	0,275	10	7,1	0,71	0,675	10	3,1	0,3	0,31
	20 cm	6	1,56	0,2		2	1,28	0,64		8	2,72	0,34	
		atbo				atb1				atb2			
E. Lluvias	10 cm	10	3,1	0,3	0,2	10	6,1	0,61	0,625	8	2,72	0,35	0,227
	20 cm	2	0,2	0,1		2	1,28	0,64		2	0,216	0,106	
	10 cm	10	3,1	0,31	0,225	10	7,1	0,71	0,67	7	2,03	0,29	0,262
	20 cm	2	0,28	0,14		2	1,28	0,64		6	1,56	0,226	
	10 cm	15	6,3	0,4	0,3	10	7,1	0,71	0,775	10	3,1	0,3	0,214
	20 cm	6	1,56	0,2		8	6,72	0,84		3	0,384	0,128	
	10 cm	8	2,72	0,35	0,228	8	6,72	0,84	0,73	8	2,72	0,35	0,229
	20 cm	2	0,216	0,106		2	1,26	0,62		2	0,216	0,106	
	10 cm	15	6,3	0,42	0,331	10	7,1	0,71	0,67	16	6,56	0,41	0,335
	20 cm	6	1,56	0,242		2	1,28	0,64		6	1,56	0,26	
		a2bo				a2b1				a2b2			
E. Cosecha	10 cm	10	3,1	0,31	0,225	15	9,3	0,62	0,855	10	3,1	0,3	0,216

20 cm	2	0,28	0,14		6	6,56	1,09		3	0,384	0,128	
10 cm	15	6,3	0,41	0,334	10	7,1	0,71	0,775	10	3,1	0,31	0,226
20 cm	6	1,56	0,26		8	6,72	0,84		2	0,28	0,14	
10 cm	10	3,1	0,31	0,225	10	7,1	0,71	0,675	10	3,1	0,3	0,324
20 cm	2	0,28	0,14		2	1,28	0,64		8	2,72	0,34	
10 cm	10	3,1	0,3	0,23	8	6,72	0,84	0,73	10	3,1	0,3	0,317
20 cm	3	0,384	0,128		2	1,26	0,62		8	2,72	0,34	
10 cm	10	3,1	0,31	0,225	10	7,1	0,71	0,775	15	6,3	0,42	0,332
20 cm	2	0,28	0,14		8	6,72	0,84		6	1,56	0,242	

Tabla 5-2. Distribución relación promedio Peso / Numero, en cinco lecturas a muestras a 10 y 20cm, en biomasa lombriz, según tipo de finca (2014).

Finca tipo I (a0)			Finca tipo II (a1)			Finca tipo III (a3)		
Seca (bo)	Lluvias (b1)	Cosecha (b2)	Seca (bo)	Lluvias (b1)	Cosecha (b2)	Seca (bo)	Lluvias (b1)	Cosecha (b2)
aobo	aob1	aob2	a1bo	a1b1	a1b2	a2bo	a2b1	a2b2
0,335	0,33	0,258	0,646	0,625	0,855	0,225	0,331	0,216
0,225	0,227	0,336	0,78	0,67	0,775	0,334	0,325	0,226
0,228	0,332	0,225	0,656	0,775	0,675	0,225	0,225	0,324
0,224	0,338	0,32	0,736	0,73	0,73	0,23	0,227	0,317
0,275	0,225	0,31	0,675	0,67	0,775	0,225	0,315	0,332

Tabla 5-3. Datos transformados (Ln10) a distribución promedio relación Peso/Número estimada, en cinco lecturas a muestras a 10 y 20cm, en biomasa lombriz, según tipo de finca (2014).

Finca tipo I (a0)			Finca tipo II (a1)			Finca tipo III (a3)		
Seca (bo)	Lluvias (b1)	Cosecha (b2)	Seca (bo)	Lluvias (b1)	Cosecha (b2)	Seca (bo)	Lluvias (b1)	Cosecha (b2)
aobo	aob1	aob2	a1bo	a1b1	a1b2	a2bo	a2b1	a2b2
0,475	0,481	0,588	0,190	0,204	0,068	0,648	0,480	0,666
0,648	0,644	0,474	0,108	0,174	0,111	0,476	0,488	0,646
0,642	0,479	0,648	0,183	0,111	0,171	0,648	0,648	0,489
0,650	0,471	0,495	0,133	0,137	0,137	0,638	0,644	0,499
0,561	0,648	0,509	0,171	0,174	0,111	0,648	0,502	0,479

ARVENSES

Tabla 5-4. Distribución Parcela Principal, Subparcela y Sub-subparcela en pesos secos en gramos de arvenses y su transformación LN, total 135 unidades experimentales (2014).

factores	pesos secos en gramos			pesos secos transformados LN				
	Cuadrante 1	Cuadrante 2	Cuadrante 3					
finca convencional	Lluvias	transecto 1	84	114,3	24,9	4,427	4,739	3,215
		transecto 2	224,45	45,66	5,81	5,414	3,821	1,760
		transecto 3	155,58	5,26	19,51	5,047	1,660	2,971
		transecto 4	809,53	119,53	12,08	6,696	4,784	2,492
		transecto 5	425,62	7,48	3,85	6,054	2,012	1,348
	Seca	transecto 1	11,76	25,65	28,32	2,465	3,245	3,344
		transecto 2	388,5	84,9	8,6	5,962	4,441	2,152
		transecto 3	277,3	6,4	29,6	5,625	1,856	3,388
		transecto 4	1287,28	167,99	18,47	7,160	5,124	2,916
		transecto 5	675,36	10	5	6,515	2,303	1,609
	Cosecha	transecto 1	54,8	89,5	20,6	4,004	4,494	3,025
		transecto 2	202,3	34,2	4,8	5,310	3,532	1,569
		transecto 3	128,7	5,3	15,3	4,857	1,668	2,728
		transecto 4	764,3	109,3	10,9	6,639	4,694	2,389
		transecto 5	421,7	6,89	3,3	6,044	1,930	1,194
finca orgánica	Lluvias	transecto 1	184	314,3	124,9	5,213	5,750	4,828
		transecto 2	424,45	145,66	95,81	6,051	4,981	4,562
		transecto 3	255,58	95,26	119,51	5,544	4,557	4,783
		transecto 4	1009,53	219,53	112,08	6,917	5,391	4,719
		transecto 5	625,62	87,48	103,85	6,439	4,471	4,643
	seca	transecto 1	69,79	103,51	38,75	4,245	4,640	3,657
		transecto 2	133,06	64,28	75,88	4,891	4,163	4,329
		transecto 3	108,74	70,34	88,87	4,689	4,253	4,487
		transecto 4	52,34	192,43	96,94	3,958	5,260	4,574
		transecto 5	185,88	106,98	195,25	5,225	4,673	5,274
	cosecha	transecto 1	269,79	403,51	138,75	5,598	6,000	4,933
		transecto 2	233,06	164,28	275,88	5,451	5,102	5,620
		transecto 3	308,74	270,34	288,87	5,732	5,600	5,666
		transecto 4	152,34	392,43	396,94	5,026	5,972	5,984
		transecto 5	785,88	406,98	495,25	6,667	6,009	6,205
finca mixta	lluvias	transecto 1	113,28	30,45	24,03	4,730	3,416	3,179
		transecto 2	54,72	97,53	211,9	4,002	4,580	5,356
		transecto 3	160,88	70,62	132,95	5,081	4,257	4,890
		transecto 4	124,98	117,58	127,54	4,828	4,767	4,848
		transecto 5	157,83	41,93	90,53	5,062	3,736	4,506
	Se	transecto 1	15,65	83,74	92,42	2,750	4,428	4,526

	transecto 2	16,8	94,22	61,66	2,821	4,546	4,122
	transecto 3	79,73	72,23	85,97	4,379	4,280	4,454
	transecto 4	82,88	82,44	62,63	4,417	4,412	4,137
	transecto 5	124	77	102	4,820	4,344	4,625
Cosecha	transecto 1	149,79	203,51	98,75	5,009	5,316	4,593
	transecto 2	173,06	64,28	175,88	5,154	4,163	5,170
	transecto 3	108,74	170,34	168,87	4,689	5,138	5,129
	transecto 4	52,34	192,43	196,94	3,958	5,260	5,283
	transecto 5	285,88	106,98	295,25	5,656	4,673	5,688

ARTROPODOS

Tabla 5-5. Distribución taxonomía y conteo en campo de Biomasa Artrópodos, según transecto y muestra en tipos de finca dentro de análisis exergo ecológico (2014).

Phyllum	Clase	Orden	Familia	F. Orgánica	F. Mixta	F. Convencional
ANELIDA	Anélida		anélida	1	1	3
ARACNIDA	Arácnida	Acari	ácaros	270	88	100
ARACNIDA	Aracnida		araña, pseudoescorpiones	0	1	3
MIRIAPODA	Chilopoda		cien pies	16	4	2
MIRIAPODA	Diplopoda	Julida	Julida Nemasomatidae	16	9	10
MIRIAPODA	Diplopoda	Polidesmida	mil pies con caparazón	34	6	1
MIRIAPODA	Diplopoda	Polixenida	mil pies con pelos urticantes	8	2	6
CRUSTACEA	Isopoda		Isopoda	36	3	0
SYMPHILA	Symphila		Symphila	73	7	19
HEXAPODA	Collembola	Entomobriidae	Entomobriidae	153	119	87
HEXAPODA	Collembola	Isotomidae	Isotomidae	138	92	16
HEXAPODA	Collembola	Poduridae	Poduridae	0	18	11
HEXAPODA	Collembola	Sminthuridae	sminthuridae	0	0	2
HEXAPODA	Collembola	NI	Collembola	0	0	1
HEXAPODA	Diplura	Campodeidae	Campodeidae	2	3	0
HEXAPODA	Diplura	Japigidae	japigidae	45	10	13
INSECTA	Microcorypgia	NI	Microcoryphia	14	7	11
INSECTA	Dermaptera	NI	Dermaptera	0	0	1
INSECTA	Blattodea	Blattidae	Blattidae	0	0	1
INSECTA	Hemiptera	Cydnidae	Cydnidae	17	11	3
INSECTA	Hemiptera	Gelastocoridae	Gelastocoridae	0	2	3
INSECTA	Hemiptera	Pentatomidae	Pentatomidae	0	0	1
INSECTA	Hemiptera	NI	NI	2	0	1
INSECTA	Hemiptera	Miridae	Miridae	1	0	1

INSECTA	Hemiptera	Pseudococcidae	Pseudococcidae	3	0	0
INSECTA	Psocoptera	NI	Psocoptera	0	1	2
INSECTA	Coleoptera	Nitidulidae	nitidulidae	0	0	1
INSECTA	Coleoptera	Ptilidae	Ptilidae	8	2	1
INSECTA	Coleoptera	Scarabaeidae	Scarabaeidae	6	4	0
INSECTA	Coleoptera	Scolitidae	scolitidae	0	0	1
INSECTA	Coleoptera	Scydmaenidae	scydmaenidae	4	10	3
INSECTA	Coleoptera	Staphilinidae	Staphilinidae	10	24	13
INSECTA	Coleoptera	Tenebrionidae	Tenebrionidae	1	0	0
INSECTA	Coleoptera	NI	NI	1	7	2
INSECTA	Himenoptera	NI	Microhymenoptera	0	1	0
INSECTA	Hymenoptera	Formicidae	hormigas	1099	313	152
INSECTA	Lepidoptera	NI	Polilla pequeña	0	0	1
INSECTA	Diptera	Cecydomidae	Cecydomidae	0	0	4
INSECTA	Diptera	Drosophilidae	Drosophila	2	0	0
INSECTA	diptera	Muscidae	Muscidae	1	0	0
INSECTA	Diptera	Phoridae	Phoridae	0	0	2
INSECTA	diptera	Psychodidae	Psychodidae	1	0	1
INSECTA	Diptera	Tachinidae	Tachinidae	0	1	0
INSECTA	Diptera	NI	moscas, zancudos	21	3	7

B. Anexo: Entradas y Abatimientos exergéticos

FINCA CONVENCIONAL TIPO I

Tabla 5-6. Escenario de costos exergéticos, entrada/salida de insumos, entrada/salida de biomasa y entrada/salida beneficios en Finca Convencional Tipo I, dentro de análisis exergo ecológico (2014).

INSUMO	ELEMENTO	CANTIDAD DEL ELEMENTO (Kg/Ha/año)	PESO MOLECULAR (Kg/Mol)	PESO (Mol/Ha/año)	EXERGIA DEL ELEMENTO (KJ/Mol)	EXERGIA DE REPOSICION (KJ/Ha/ año)
FERTILIZANTE PRODUCCIÓN 17-6-18-2	N	255	14	18,21428571	0,72	13,11428571
	P	39,29	30,97	1,268647078	856,5352865	1086,640988
	K	224,14	39,1	5,732480818	11,69	67,01270077
	Mg	18	24,3	0,740740741	1615,744131	1196,847505
	S	30	32,06	0,935745477	751,2733367	703,000627
	B	3	10,81	0,277520814	270,9271933	75,18793523
	Zn	3	65,37	0,045892611	339,2	15,56677375
AGRIMINS	N	16	14	1,142857143	0,72	0,822857143
	P	2,18	30,97	0,070390701	856,5352865	60,29211897
	Ca	25,7	40,08	0,641217565	718,9941313	461,031666
	Mg	7,23	24,3	0,297530864	1615,744131	480,7337477
	S	1,6	32,06	0,049906425	751,2733367	37,49336677
	B	2	10,81	0,185013876	270,9271933	50,12529016
	Cu	1,5	63,54	0,023607177	134,2	3,168083097
Zn	5	65,37	0,076487685	339,2	25,94462292	
					TOTAL	4276,982568

ESCENARIO DE COSTOS DE REPOSICION TECNOLÓGICA					COSTO TOTAL		
INSUMO	ELEMENTO	10 VECES	100 VECES	1000 VECES	10 VECES	100 VECES	1000 VECES
FERTILIZANTE PRODUCCIÓN 17-6-18-2	N	131,142857	1311,42857	13114,2857	144,257143	1324,54286	13127,4
	P	10866,4099	108664,099	1086640,99	11953,0509	109750,74	1087727,63
	K	670,127008	6701,27008	67012,7008	737,139708	6768,28278	67079,7135
	Mg	11968,475	119684,75	1196847,5	13165,3226	120881,598	1198044,35
	S	7030,00627	70300,0627	703000,627	7733,0069	71003,0633	703703,628
	B	751,879352	7518,79352	75187,9352	827,067288	7593,98146	75263,1232
	Zn	155,667737	1556,67737	15566,7737	171,234511	1572,24415	15582,3405
AGRIMINS	N	8,22857143	82,2857143	822,857143	9,05142857	83,1085714	823,68

P	602,92119	6029,2119	60292,119	663,213309	6089,50402	60352,4111
Ca	4610,31666	46103,1666	461031,666	5071,34833	46564,1983	461492,698
Mg	4807,33748	48073,3748	480733,748	5288,07122	48554,1085	481214,481
S	374,933668	3749,33668	37493,3668	412,427034	3786,83004	37530,8601
B	501,252902	5012,52902	50125,2902	551,378192	5062,65431	50175,4154
Cu	31,680831	316,80831	3168,0831	34,8489141	319,976393	3171,25118
Zn	259,446229	2594,46229	25944,6229	285,390852	2620,40691	25970,5675
				47046,8083	431975,239	4281259,55

FLUJO DE ENTRADA	Cantidad Total /HA	UND	Composición	Cantidad /HA/Año/ Componente	Unidad Insumo / Producto/Residuo	Peso Kg/Kg. Mol	Numero de Moles	Exergía específica Exergía KJ/MOL	EXERGIA KJ HA/AÑO
PRODUCCIÓN 17-6-18-2			N (17 %)	255	Kg	28,0134	9,1028	0,72	6,5540
			P ₂ O ₅ (6 %)	90	Kg	141,918	0,6342	382,95	242,8550
			K ₂ O (18 %)	270	Kg	94,1906	2,8665	416,18	1192,9917
			MgO (2 %)	30	Kg	40,299	0,7444	59,1	43,9961
			S (2%)	30	Kg	32,064	0,9356	609,6	570,3593
			B (0,2%)	3	Kg	10,811	0,2775	628,6	174,4334
			Zn (0,2 %)	3	Kg	65,37	0,0459	339,2	15,5668
AGRIMINS		4	N (8 %)	16	Kg	28,0134	0,5712	0,72	0,4112
			P ₂ O ₅ (5 %)	10	Kg	141,918	0,0705	382,95	26,9839
			CaO (18%)	36	Kg	56,074	0,6420	110,2	70,7494
			MgO (6 %)	12	Kg	40,299	0,2978	59,1	17,5985
			S (1,6%)	3,2	Kg	32,064	0,0998	609,6	60,8383
			B (1%)	2	Kg	10,811	0,1850	134,2	24,8266
			Cu (0,75%)	1,5	Kg	63,5	0,0236	134,2	3,1701
			Mo (0,005%)	0,01	Kg	96	0,0001	730,27	0,0761
			Zn (2,5 %)	5	Kg	65,37	0,0765	339,2	25,9446
								2477,3549	

FLUJO DE ENTRADA	Cantidad Total /HA	UND	Poder Calórico Inferior Kj/Kg	EXERGIA KJ/HA/AÑO
			Poder Calórico Inferior KJ/LT	EXERGIA KJ/HA/AÑO
ROUND UP	4	LT	418.000	1.672.000
ELECTRICIDAD DE DESPULPADO	44206,47			44.206
LORSBAN	2	LT	364.000	728.000
DIMETOATO	2	LT	364.000	728.000
GASOLINA ^a	8,16	KG	48.100	392.496
TOTAL				3.567.179,8249

^aPatzek (2010). Thermodynamics of Agricultural Sustainability: the Case of US Maize Agriculture

EXERGIA DEL CAFÉ (KJ)

47462081,25

EXERGIA DE SALIDA

47.462.081

EXERGIA DE CONCENTRACION

INSUMO	ELEMENTO	ESPECIE DE REFERENCIA	Peso Kg/Kg. Mol	Kg del Elemento	noi	ci	Pon(kPa)
FERTILIZANTE PRODUCCIÓN 17-6-18-2	N	N ₂	28	255			7,58E-01
	P ₂ O ₅	HPO ₄	96	39,29	3,40E-05	0,1	
	K (K ₂ O)	K	39,1	224,14	5,40E-04	0,64	
	Mg (MgO)	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	378,9	18	9,60E-04	0,06	
	S	SO ₄	96	30	8,10E-06	0,11	
	B	B(OH) ₃	61,8	3	9,30E-07	1	
	Zn	Zn	65,37	3	1,10E-06	0,2	
AGRIMINS	N	N ₂	28	16			7,58E-01
	P ₂ O ₅	HPO ₄	96	2,18	3,40E-05	0,1	
	CaO	CaCO ₃	100	25,7	1,03E-03	0,01	
	MgO	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	378,9	7,23	9,60E-04	0,06	
	SO ₄	SO ₄	96	1,6	8,10E-06	0,11	
	B	B(OH) ₃	61,8	2	9,30E-07	1	
	Cu	Cu	63,5	1,5	8,70E-07	0,2	
Zn	Zn	65,37	5	1,10E-06	0,2		

EXERGIA DE CONCENTRACION

INSUMO	ELEMENTO	Pn (kPa)	Mo	Zno	(-R)	To (k)	β (Kj/Mol) S.R. solidas	β (KJ/Mol) S.R. Gaseosas
FERTILIZANTE PRODUCCIÓN 17-6-18-2	N	101,325			-8,31E-03	298		12,13
	P ₂ O ₅		135,5	4,61E-04	-8,31E-03	298	19,04	
	K (K ₂ O)		135,5	4,68E-02	-8,31E-03	298	7,58	
	Mg (MgO)		135,5	7,80E-03	-8,31E-03	298	12,02	
	S		135,5	1,21E-04	-8,31E-03	298	22,35	
	B		135,5	1,26E-04	-8,31E-03	298	22,25	
	Zn		135,5	2,98E-05	-8,31E-03	298	25,82	
AGRIMINS	N	101,325			-8,31E-03	298		12,13
	P ₂ O ₅		135,5	4,61E-04	-8,31E-03	298	19,04	
	CaO		135,5	1,40E-03	-8,31E-03	298	16,29	
	MgO		135,5	7,80E-03	-8,31E-03	298	12,02	
	SO ₄		135,5	1,21E-04	-8,31E-03	298	22,35	
	B		135,5	1,26E-04	-8,31E-03	298	22,25	
	Cu		135,5	2,36E-05	-8,31E-03	298	26,40	
Zn		135,5	2,98E-05	-8,31E-03	298	25,82		

EXERGIA DE REACCION

Exergía (KJ/mol) _{a, b}	ΔfG° (kJ/mol)	b° q elto i
0,67		
861,3	-1089,3	856,5352865
236,6	-282,44	
626,1	-5543	1615,744131
609,3	-744,6	751,27
628,5	-968,8	270,9271933
339,2	-147,3	
0,67		
861,3	-1089,3	856,5352865
729,1	-1129	718,99
626,1	-5543	1615,744131
609,3	-744,6	751,27
628,5	-968,8	270,9271933

134,2	65,5
339,2	-147,3

a Recurso: Szargut (1989). Towards an International Reference Environment of Chemical Exergy.

b Desarrollo económico y deterioro ecológico, Naredo, J.M; Valero, A. (1999).

AMBIENTE DE REFERENCIA CONVENCIONAL

FLUJO DE ENTRADA kg	COMPOSICION %	ELEMENTO	ESPECIE DE REFERENCIA	REACCION DEL AMBIENTE DE REFERENCIA
255	17	N	N ₂	$N \rightarrow N_2$
39,29	6	P	HPO ₄	$0,5P_2O_5 + 0,5H_2O + 0,5O_2 = HPO_4$
224,14	18	K	K	$K \rightarrow K$
18	2	Mg	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	$3Mg + 4SiO_2 + 1,5O_2 + H_2O = Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
30	2	S	SO ₄	$S + 2O_2 = SO_4$
3	0,2	B	B(OH) ₃	$B + 1,5 H_2O + 0,75O_2 = B(OH)_3$
3	0,2	Zn	Zn	$Zn \rightarrow Zn$
16	8	N	N ₂	$N \rightarrow N_2$
2,18	5	P	HPO ₄	$0,5P_2O_5 + 0,5H_2O + 0,5O_2 = HPO_4$
25,7	18	Ca	Ca CO ₃	$Ca + CO_2 + 0,5 O_2 \rightarrow Ca CO_3$
7,23	6	Mg	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	$3Mg + 4SiO_2 + 1,5O_2 + H_2O = Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
1,6	1,6	S	SO ₄	$S + 2O_2 = SO_4$
2	1	B	B(OH) ₃	$B + 1,5 H_2O + 0,75O_2 = B(OH)_3$
1,5	0,75	Cu	Cu	$Cu \rightarrow Cu$
5	2,5	Zn	Zn	$Zn \rightarrow Zn$

EXERGIA DE ABATIMIENTO FINCA CONVENCIONAL

ENTRADAS CONTAMINANTES	EXERGIA KJ/HA/AÑO	ESCENARIOS			COSTO TOTAL		
		10 veces	100 veces	1000 veces	10 VECES	100 VECES	1000 VECES
ROUND UP	1672000	16720000	16720000	16720000	18392000	16887200	16736720
LORSBAN	728000	7280000	7280000	72800000	8008000	7352800	72872800
DIMETOATO	728000	7280000	7280000	72800000	8008000	7352800	72872800
GASOLINA	392496	3924960	3924960	39249600	4317456	39642096	392888496
RESIDUOS SOLIDOS Y LIQUIDOS DEL BENEFICIADERO	11401418,5	114014185	1140141850	11401418504	125415603,5	1151543269	11412819923
TOTAL					164627330,7	1511578218	14981087095

FINCA MIXTA TIPO III

Tabla 5-7. Escenario de costos exergéticos, entrada/salida de insumos, entrada/salida de biomasa y entrada/salida beneficios en Finca Mixta Tipo III, dentro de análisis exergo ecológico (2014).

INSUMO	ELEMENTO	CANTIDAD DEL ELEMENTO (Kg/Ha/año)	PESO MOLECULAR (Kg/Mol)	PESO (Mol/Ha/año)	EXERGIA DEL ELEMENTO (KJ/ Mol)	EXERGIA DE REPOSICION (KJ/Ha/ año)
CAL DOLOMITICA	Ca	76,02	40,08	1,896706587	729,1	1382,888772
	Mg	54,65	24,3	2,248971193	626,1	1408,080864
	CO ₂	119,32	43,98	2,713051387	417,7873763	1133,478621
SULCAMAG	P	34	30,97	1,097836616	856,5352865	940,3358005
	Ca	2,86	40,08	0,071357285	723,2591248	51,60980781
	Mg	1,96	24,3	0,080658436	1615,744131	130,323395
FERTILIZANTE PRODUCCIÓN 17-6-18-2	N	255	14	18,21428571	0,72	13,11428571
	P	39,29	30,97	1,268647078	856,5352865	1086,640988
	K	224,14	39,1	5,732480818	11,69	67,01270077
	Mg	18	24,3	0,740740741	1615,744131	1196,847505
	S	30	32,06	0,935745477	751,2733367	703,000627
	B	3	10,81	0,277520814	270,9271933	75,18793523
	Zn	3	65,37	0,045892611	339,2	15,56677375
	N	8	14	0,571428571	0,72	0,411428571
AGRIMINS	P	1,09	30,97	0,03519535	856,5352865	30,14605949
	Ca	12,85	40,08	0,320608782	11,69	3,747916667
	Mg	3,615	24,3	0,148765432	1615,744131	240,3668739
	S	0,8	32,06	0,024953213	751,2733367	18,74668339
	B	1	10,81	0,092506938	270,9271933	25,06264508
	Cu	0,75	63,54	0,011803588	134,2	1,584041549
	Zn	2,5	65,37	0,038243843	339,2	12,97231146
						TOTAL

INSUMO	ELEMENTO	ESCENARIO DE COSTOS DE REPOSICION TECNOLÓGICA			COSTO TOTAL		
		10 VECES	100 VECES	1000 VECES	10 VECES	100 VECES	1000 VECES
CAL DOLOMITICA	Ca	13828,8877	138288,877	1382888,77	15211,7765	139671,766	1384271,66
	Mg	14080,8086	140808,086	1408080,86	15488,8895	142216,167	1409488,95
	CO ₂	11334,7862	113347,862	1133478,62	12468,2648	114481,341	1134612,1
SULCAMAG	P	9403,35801	94033,5801	940335,801	10343,6938	94973,9159	941276,136
	Ca	516,098078	5160,98078	51609,8078	567,707886	5212,59059	51661,4176
	Mg	1303,23395	13032,3395	130323,395	1433,55734	13162,6629	130453,718
FERTILIZANTE PRODUCCIÓN 17-6-18-2	N	131,142857	1311,42857	13114,2857	144,257143	1324,54286	13127,4
	P	10866,4099	108664,099	1086640,99	11953,0509	109750,74	1087727,63
	K	670,127008	6701,27008	67012,7008	737,139708	6768,28278	67079,7135
	Mg	11968,475	119684,75	1196847,5	13165,3226	120881,598	1198044,35
	S	7030,00627	70300,0627	703000,627	7733,0069	71003,0633	703703,628
	B	751,879352	7518,79352	75187,9352	827,067288	7593,98146	75263,1232
	Zn	155,667737	1556,67737	15566,7737	171,234511	1572,24415	15582,3405
	N	4,11428571	41,1428571	411,428571	4,52571429	41,5542857	411,84
AGRIMINS	P	301,460595	3014,60595	30146,0595	331,606654	3044,75201	30176,2055
	Ca	37,4791667	374,791667	3747,91667	41,2270833	378,539583	3751,66458
	Mg	2403,66874	24036,6874	240366,874	2644,03561	24277,0543	240607,241
	S	187,466834	1874,66834	18746,6834	206,213517	1893,41502	18765,4301
	B	250,626451	2506,26451	25062,6451	275,689096	2531,32715	25087,7077
	Cu	15,8404155	158,404155	1584,04155	17,424457	159,988196	1585,62559
	Zn	129,723115	1297,23115	12972,3115	142,695426	1310,20346	12985,2838
						93908,3864	862249,73

FLUJO DE ENTRADA	Cantidad Total /HA	UND	Composición	Cantidad /HA/Año/ Componente	Unidad Insumo / Producto /Residuo	Peso Kg/Kg.Mol	Numero de Moles	Exergía específica a Exergía KJ/MOL	EXERGIA KJ HA/AÑO
PRODUCCIÓN 17-6-18-2			N (17 %)	255	Kg	28,0134	9,1028	0,72	6,5540
			P ₂ O ₅ (6 %)	90	Kg	141,918	0,6342	382,95	242,8550
			K ₂ O (18 %)	270	Kg	94,1906	2,8665	416,18	1192,9917
			MgO (2 %)	30	Kg	40,299	0,7444	59,1	43,9961
			S (2%)	30	Kg	32,064	0,9356	609,6	570,3593
			B (0,2%)	3	Kg	10,811	0,2775	628,6	174,4334
			Zn (0,2 %)	3	Kg	65,37	0,0459	339,2	15,5668
								0,0000	
CAL DOLOMÍTICA			MgCa(CO ₃) ₂	250	Kg	184,411	1,3557	15,1	20,4706
SULCAMAG			P ₂ O ₅ (24%)	78	Kg	141,918	0,5496	59,79	32,8614
			CaSO ₄ (3%)	9,75	Kg	136,12	0,0716	8,2	0,5873
			MgSO ₄ (21%)	9,75	Kg	120,352	0,0810	73	5,9139
								0,0000	
AGRIMINS		2	N (8 %)	8	Kg	28,0134	0,2856	0,72	0,2056
			P ₂ O ₅ (5 %)	5	Kg	141,918	0,0352	382,95	13,4919
			CaO (18%)	18	Kg	56,074	0,3210	110,2	35,3747
			MgO (6 %)	6	Kg	40,299	0,1489	59,1	8,7992
			S (1,6%)	1,6	Kg	32,064	0,0499	609,6	30,4192
			B (1%)	1	Kg	10,811	0,0925	134,2	12,4133
			Cu (0,75%)	0,75	Kg	63,5	0,0118	134,2	1,5850
			Mo (0,005%)	0,005	Kg	96	0,0001	730,27	0,0380
		Zn (2,5 %)	2,5	Kg	65,37	0,0382	339,2	12,9723	
SUTOTAL INSUMOS									2421,8888

FLUJO DE ENTRADA	Cantidad Total /HA	UND	Poder Calórico Inferior Kj/Kg	EXERGIA KJ/HA/AÑO
			Poder Calórico Inferior KJ/LT	EXERGIA KJ/HA/AÑO
ELECTRICIDAD DE SECADO	36450	KJ*		36450
ELECTRICIDAD DE DESPULPADO	53034,75	KJ*		53034,75
COMBUSTIBLE CASCARILLA	367,2	KG	17912	6577286,4
ROUND UP	4	LT	418.000	1.672.000
LORBAN	2	LT	364.000	728.000
DIMETOATO	2	LT	364.000	728.000
GASOLINA ^a	8,16	KG	48.100	392.496
TOTAL				10.189.689,0388

^aPatzek (2010). Thermodynamics of Agricultural Sustainability: the Case of US Maize Agriculture

EXERGIA DEL CAFÉ (KJ)

56954497,5

EXERGIA DE SALIDA

56954497,5

EXERGIA DE CONCENTRACION

INSUMO	ELEMENTO	ESPECIE DE REFERENCIA	Peso Kg/Kg.Mol	Kg del Elemento	noi	ci	Pon(kPa)
--------	----------	-----------------------	----------------	-----------------	-----	----	----------

FERTILIZANTE PRODUCCIÓN 17-6-18-2	N	N ₂	28	255		7,58E-01
	P ₂ O ₅	HPO ₄	96	39,29	3,40E-05	0,1
	K (K ₂ O)	K	39,1	224,14	5,40E-04	0,64
	Mg (MgO)	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	378,9	18	9,60E-04	0,06
	S	SO ₄	96	30	8,10E-06	0,11
	B	B(OH) ₃	61,8	3	9,30E-07	1
	Zn	Zn	65,37	3	1,10E-06	0,2
CAL DOLOMITICA	Ca	Ca CO ₃	100	76,02	1,03E-03	0,01
	Mg (MgO)	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	378,9	54,65	9,60E-04	0,06
	C	CO ₂	44	119,32		3,35E-04
	O	O ₂	32			2,04E-01
SULCAMAG	P ₂ O ₅	HPO ₄	96	34	3,40E-05	0,1
	CaSO ₄	Ca (CaCO ₃)	100	2,86	1,03E-03	0,01
		SO ₄	96		8,10E-06	0,11
	MgSO ₄	Mg (Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂)	378,9	1,96	9,60E-04	0,06
		SO ₄	96		8,10E-06	0,11
AGRIMINS	N	N ₂	28	8		7,58E-01
	P ₂ O ₅	HPO ₄	96	1,09	3,40E-05	0,1
	CaO	CaCO ₃	100	12,85	1,03E-03	0,01
	MgO	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	378,9	3,615	9,60E-04	0,06
	SO ₄	SO ₄	96	0,8	8,10E-06	0,11
	B	B(OH) ₃	61,8	1	9,30E-07	1
	Cu	Cu	63,5	0,75	8,70E-07	0,2
	Zn	Zn	65,37	2,5	1,10E-06	0,2

EXERGIA DE CONCENTRACION

INSUMO	ELEMENTO	Pn (kPa)	Mo	Zno	(-R)	To (k)	β (Kj/Mol) S.R. solidas	β (Kj/Mol) S.R. Gaseosas
FERTILIZANTE PRODUCCIÓN 17-6-18-2	N	101,325			-8,31E-03	298		12,13
	P ₂ O ₅		135,5	4,61E-04	-8,31E-03	298	19,04	
	K (K ₂ O)		135,5	4,68E-02	-8,31E-03	298	7,58	
	Mg (MgO)		135,5	7,80E-03	-8,31E-03	298	12,02	
	S		135,5	1,21E-04	-8,31E-03	298	22,35	
	B		135,5	1,26E-04	-8,31E-03	298	22,25	
	Zn		135,5	2,98E-05	-8,31E-03	298	25,82	
CAL DOLOMITICA	Ca		135,5	1,40E-03	-8,31E-03	298	16,29	
	Mg (MgO)		135,5	7,80E-03	-8,31E-03	298	12,02	
	C	101,325			-8,31E-03	298		31,27
	O	101,325			-8,31E-03	298		15,38
SULCAMAG	P ₂ O ₅		135,5	4,61E-04	-8,31E-03	298	19,04	
	CaSO ₄		135,5	1,40E-03	-8,31E-03	298	16,29	
			135,5	1,21E-04	-8,31E-03	298	22,35	
	MgSO ₄		135,5	7,80E-03	-8,31E-03	298	12,02	
		135,5	1,21E-04	-8,31E-03	298	22,35		
AGRIMINS	N	101,325			-8,31E-03	298		12,13
	P ₂ O ₅		135,5	4,61E-04	-8,31E-03	298	19,04	
	CaO		135,5	1,40E-03	-8,31E-03	298	16,29	
	MgO		135,5	7,80E-03	-8,31E-03	298	12,02	
	SO ₄		135,5	1,21E-04	-8,31E-03	298	22,35	
	B		135,5	1,26E-04	-8,31E-03	298	22,25	
	Cu		135,5	2,36E-05	-8,31E-03	298	26,40	
	Zn		135,5	2,98E-05	-8,31E-03	298	25,82	

EXERGIA DE REACCION			
Exergia (Kj/mol) <i>a, b</i>	ΔfG° (Kj/mol)	$b^\circ q$ elto i	$b^\circ q$ mineral
0,67			
861,3	-1089,3	856,535287	
236,6	-282,44		
626,1	-5543	1615,74413	
609,3	-744,6	751,27	
628,5	-968,8	270,927193	
339,2	-147,3		
729,1		729,10	
626,1		626,1	
410,26	-2163,6		35,94
3,97			
861,3	-1089,3	856,535287	
729,1	-1129	723,26	
609,3	-744,6	751,27	
626,1	-5543	1615,74413	
609,3	-744,6	751,27	
0,67			
861,3	-1089,3	856,535287	
729,1	-1129	718,99	
626,1	-5543	1615,74413	
609,3	-744,6	751,27	
628,5	-968,8	270,927193	
134,2	65,5		
339,2	-147,3		

a Recurso: Szargut (1989) . Towards an International Reference Enviroment of Chemical Exergy.
b Desarrollo economico y deterioro ecologico, Naredo, J.M; Valero, A. (1999).

AMBIENTE DE REFERENCIA MIXTO				
FLUJO DE ENTRADA kg	COMPOSICION %	ELEMENTO	ESPECIE DE REFERENCIA	REACCION DEL AMBIENTE DE REFERENCIA
255	17	N	N ₂	$N \rightarrow N_2$
39,29	6	P	HPO ₄	$0,5P_2O_5+0,5H_2O+0,5O_2=HPO_4$
224,14	18	K	K	$K \rightarrow K$
18	2	Mg	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	$3Mg + 4SiO_2+1,5O_2 + H_2o = Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
30	2	S	SO ₄	$S + 2O_2 = SO_4$
3	0,2	B	B(OH) ₃	$B + 1,5 H_2o + 0,75O_2= B(OH)_3$
3	0,2	Zn	Zn	$Zn \rightarrow Zn$
76,02	30,41	Ca	Ca CO ₃	$Mg + Ca + CO_2 + 2O_2 \rightarrow MgCO_3. CaCO_3$
54,65	21,86	Mg	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	
119,32	47,73	C	CO ₂	
		O	O ₂	
34	24	P	HPO ₄	$0,5P_2O_5+0,5H_2O+0,5O_2=HPO_4$
2,86	3	Ca	Ca CO ₃	$Ca + CO_2 + 0,5 O_2 \rightarrow Ca CO_3$
1,96	21	Mg	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	$3Mg + 4SiO_2+1,5O_2 + H_2o = Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
8	8	N	N ₂	$N \rightarrow N_2$
1,09	5	P	HPO ₄	$0,5P_2O_5+0,5H_2O+0,5O_2=HPO_4$
12,85	18	Ca	Ca CO ₃	$Ca + CO_2 + 0,5 O_2 \rightarrow Ca CO_3$

3,615	6	Mg	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	3Mg + 4SiO ₂ +1,5O ₂ + H ₂ O = Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂
0,8	1,6	S	SO ₄	S + 2O ₂ = SO ₄
1	1	B	B(OH) ₃	B + 1,5 H ₂ O + 0,75O ₂ = B(OH) ₃
0,75	0,75	Cu	Cu	Cu → Cu
2,5	2,5	Zn	Zn	

Zn → Zn

EXERGIA DE ABATIMIENTO FINCA MIXTA

ENTRADAS CONTAMINANTES	EXERGIA KJ/HA/AÑO	ESCENARIOS			COSTO TOTAL		
		10 veces	100 veces	1000 veces	10 VECES	100 VECES	1000 VECES
ROUND UP	1672000	167200000	1672000000	16720000000	18392000	168872000	1673672000
LORSBAN	728000	72800000	728000000	7280000000	8008000	73528000	728728000
DIMETOATO	728000	72800000	728000000	7280000000	8008000	73528000	728728000
GASOLINA	392496	3924960	39249600	392496000	4317456	39642096	392888496
ELECTRICIDAD	36450	364500	3645000	36450000	400950	3681450	36486450
COMBUSTIBLE CASCARILLA	6577286,4	65772864	657728640	6577286400	72350150,4	664305926,4	6583863686
RESIDUOS SOLIDOS Y LIQUIDOS DEL BENEFICIADERO	13681329,15	136813291,5	1368132915	13681329153	150494620,7	1381814244	13695010482
TOTAL					262554559,3	2410728227	23892464899

FINCA ORGANICA TIPO II

Tabla 5-8. Escenario de costos exergéticos, entrada/salida de insumos, entrada/salida de biomasa y entrada/salida beneficios en Finca Orgánica Tipo II, dentro de análisis exergo ecológico (2014).

INSUMO	ELEMENTO	CANTIDAD DEL ELEMENTO (Kg/Ha/año)	PESO MOLECULAR (Kg/Mol)	PESO (Mol/Ha/año)	EXERGIA DEL ELEMENTO (KJ/ Mol)	EXERGIA DE REPOSICION (KJ/Ha/ año)
CAL DOLOMITICA	Ca	76,02	40,08	1,896706587	729,1	1382,888772
	Mg	54,65	24,3	2,248971193	626,1	1408,080864
	CO ₂	119,32	43,98	2,713051387	417,7873763	1133,478621
SULCAMAG	P	34	30,97	1,097836616	856,5352865	940,3358005
	Ca	2,86	40,08	0,071357285	723,2591248	51,60980781
	Mg	1,96	24,3	0,080658436	1615,744131	130,323395
GALLINAZA	C	1350	12,01	112,4063281	417,7873763	46961,94488
	N	91,5	14	6,535714286	0,72	4,705714286
	P	64	30,97	2,066515983	856,5352865	1770,04386
	K	63,5	39,1	1,624040921	11,69	18,98503836

	Ca	133,9	40,08	3,340818363	723,2591248	2416,277365
	Mg	22,61	24,31	0,93006993	1615,744131	1502,755031
FUNGICIDA CUPRICO	Cu	0,088	63,54	0,001384954	134,2	0,185860875
	S	0,044	32,06	0,001372427	751,2733367	1,031067586
FERTILIZANTE ORGANICO - MINERAL	N	91,5	14	6,535714286	0,72	4,705714286
	P	32	30,97	1,033257992	856,5352865	885,0219299
	K	63,5	39,1	1,624040921	11,69	18,98503836
	TOTAL					58631,35876

ESCENARIO DE COSTOS DE REPOSICION TECNOLÓGICA					COSTO TOTAL		
INSUMO	ELEMENTO	10 VECES	100 VECES	1000 VECES	10 VECES	100 VECES	1000 VECES
CAL DOLOMITICA	Ca	13828,88772	138288,8772	1382888,772	15211,7765	139671,766	1384271,661
	Mg	14080,80864	140808,0864	1408080,864	15488,88951	142216,1673	1409488,945
	CO ₂	11334,78621	113347,8621	1133478,621	12468,26483	114481,3407	1134612,099
SULCAMAG	P	9403,358005	94033,58005	940335,8005	10343,69381	94973,91585	941276,1363
	Ca	516,0980781	5160,980781	51609,80781	567,7078859	5212,590588	51661,41761
	Mg	1303,23395	13032,3395	130323,395	1433,557344	13162,66289	130453,7183
GALLINAZA	C	469619,4488	4696194,488	46961944,88	516581,3936	4743156,433	47008906,82
	N	47,05714286	470,5714286	4705,714286	51,76285714	475,2771429	4710,42
	P	17700,4386	177004,386	1770043,86	19470,48246	178774,4298	1771813,904
	K	189,8503836	1898,503836	18985,03836	208,835422	1917,488875	19004,0234
	Ca	24162,77365	241627,7365	2416277,365	26579,05102	244044,0139	2418693,643
	Mg	15027,55031	150275,5031	1502755,031	16530,30534	151778,2582	1504257,786
FUNGICIDA CUPRICO	Cu	1,85860875	18,5860875	185,860875	2,044469625	18,77194838	186,0467359
	S	10,31067586	103,1067586	1031,067586	11,34174345	104,1378262	1032,098654
FERTILIZANTE ORGANICO - MINERAL	N	47,05714286	470,5714286	4705,714286	51,76285714	475,2771429	4710,42
	P	8850,219299	88502,19299	885021,9299	9735,241229	89387,21492	885906,9518
	K	189,8503836	1898,503836	18985,03836	208,835422	1917,488875	19004,0234
					644944,9463	5921767,234	58689990,12

FLUJO DE ENTRADA	Cantidad Total /HA	UND	Composición	Cantidad /HA/Año/ Componente	Unidad Insumo / Producto / Residuo	Peso Kg/kg. Mol	Numero de Moles	Exergía específica Exergía KJ/MOL	EXERGIA KJ/HA/año
CAL DOLOMITICA	5	Bultos (50 Kg)	MgCa(CO ₃) ₂	250	Kg	184,411	1,3557	15,1	20,4706
GALLINAZA	150	Bultos (50 Kg)	C (18%)	1350	Kg	12,01115	112,3956	410,26	46111,4048
			N (1,22%)	91,5	Kg	28,0134	3,2663	0,72	2,3517
			P ₂₀₅ (1,96%)	147	Kg	141,918	1,0358	59,79	61,9310
			K ₂ O (2,04%)	153	Kg	94,1906	1,6244	416,18	676,0286
			CaO (2,5%)	187,5	Kg	56,074	3,3438	110,2	368,4863
SULCAMAG	6,5	Bultos (50 Kg)	MgO (0,5%)	37,5	Kg	40,299	0,9305	59,1	54,9952
			P ₂₀₅ (24%)	78	Kg	141,918	0,5496	59,79	32,8614
			CaSO ₄ (3%)	9,75	Kg	136,12	0,0716	8,2	0,5873
FERTILIZANTE ORGANICO - MINERAL	12	Bultos (50 Kg)	MgSO ₄ (21%)	9,75	Kg	120,352	0,0810	73	5,9139
			N (1,22%)	91,5	Kg	28,0134	3,2663	0,72	2,3517
			P ₂₀₅ (1,96%)	147	Kg	141,918	1,0358	59,79	61,9310
FUNGICIDA CUPRICO	1	Litro	K ₂ O (2,04%)	153	Kg	94,1906	1,6244	416,18	676,0286
SUTOTAL INSUMOS			CuSO ₄ (22%)	0,22	Kg	159,6016	0,0014	89,8	0,1238
									48.075,4660

FLUJO DE ENTRADA	Cantidad Total /HA	UND	Poder Calórico Inferior KJ/Kg	EXERGIA KJ/HA/AÑO
			Poder Calórico Inferior KJ/LT	EXERGIA KJ/HA/AÑO
ELECTRICIDAD DE DESPULPADO	26325	KJ*		26325
GASOLINA ^a	8,16	KG	48.100	392.496
TOTAL				418.821,0000

^aPatzek (2010). Thermodynamics of Agricultural Sustainability: the Case of US Maize Agriculture

EXERGIA DEL CAFÉ (KJ)

28477248,75

EXERGIA DE SALIDA

28477248,75

ELEMENTO	ELEMENTO	ESPECIE DE REFERENCIA	Peso Kg/Kg. Mol	Kg del Elemento	noi	ci	Pon(kPa)
CAL DOLOMITICA	Ca	Ca CO ₃	100	76,02	1,03E-03	0,01	
	Mg (MgO)	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	378,9	54,65	9,60E-04	0,06	
	C	CO ₂	44	119,32			3,35E-04
	O	O ₂	32				2,04E-01
SULCAMAG	P ₂ O ₅	HPO ₄	96	34	3,40E-05	0,1	
	CaSO ₄	Ca (CaCO ₃)	100	2,86	1,03E-03	0,01	
		SO ₄	96		8,10E-06	0,11	
	MgSO ₄	Mg (Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂)	378,9	1,96	9,60E-04	0,06	
		SO ₄	96		8,10E-06	0,11	
GALLINAZA	C (18%)	CO ₂	44	1350			3,35E-04
	N (1,22%)	N ₂	28	91,5			7,58E-01
	P ₂ O ₅ (1,96%)	HPO ₄	96	64	3,40E-05	0,1	
	K ₂ O (2,04%)	K	39,1	63,5	5,40E-04	0,64	
	CaO (2,5%)	Ca (CaCO ₃)	100	133,9	1,03E-03	0,01	
	MgO (0,5%)	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	378,9	22,61	9,60E-04	0,06	
FUNGICIDA CUPRICO	CuSO ₄	Cu	63,5	0,088	8,70E-07	0,2	
		SO ₄	96	0,044	8,10E-06	0,11	
FERTILIZANTE ORGANICO - MINERAL	N (1,22%)	N ₂	28	91,5			7,58E-01
	P ₂ O ₅ (1,96%)	HPO ₄	96	32	3,40E-05	0,1	
	K ₂ O (2,04%)	K	39,1	63,5	5,40E-04	0,64	

ELEMENTO	Pn (kPa)	Mo	Zno	(-R)	To (k)	β (Kj/Mol) S.R. solidas	β (Kj/Mol) S.R. Gaseosas
CAL DOLOMITICA		135,5	1,40E-03	-8,31E-03	298	16,29	
		135,5	7,80E-03	-8,31E-03	298	12,02	
	101,325			-8,31E-03	298		31,27
	101,325			-8,31E-03	298		15,38
SULCAMAG		135,5	4,61E-04	-8,31E-03	298	19,04	
		135,5	1,40E-03	-8,31E-03	298	16,29	
		135,5	1,21E-04	-8,31E-03	298	22,35	
		135,5	7,80E-03	-8,31E-03	298	12,02	
		135,5	1,21E-04	-8,31E-03	298	22,35	
GALLINAZA	101,325			-8,31E-03	298		31,27
	101,325			-8,31E-03	298		12,13
		135,5	4,61E-04	-8,31E-03	298	19,04	

		135,5	4,68E-02	-8,31E-03	298	7,58
		135,5	1,40E-03	-8,31E-03	298	16,29
		135,5	7,80E-03	-8,31E-03	298	12,02
FUNGICIDA		135,5	2,36E-05	-8,31E-03	298	26,40
CUPRICO		135,5	1,21E-04	-8,31E-03	298	22,35
FERTILIZANTE	101,325			-8,31E-03	298	12,13
ORGANICO -		135,5	4,61E-04	-8,31E-03	298	19,04
MINERAL		135,5	4,68E-02	-8,31E-03	298	7,58

EXERGIA DE REACCION

Exergia (Kj/mol) <i>a, b</i>	ΔfG° (kJ/mol)	$b^\circ q$ elto i	$b^\circ q$ mineral
729,1		729,10	
626,1		626,1	
410,26	-2163,6		35,94
3,97			
861,3	-1089,3	856,535287	
729,1	-1129	723,26	
609,3	-744,6	751,27	
626,1	-5543	1615,74413	
609,3	-744,6	751,27	
410,26	-394,36	417,787376	
0,67			
861,3	-1089,3	856,535287	
236,6	-282,44		
729,1	-1129	723,26	
626,1	-5543	1615,74413	
134,2	65,5		
609,3	-744,6	751,27	
0,67			
861,3	-1089,3	856,535287	
236,6	-282,44		

a Recurso: Szargut (1989) . Towards an International Reference Enviroment of Chemical Exergy.

b Desarrollo economico y deterioro ecologico, Naredo, J.M; Valero, A. (1999).

AMBIENTE DE REFERENCIA ORGANICO

FLUJO DE ENTRADA DEL ELEMENTO kg	COMPOSICION %	ELEMENTO	ESPECIE DE REFERENCIA	REACCION DEL AMBIENTE DE REFERENCIA
76,02	30,41	Ca	Ca CO ₃	
54,65	21,86	Mg	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	Mg + Ca + CO ₂ + 2O ₂ → MgCO ₃ . CaCO ₃
119,32	47,73	C	CO ₂	
		O	O ₂	
34	24	P	HPO ₄	0,5P ₂ O ₅ +0,5H ₂ O+0,5O ₂ =HPO ₄
2,86	3	Ca	Ca CO ₃	Ca + CO ₂ + 0,5 O ₂ → Ca CO ₃
1,96	21	Mg	Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂	3Mg + 4SiO ₂ +1,5O ₂ + H ₂ O = Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂
1350	18	C	CO ₂	C + O ₂ → CO ₂
91,5	1,22	N	N ₂	N → N ₂
64	1,96	P	HPO ₄	0,5P ₂ O ₅ +0,5H ₂ O+0,5O ₂ =HPO ₄
63,5	2,04	K	K	K → K
133,9	2,5	Ca	Ca CO ₃	Ca + CO ₂ + 0,5 O ₂ → Ca CO ₃

22,61	0,5	Mg	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$	$3Mg + 4SiO_2 + 1,5O_2 + H_2O = Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$
0,088	22 /Lt	Cu	Cu	$Cu \rightarrow Cu$
0,044		S	SO_4	$S + 2O_2 = SO_4$
91,5	1,22	N	N_2	$N \rightarrow N_2$
32	1,96	P	HPO_4	$0,5P_2O_5 + 0,5H_2O + 0,5O_2 = HPO_4$
63,5	2,04	K	K	$K \rightarrow K$

C. Anexo: análisis de suelos sistemas



ANALISIS DE SUELOS
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN AGRICULTURA
 Cra 10 sur (Av. Mirolindo) No 71-149 Z. Industrial El papayo
 Telefonos: 57-8-2646844
 Ibagué-Tolima, Colombia



www.scdecolombia.com
info@scdecolombia.com

Usuario:	SEÑOR COCA	Municipio:	LIBANO
Finca:	SAN FELIPE	Departamento:	TOLIMA
Lote:	COCA	Cultivo:	CAFÉ
Vereda:		Edad:	
E.Cultivo:		No Muestra:	8118
ZONA No 1			

Fecha de Entrega: 14 de mayo de 2014

PROPIEDADES			
ELEMENTO	RESULTADO	ELEMENTO	RESULTADO
Arena	66,2%	M.O	4,25%
Limos	17,0%	D.Apa	0,94 gr/cc
Arcilla	16,8%	PH	5,55
Textura	Franco Arenoso	C.E	294,9 us/cm
		C.I.C.E	4,7 cmol/kg
		C.O	2,47%

SATURACIONES		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Calcio (Ca)	67,16 %	40 - 50
Magnesio (Mg)	9,59 %	10,0 - 15,0
Potasio(K)	20,04 %	2,0 - 4,0
Sodio(Na)	3,20 %	—
Aluminio (Al)	0,00 %	< 40

ELEMENTOS

MAYORES		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Nitrogeno(N)	%	—
Fosforo(P)	10,82 mg/kg	15 - 40
Potasio(K)	0,94 cmol/kg	0,20 - 0,60
Calcio(Ca)	3,15 cmol/kg	5,0 - 10,0
Magnesio(Mg)	0,45 cmol/kg	1,0 - 2,0
Azufre(S)	18,36 mg/kg	5,0 - 10,0

MENORES		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Boro(B)	0,27 mg/kg	0,20 - 0,40
Zinc(Zn)	8,08 mg/kg	3,0 - 6,0
Hierro(Fe)	56,74 mg/kg	10,0 - 50,0
Sodio(Na)	0,15 cmol/kg	—
Manganeso(Mn)	112,3 mg/kg	5,0 - 50,0
Cobre(Cu)	0,59 mg/kg	1,0 - 4,0
Silicio(Si)	meg/100gr	N.R
Al+H	0,00 cmol/kg	Al+3 0,00 cmol/kg

RELACIONES IONICAS		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Ca+Mg/K:	3,83	20,0 - 40,0
Ca/Mg:	7,00	3,0 - 6,0
Ca/K:	3,35	15,0-30,0
Mg/K:	0,48	8,0-10,0
Ca/B:	2333,3	1000,0-2000,0
Fe/Mn:	0,51	5,0 - 10,0
P/Zn:	1,34	10,0 - 10,0

FACTORES DE CONVERSION	
1 cmol/kg CaO=	286 ppm Ca = 286 Kg Ca / Ha.
1 cmol/kg K ₂ O=	162 ppm K = 162 Kg K / Ha.
1 cmol/Kg MgO=	144 ppm Mg = 144 Kg Mg / Ha.
1 cmol/Kg Na ₂ O=	85 ppm Na = 85 Kg Na / Ha.

METODOS DE ANALISIS
 PH: potenciómetro, relación suelo-agua(1:1)

M.O: Mat. Organica-Walkey Black P:
 Fosforo Disponible pH ≤ 6,0 Bray II
 S: Azufre disponible Fosfato Monocalcico Al+H:
 Acidez Intercambiable-KCl 1 N.

Bases de Cambio: Acetato de amonio 1M, pH:7.0 ;Absorción atómica
 CICE:Capacidad de intercambio catiónico:Suma de Bases
 Menores: Mehlich-DTPA; Absorción Atómica
 B.: Boro, Agua caliente Azometino H.
 C.E.: Conductividad Eléctrica: Conductimétrico-Pasta Saturada

Director de Laboratorio
DANIEL BOTERO GOMEZ

Director de Producción



ANALISIS DE SUELOS
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN AGRICULTURA
 Cra 10 sur (Av. Mirobindo) No 71-149 Z. Industrial El papayo
 Telefonos: 57-8-2646844
 Ibaguè-Tolima, Colombia



www.scdecolombia.com
info@scdecolombia.com

Usuario: ALEXIS RODRIGUEZ	Municipio: LIBANO
Finca: EL TRIUNFO	Departamento: TOLIMA
Lote: LA GRANJA	Cultivo: CAFÉ
Vereda:	Edad:
E.Cultivo:	No Muestra: 8117
ZONA No 1	

Fecha de Entrega: 14 de mayo de 2014

PROPIEDADES			
ELEMENTO	RESULTADO	ELEMENTO	RESULTADO
Arena	63,2%	M.O	11,4 %
Limos	21,0%	D.Apa	0,88 gr/cc
Arcilla	15,8%	PH	5,65
Textura Franco Arenoso		C.E	251,4 us/cm
		C.I.C.E	4,5 cmol/kg
		C.O	2,77%

SATURACIONES		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Calcio (Ca)	64,67 %	40 - 50
Magnesio (Mg)	8,89 %	10,0 - 15,0
Potasio(K)	23,56 %	2,0 - 4,0
Sodio(Na)	2,89 %	—
Aluminio (Al)	0,00 %	< 40

ELEMENTOS

MAYORES		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Nitrogeno(N)	%	—
Fosforo(P)	18,48 mg/kg	15 - 40
Potasio(K)	1,06 cmol/kg	0,20 - 0,60
Calcio(Ca)	2,91 cmol/kg	5,0 - 10,0
Magnesio(Mg)	0,40 cmol/kg	1,0 - 2,0
Azufre(S)	6,49 mg/kg	5,0 - 10,0

MENORES		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Boro(B)	0,16 mg/kg	0,20 - 0,40
Zinc(Zn)	4,07 mg/kg	3,0 - 6,0
Hierro(Fe)	2,15 mg/kg	10,0 - 50,0
Sodio(Na)	0,13 cmol/kg	—
Manganeso(Mn)	98,58 mg/kg	5,0 - 50,0
Cobre(Cu)	0,07 mg/kg	1,0 - 4,0
Silicio(Si)	meg/100gr	N.R
Al+H	0,00 cmol/kg	Al+3 0,00 cmol/kg

RELACIONES IONICAS		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Ca+Mg/K:	3,12	20,0 - 40,0
Ca/Mg:	7,28	3,0 - 6,0
Ca/K:	2,75	15,0-30,0
Mg/K:	0,38	8,0-10,0
Ca/B:	3637,5	1000,0-2000,0
Fe/Mn:	0,02	5,0 - 10,0
P/Zn:	4,54	10,0 - 10,0

FACTORES DE CONVERSION	
1 cmol/kg CaO=	286 ppm Ca = 286 Kg Ca / Ha.
1 cmol/kg K ₂ O=	162 ppm K = 162 Kg K / Ha.
1 cmol/Kg MgO=	144 ppm Mg = 144 Kg Mg / Ha.
1 cmol/Kg Na ₂ O=	85 ppm Na = 85 Kg Na / Ha.

METODOS DE ANALISIS

PH: potenciometro, relación suelo-agua(1:1)

M.O: Mat. Organica-Walkey Black P:
 Fosforo Disponible pH ≤ 6,0 Bray II
 S: Azufre disponible Fosfato Monocalcico Al+H:
 Acidez Intercambiable-KCl 1 N.

Bases de Cambio: Acetato de amonio 1M, pH:7.0 ;Absorción atómica

CICE:Capacidad de intercambio cationico:Suma de Bases

Menores: Mehlich-DTPA; Absorción Atómica

B.: Boro, Agua caliente Azometino H.

C.E.: Conductividad Eléctrica: Conductimétrico-Pasta Saturada

Director de Laboratorio

DANIEL BOTERO GOMEZ

Director de Producción

**ANÁLISIS DE SUELOS**

LABORATORIO ESPECIALIZADO EN AGRICULTURA
Cra 10 sur (Av. Mirolindo) No 71-149 Z. Industrial El papayo
Teléfonos: 57-8-2646844
Ibagué-Tolima, Colombia



www.scdecolombia.com
info@scdecolombia.com

Usuario: OMAR ARANGO	Municipio: LIBANO
Finca: SAN LUIS	Departamento: TOLIMA
Lote: EL AMOR	Cultivo: CAFÉ
Vereda:	Edad:
E.Cultivo:	No Muestra: 8321
ZONA No 1	

Fecha de Entrega: 14 de mayo de 2014

PROPIEDADES				SATURACIONES		
ELEMENTO	RESULTADO	ELEMENTO	RESULTADO	ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Arena	66,5%	M.O	18,5 %	Calcio (Ca)	47,68 %	40 - 50
Limos	21,0%	D.Apa	0,94 gr/cc	Magnesio (Mg)	10,97 %	10,0 - 15,0
Arcilla	12,5%	PH	5,32	Potasio(K)	20,25 %	2,0 - 4,0
Textura	Franco Arenoso	C.E	99,82 us/cm	Sodio(Na)	9,70 %	—
		C.I.C.E	2,4 cmol/kg	Aluminio (Al)	7,17 %	< 40
		C.O	3,94%			

ELEMENTOS					
MAYORES			MENORES		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO	ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Nitrogeno(N)	%	—	Boro(B)	0,24 mg/kg	0,20 - 0,40
Fosforo(P)	17,34 mg/kg	15 - 40	Zinc(Zn)	3,92 mg/kg	3,0 - 6,0
Potasio(K)	0,48 cmol/kg	0,20 - 0,60	Hierro(Fe)	2,80 mg/kg	10,0 - 50,0
Calcio(Ca)	1,13 cmol/kg	5,0 - 10,0	Sodio(Na)	0,23 cmol/kg	—
Magnesio(Mg)	0,26 cmol/kg	1,0 - 2,0	Manganeso(Mn)	47,89 mg/kg	5,0 - 50,0
Azufre(S)	35,61 mg/kg	5,0 - 10,0	Cobre(Cu)	0,24 mg/kg	1,0 - 4,0
			Silicio(Si)	meg/100gr	N.R
			Al+H	0,27 cmol/kg	
			Al+3	0,17 cmol/kg	

RELACIONES IONICAS		
ELEMENTO	RESULTADO	OPTIMO
Ca+Mg/K:	2,90	20,0 - 40,0
Ca/Mg:	4,35	3,0 - 6,0
Ca/K:	2,35	15,0-30,0
Mg/K:	0,54	8,0-10,0
Ca/B:	941,7	1000,0-2000,0
Fe/Mn:	0,06	5,0 - 10,0
P/Zn:	4,42	10,0 - 10,0

FACTORES DE CONVERSION

1 cmol/kg CaO= 286 ppm Ca = 286 Kg Ca / Ha.

1 cmol/kg K₂O= 162 ppm K = 162 Kg K / Ha.

1 cmol/Kg MgO= 144 ppm Mg = 144 Kg Mg / Ha.

1 cmol/Kg Na₂O= 85 ppm Na = 85 Kg Na / Ha.

METODOS DE ANALISIS

PH: potenciómetro, relación suelo-agua(1:1)

M.O: Mat. Organica-Walkey Black

P: Fosforo Disponible pH ≤ 6,0 Bray II

S: Azufre disponible Fosfato Monocalcico Al+H:

Acidez Intercambiable-KCl 1 N.

Bases de Cambio: Acetato de amonio 1M, pH:7.0 ;Absorción atómica

CICE:Capacidad de intercambio catiónico:Suma de Bases

Menores: Mehlich-DTPA; Absorción Atómica

B.: Boro, Agua caliente Azometino H.

C.E.: Conductividad Eléctrica: Conductimétrico-Pasta Saturada

Director de Laboratorio

DANIEL BOTERO GOMEZ

Director de Producción



MULTILAB AGROANALITICA
Reporte suelos Fertilidad



SOLICITANTE : MAURICIO GARCIA ARBOLEDA **ORDEN :** 12234
PROPIETARIO : OMAR ARANGO TINOCO **No. MUESTRAS :** 1
FINCA : SAN LUIS **FECHA RECIBO :** 22/12/2015 12:01:29 p. m.
PROYECTO : BOSQUE **FECHA DE REPORTE :** 03/02/2016 2:40:20 p. m.
MUNICIPIO : LIBANO, Tolima
VEREDA : LA MARCADA

Nlab	Referencia	pH	N	MO	P	K	Ca	Mg	Al	Textura
			%		mg Kg ⁻¹	cmol(+)kg ⁻¹				
13750	DEL AMOR	4,7	0,55	14,8	4	0,15	0,45	0,18	1,1	FA.

HÉCTOR FERNANDO FRANCO A.
MULTILAB AGROANALÍTICA
 Fernando.Franco@mlabsuelos.com
 Multilab@cafedecolombia.com.co

Método de Análisis :

pH: Potenciométrico-suelo: Agua 1:1; N: Calculado; MO: Walkley-Black - Colorimetría; K, Ca, Mg Na: Acetato de amonio 1N pH 7.0-EAA; Al: KCl IM-EAA; Fe, Mn, Zn, Cu: EDTA 0.01M-Acetato de amonio 1N pH 7.0- EAA; CíC: Acetato de Amonio 1N pH 7.0. colorimetría Nessler; P: Bray II-colorimetría Bray Kurtz; Textura : Bouyoucos con pirofosfato de sodio-clasificación diagrama triangular de USDA- F (franco), Ar (arcilloso), L (limoso), A (arenoso).

D. Anexo: Costos de los sistemas

COSTOS APROXIMADOS HECTAREA DE CULTIVO DE CAFÉ - FINCA SAN FELIPE - OSCAR COCA. LIBANO - TOLIMA

CULTIVO:	CAFÉ	VARIEDAD:	Castillo
DENSIDAD:	5000	EDAD:	4
PRODUCCION MEDIA CARGAS/HA:	25	LOTE:	Piscina

INSUMOS

INSUMOS	CANTIDAD	Valor Unitario	TOTAL
Producción 17-6-18-2 (Bulto)	30	\$ 83.000	\$ 2.490.000
Agrimins (Bulto)	2	\$ 80.000	\$ 160.000
Roundup - Lt	2	\$ 15.000	\$ 30.000
Lorsban - Lt	2	\$ 28.000	\$ 28.000
Agrometox Dimetoato) - Lt	2	\$ 32.000	\$ 32.000
Gasolina (Lt)	12	\$ 2.037	\$ 24.444
SUBTOTAL			\$ 2.764.444

LABORES DE MANTENIMIENTO

LABORES DE MANTENIMIENTO	Cantidad/Jornales	Valor Unitario/Jornal	TOTAL
Control de arvenses Guadaña	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Control de arvenses Herbicida	4	\$ 33.000	
Aplicación Fungicidas "para caturra"	4	\$ 33.000	\$ 132.000
Aplicación Insecticidas control de broca	4	\$ 33.000	\$ 132.000
Aplicación Insecticidas control de minador	2	\$ 33.000	\$ 132.000
Aplicación de Fertilizante	3	\$ 28.000	\$ 84.000
SUBTOTAL			\$ 780.000

COSECHA Y TRANSPORTE

ACTIVIDAD	Cantidad/Jornales	Valor Unitario/Jornal	Valor total
Recolección	16	\$ 35.000	\$ 560.000
Despulpado	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Fermentación	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Lavado	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Secado	12	\$ 28.000	\$ 336.000
Selección Final			\$ 0

Empacado	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Transporte	1	\$ 420.000	\$ 420.000
SUBTOTAL			\$ 1.764.000
GASTOS ADMINISTRATIVOS			
GASTOS ADMINISTRATIVOS	Cantidad/Jornales	Valor Unitario/Jornal	Valor total
Administrador	12	\$ 20.000	\$ 240.000
Ingeniero Agrónomo (Asistencia Técnica)			\$ 0
SUBTOTAL			\$ 240.000
GRAN TOTAL		\$ 5.548.444	
COSTOS \$ / CARGA cps	\$ 221.938		
VALOR VENTA CARGA	\$	700.000,00	

COSTOS APROXIMADOS HECTAREA DE CULTIVO DE CAFÉ - EL TRIUNFO - ALEXIS RODRIGUEZ. LIBANO - TOLIMA

CULTIVO:	CAFÉ	VARIEDAD:	
DENSIDAD:	5000	EDAD:	
PRODUCCION MEDIA CARGAS/HA:	30	LOTE:	
INSUMOS			
INSUMOS	CANTIDAD	Valor Unitario	Valor Total
Produccion 17-6-18-2 (Bulto)	32	\$ 83.000	\$ 2.656.000
Agrimins (Bulto)	4	\$ 80.000	\$ 320.000
Hongos Beauveria Bassiana (KG)	1,25	\$ 58.800	\$ 73.500
Roundup - Lt	2	\$ 15.000	\$ 30.000
Lorsban - Lt	2	\$ 28.000	\$ 56.000
Agrometox Dimetoato) - Lt	2	\$ 32.000	\$ 64.000
Gasolina (Lt)	12	\$ 2.037	\$ 24.444
SUBTOTAL			\$ 3.223.944
LABORES DE MANTENIMIENTO			
LABORES DE MANTENIMIENTO	Cantidad/Jornales	Valor Unitario/Jornal	Valor Total
Control de arvenses Guadaña	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Control de arvenses Plateos	8	\$ 28.000	\$ 224.000
Aplicación Fungicidas	4	\$ 33.000	\$ 132.000
Aplicación Insecticidas	1	\$ 33.000	\$ 33.000
Aplicación de Fertilizante	7	\$ 28.000	\$ 196.000
SUBTOTAL			\$ 885.000
COSECHA Y TRANSPORTE			

ACTIVIDAD	Cantidad/Jornales	Valor Unitario/Jornal	Valor Total
Recolección	16	\$ 35.000	\$ 560.000
Despulpado	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Fermentación	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Lavado	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Secado	12	\$ 28.000	\$ 336.000
Selección Final			
Empacado	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Transporte	1	\$ 420.000	\$ 420.000
SUBTOTAL			\$ 1.764.000
GASTOS ADMINISTRATIVOS			
GASTOS ADMINISTRATIVOS	Cantidad/Jornales	Valor Unitario/Jornal	Valor Total
Administrador	12	\$ 20.000	\$ 240.000
Ingeniero Agrónomo (Asistencia Técnica)			
SUBTOTAL			\$ 240.000
GRAN TOTAL		\$ 6.112.944	
COSTOS \$ / CARGA cps		\$ 203.765	
VALOR VENTA CARGA		\$ 700.000,00	

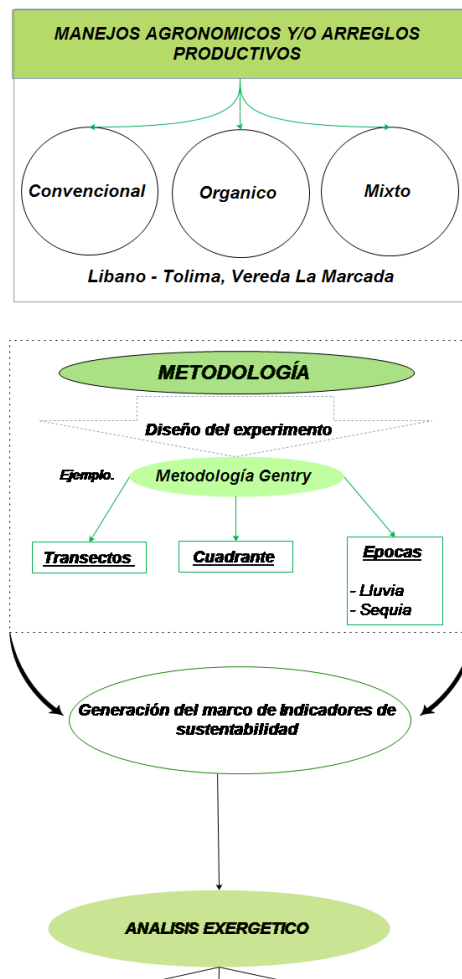
COSTOS APROXIMADOS HECTAREA DE CULTIVO DE CAFÉ - FINCA SAN LUIS - OMAR ARANGO. LIBANO - TOLIMA

CULTIVO:	CAFÉ	VARIEDAD:	Caturra y castillo
DENSIDAD:	4500 Plantas/Ha	EDAD:	4
PRODUCCION MEDIA CARGAS/HA:	15	LOTE:	EL AMOR
INSUMOS			
INSUMOS	CANTIDAD	Valor Unitario	TOTAL
Cal Dolomítica	5	\$ 8.000	\$ 36.000
Gallinaza (Bulto)	150	\$ 9.000	\$ 1.350.000
Hongos antagonicos (KG)	1,25	\$ 58.800	\$ 73.500
Sulcamag (Bulto)	6,5	\$ 40.000	\$ 260.000
Fertilizante Orgánico - Mineral (Bulto)	12	\$ 30.000	\$ 360.000
Fungicidas Ecológicos (Lt)	1	\$ 38.000	\$ 38.000
Fungicida Cuprico (Lt)	1	\$ 12.000	\$ 12.000
Gasolina (Lt)	12	\$ 2.037	\$ 24.444
SUBTOTAL			\$ 2.153.944

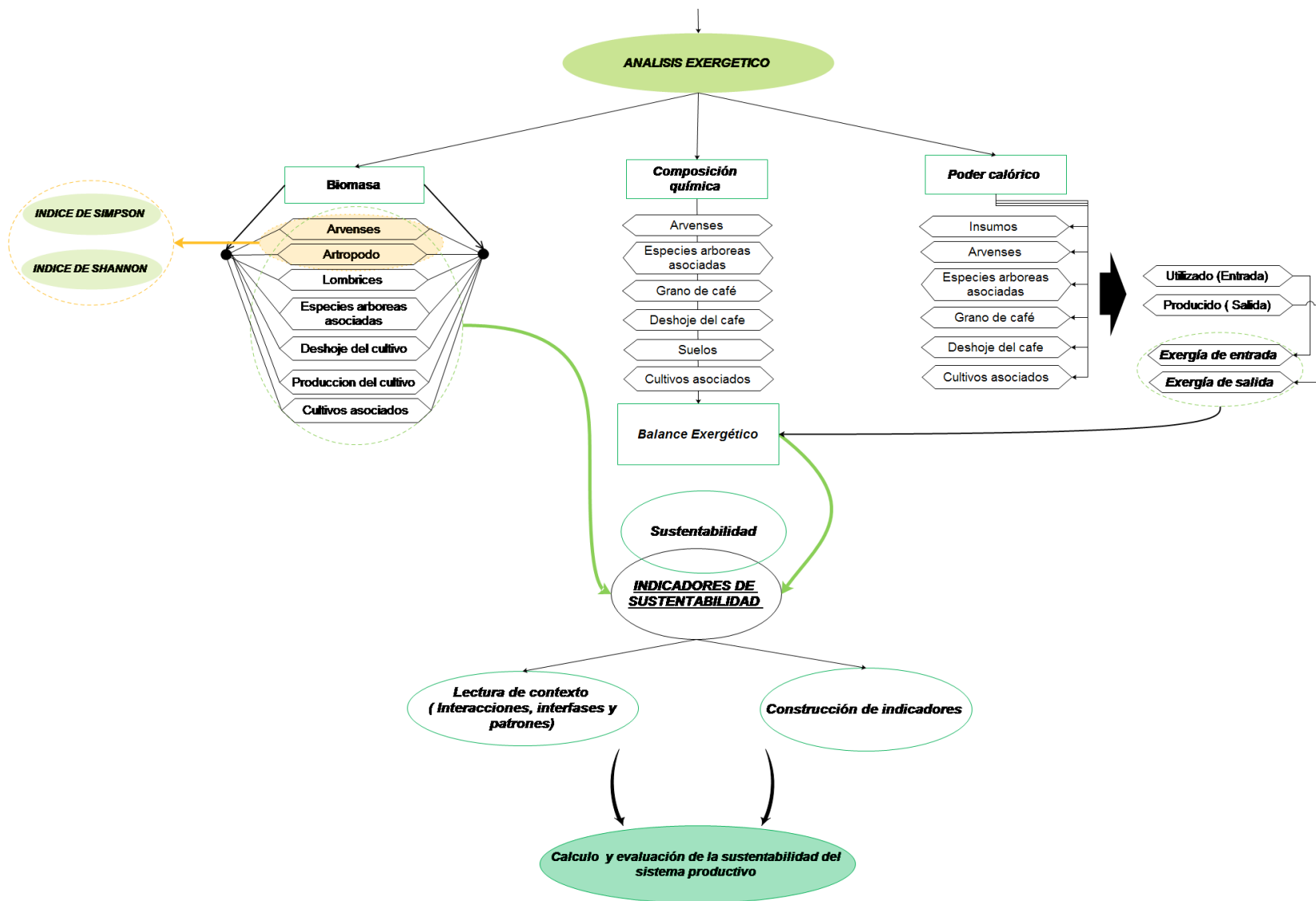
LABORES DE MANTENIMIENTO			
LABORES DE MANTENIMIENTO	Cantidad/Jornales	Valor Unitario/Jornal	TOTAL
Control de arvenses Guadaña	6	\$ 50.000	\$ 300.000
Aplicación Fungicidas	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Aplicación de Fertilizante Organico - Mineral	2	\$ 30.000	\$ 60.000
Aplicación de Foliares	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Aplicación otros fertilizantes	1	\$ 28.000	\$ 28.000
Aplicación de Gallinaza compostada	15	\$ 28.000	\$ 420.000
SUBTOTAL			\$ 1.032.000
COSECHA Y TRANSPORTE			
ACTIVIDAD	Cantidad/Jornales	Valor Unitario/Jornal	Valor total
Recolección	16	\$ 35.000	\$ 560.000
Despulpado	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Fermentación	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Lavado	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Secado	20	\$ 28.000	\$ 560.000
Empacado	4	\$ 28.000	\$ 112.000
Transporte	1	\$ 420.000	\$ 420.000
SUBTOTAL			\$ 1.988.000
GASTOS ADMINISTRATIVOS			
GASTOS ADMINISTRATIVOS	Cantidad/Jornales	Valor Unitario/Jornal	Valor total
Administrador	12	\$ 20.000	\$ 240.000
SUBTOTAL			\$ 240.000
GASTOS ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD			
GASTOS ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD	Mensualidad/Asesoría	Valor Unitario	TOTAL
Sello Orgánico	1	\$ 4.500.000	\$ 4.500.000
SUBTOTAL			\$ 4.500.000
GRAN TOTAL		\$ 9.913.944	
COSTOS \$ / CARGA cps	\$ 660.930		
VALOR VENTA CARGA	\$ 3.234.250,00		

E.Anexo: Modelo Metodológico propuesto para evaluar la sustentabilidad del análisis exergo ecológico

Modelo metodológico propuesto para evaluar la Sustentabilidad



Fuente: El Autor



Bibliografía

- Ahrendts, J. (1977). <http://teide.cps.unizar.es>. (V. Forschungsheft, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de [http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0013/\\$FILE/cp0013.pdf](http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0013/$FILE/cp0013.pdf)
- Altieri, M., & Nicholls, C. (2002). Un método agroecológico rápido para la evaluación de la sostenibilidad de cafetales. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*(64), 17-24.
- Alvarado, L. (Julio - Diciembre de 2013). Evaluación de la sustentabilidad de la producción orgánica el café a través de la medición de eficiencia económica con variables ambientales. *NaturaEconomia*, 1(2), 91 - 110. Obtenido de <http://naturaeconomia.com/ojs/index.php/natura/article/download/17/17>
- Alvarez, M., Córdoba, S., Escobar, F., Fagua, G., Gast, F., Mendoza, H., . . . Villarreal, H. (2006). *MANUAL DE MÉTODOS PARA EL DESARROLLO DE INVENTARIOS DE BIODIVERSIDAD*. Grupo de Exploración y Monitoreo Ambiental - GEMA, Programa Inventarios de Biodiversidad. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado el 15 de marzo de 2014, de <http://bibliotecavirtual.minam.gob.pe/biam/bitstream/handle/123456789/875/BIV00538.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Barin, I. (1993). www.onlinelibrary.wiley.com. (V. V. GmbH, Ed.) doi:10.1002/9783527619825
- Collantes, A., Castellanos-Barliza, J., León Peláez, J., & Tamaris-Turizo, C. (enero-junio de 2014). Caracterización de materia orgánica aportada por hojarasca fina en los bosques de ribera del río Gaira (Sierra Nevada de Santa Marta – Colombia). (UNAD, Ed.) *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 5(1), 171-184. Recuperado el 10 de octubre de 2014, de http://www.researchgate.net/publication/268077152_Caracterizacin_de_materia_organica_aportada_por_hojarasca_fina_en_los_bosques_de_ribera_del_ro_Gaira_%28Sierra_Nevada_de_Santa_Marta__Colombia%29
- Cuadras, C. M. (2014). *Nuevos Métodos de Análisis Multivariante*. Barcelona, España: CMC Editions. Obtenido de <http://www.ub.edu/stat/personal/cuadras/metodos.pdf>

- Diederichsen, C. (1999). <http://www.exergoecology.com>. (V. Forschungsheft, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://www.exergoecology.com/bibliography/bib_exergo/Diederichsen1999
- Escobar, A. (2000). El lugar de la naturaleza y la naturaleza del lugar: ¿globalización o postdesarrollo? En E. L. (comp.), *La colonialidad del saber: eurocentrismo y ciencias sociales. Perspectivas Latinoamericanas*. (pág. 246). Buenos Aires, Argentina: CLACSO, Consejo Latinoamericano de Ciencias Sociales. Obtenido de <http://bibliotecavirtual.clacso.org.ar/ar/libros/lander/escobar.rtf>
- Faure, G. (1992). www.researchgate.net. (M. M. Editions, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://www.researchgate.net/publication/44564971_Principles_and_applications_of_geochemistry__a_co
- Gaggioli, R., & Petit, P. (1978). <http://web.anl.gov>. (A. D. Chemistry, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://web.anl.gov/PCS/acsfuel/preprint%20archive/Files/21_2_NEW%20YORK_04-76_0056.pdf
- Gonzalez, R. (2008). *Productividad y valor economico potencial de arvenses en cultivo de maiz de Nanacamilpa, Tlaxcala*. Montecillo: Colegio de Posgraduados. Recuperado el 15 de marzo de 2014, de <http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/1498>
- Grigor'ev, N. (2000). <http://2dgf.dk>. (U. G. Journal, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de <http://2dgf.dk/xpdf/bull29-01-02-1-45.pdf>
- Gruner, D. S. (2003). Regressions of Length and Width to Predict Arthropod Biomass in the Hawaiian Islands. *Pacific Science*, 57(3), 325-336. Obtenido de <http://scholarspace.manoa.hawaii.edu/bitstream/handle/10125/2681/vol57n3-325-336.pdf?sequence=1>
- Hale, C., Frelich, L., & Reich, P. (2004). <http://www.nrri.umn.edu/worms/research/publications.html>. (U. Minnesota, Ed.) Recuperado el 12 de marzo de 2015
- Kameyama, H., Yoshida, K., Yamauchi, S., & Fueki, K. (1982). www.researchgate.net. (A. Energy, Ed.) Obtenido de http://www.researchgate.net/publication/227411507_Evaluation_of_reference_exergies_for_the_elements
- Labun, P., Salamon, I., & Grulova, D. (2012). Formation of horsetail (*Equisetum arvense* L.) biomass depending on soil properties in the locality of its growth. (P. University, Ed.) *American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture*, 6(4), 398 - 405.

- Recuperado el 15 de marzo de 2014, de
<http://www.aensiweb.com/old/aejsa/2012/398-405.pdf>
- Latimer, W. (1952). *www.researchgate.net*. (Prentice-Hall, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de
http://www.researchgate.net/publication/44518129_The_oxidation_states_of_the_elements_and_their_potentials_in_aqueous_solutions__Wendell_M._Latimer
- Lovelock, J. (1979). *https://www.marxists.org*. (O. U. Press, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de <https://www.marxists.org/reference/subject/philosophy/works/us/gaia.htm>
- Marozzi, M., Bellavita, G., & Varela, I. (Enero - Abril de 2004). Analisis comparativo de dos fincas productoras de café utilizando los métodos del balance energetico y agroeconomico. *Economía y Sociedad*(24), 97 - 118. Obtenido de <http://www.revistas.una.ac.cr/index.php/economia/article/download/1013/937>
- Mbugua, J., Mbui, D., & Kamau, G. (2014). Adsorption of Dursban (Chlorpyrifos) Pesticide by Loam Soil from Limuru, Kenya: Apparent Thermodynamic Properties. *Africa Journal of Physical Sciences*, 1(1), 1-9. Obtenido de <http://journals.uonbi.ac.ke/index.php/ajps/article/download/1219/1036>.
- McLennan, S. (2001). *www.minersoc.org*. (G. G. Geochemistry, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://www.minersoc.org/pages/Archive-MM/Volume_62A/62a-2-983.pdf
- Morin, E. (2005). *El paradigma perdido* (Septima ed.). Barcelona, España: Kairos. Obtenido de <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwjZklGw8tnLAhXJ6x4KHYZRCSIQFggaMAA&url=https%3A%2F%2Fdoctoradousbcienciaseducacion.files.wordpress.com%2F2013%2F01%2Fmorin-edgar-el-paradigma-perdido.pdf&usg=AFQjC>
- Nájera, J. A., & Hernández, E. (mayo-agosto de 2009). ACUMULACIÓN DE BIOMASA AÉREA EN UN BOSQUE COETÁNEO DE LA REGIÓN DE EL SALTO, DURANGO. (U. A. México, Ed.) *Ra Ximhai*, 5(2), 225-230. Recuperado el 15 de marzo de 2014, de <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=46111507007>
- Naredo, J. (1987). *http://es.scribd.com*. (E. S. XXI, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de <http://es.scribd.com/doc/115553374/NAREDO-J-M-La-Economia-en-evolucion-Historia-y-perspectivas-de-las-categorias-basicas-del-pensamiento-economico-Siglo-XXI-Espana-2003-cap-25>

- Natural Resources Research Institute University of Minnesota. (12 de marzo de 2015). <http://www.nrri.umn.edu/>. (U. o. Minnesota, Editor) Recuperado el 12 de marzo de 2015, de <http://www.nrri.umn.edu/worms/general/contact.html>
- Nicholls, C. I. (2008). *Control Biológico de Insectos: un enfoque agroecológico*. Medellín: Universidad de Antioquia.
- PAN-europe. (agosto de 2010). <http://pan-europe.info>. Obtenido de http://pan-europe.info/old/Campaigns/pesticides/documents/risk_assesment/Pesticides%20and%20environment,%20an%20overview.doc.
- Pedersen et al, u. (2 de enero de 2013). <http://bios.au.dk/en>. (A. University, Ed.) Obtenido de http://bios.au.dk/fileadmin/dmu.dk/en/animalsplants/almass/landscape/Relationships_between_insect_biomass_and_plant_biomass_and_height_in_ALMaSS_2_Jan_2013.pdf.
- Perry, C., & Chilton, R. (1992). <http://ebiblioteca.org>. (M. Hill, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de <http://ebiblioteca.org/?/ver/64279>
- Pesci, R., Perez, J., & Pesci, L. (2007). *Proyectar la Sustentabilidad*. Buenos Aires: CEPA.
- Plank, T., & Langmuir, C. (1998). www.people.fas.harvard.edu. (C. Geology, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de www.people.fas.harvard.edu/.../Plank%20Chem%20Geo%2098.pdf
- Polzot, C. (30 de julio de 2004). <http://www.yorku.ca/>. (Y. University, Ed.) Obtenido de http://www.yorku.ca/lasnubes/wp-content/uploads/2010/02/ChristinaPolzot_MajorPaper.pdf
- Rani, S., & Sud, D. (semtember de 2014). Time and temperature dependent sorption behaviour of dimethoate pesticide in various Indian soils. *International Agrophysics*, 28, 479-490. doi:10.2478/intag-2014-0038
- Ranz, L. (1999). <http://teide.cps.unizar.es>. (U. d. Zaragoza, Ed.) Recuperado el Enero de 2013, de <http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/0f35645525ac2856c12574dd00615878/6ce40c8da3a94645c125699d00303942?OpenDocument>
- Riekert, L. (1974). www.sciencedirect.com. (C. E. Science, Ed.) Obtenido de www.sciencedirect.com/science/article/pii/0009250974870120
- Rivero, R., & Garfias, M. (2004). www.researchgate.net. (L. M. Rivero, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de

http://www.researchgate.net/publication/223501517_Standard_chemical_exergy_of_elements_updated

- Rosales, R., Eraso, M., Martínez, C., Villarreal, R., Zamora, A., Garzon, S., . . . Sanabria, M. (2007). Analisis de las metodologias de evaluacion financiera, economica, social y ambiental de proyectos de inversion agricola utilizadas en Colombia. *FINANZAS Y POLÍTICA ECONÓMICA*, 1(1), 67 - 96. Recuperado el 15 de marzo de 2014, de http://portalweb.ucatolica.edu.co/easyWeb2/files/4_13_rosalse-y-otros.pdf
- Ruiz, N., Lavelle, P., & Jiménez, J. (2008). *SOIL MACROFAUNA FIELD MANUAL*. Roma: FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS. Recuperado el 25 de agosto de 2015
- Segura, M., & Andrade, H. J. (2008). ¿Cómo construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes? *Agroforestería en las Américas*(46), 89-96. Obtenido de http://worldcocoaoundation.org/wp-content/files_mf/segura2008a.pdf
- Selvamurugan, M., Doraisamy, P., Maheswari, M., & Nandakumar, N. (2010). HIGH RATE ANAEROBIC TREATMENT OF COFFEE PROCESSING WASTEWATER USING UPFLOW ANAEROBIC HYBRID REACTOR. *Iran Journal of Environmental, Health and Science*, 7(2), 129-136. Obtenido de <http://www.bioline.org.br/pdf?se10015>
- Shen, Huang, Liu, Ye, Lin, & Bruggen, V. d. (2013). The use of BMED for glyphosate recovery from glyphosate neutralization liquor in view of zero discharge. *Journal of hazardous materials*, 260-660. doi:10.1016/j.jhazmat.2013.06.028
- Shvartsev, S., Liu, H., & Kamaletdinova, L. (diciembre de 2012). Ecological and geochemical conditions of the groundwater in the Jiangnan Basin, Hubei Province, China. *Acque Sotterranee*, 3(2), 135-142. doi:10.4409/Am-047-12-0049
- Simpson, A., & Edwards, C. (2011). *www.researchgate.net*. (S. University, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://www.researchgate.net/publication/229168738_An_exergy-based_framework_for_evaluating_environmental_impact
- Suarez, D. A. (28 de febrero de 2003). <http://orton.catie.ac.cr/>. (CATIE, Ed.) Obtenido de <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0262e/A0262e.pdf>
- Suca, F., Suca, G., & Siche, R. (diciembre de 2012). Sostenibilidad ambiental del sistema de producción de café orgánico en la región Junín. *ResearchGate*, 118-129. doi:10.18259/acs.2012014

- Sussman, M. (1979). <http://www.exergoecology.com>. (A. I. Engineers, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://www.exergoecology.com/search?b_start:int=60&SearchableText=chemical
- Szargut, J. (1957). <http://www.exergoecology.com>. (A. B. Maszyn, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de [http://www.exergoecology.com/bibliography/bib_exergo/Szargut1957/view?search term=szargut](http://www.exergoecology.com/bibliography/bib_exergo/Szargut1957/view?search_term=szargut)
- Szargut, J. (1961). <http://lists.econ.utah.edu>. (A. H. 6, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://lists.econ.utah.edu/chp/Szargut_Applications_of_Exergy_in_Metallurgy.pdf
- Szargut, J. (1989). <http://onlinelibrary.wiley.com>. (A. Energy, Ed.) doi:10.1002/er.4440110207
- Szargut, J., Valero, A., Stanek, W., & Valero, A. (2005). www.exergoecology.com. (CIRCE, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://www.exergoecology.com/papers/towards_int_re.pdf
- Taylor, S., & McLennan, S. (1985). www.researchgate.net. (Blackwell, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://www.researchgate.net/publication/252429674_The_continental_crust_its_composition_and_evolution_S.R._Taylor_and_S.M._McLennan._Blackwell_1985._xv_312_pp._16.80_ISBN_0-632-01148-3
- Taylor, S., & McLennan, S. (1995). <http://courses.washington.edu>. (Geophys, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de <http://courses.washington.edu/bangblue/Taylor-EvolutionOfContCrust-SciAm96.pdf>
- Terrapon-Pfaff, J. (27 de febrero de 2012). Linking Energy- and Land-Use Systems: Energy Potentials and Environmental Risks of Using Agricultural Residues in Tanzania. *sustainability*(4), 278-293. doi:10.3390/su4030278
- Tobasura, I., Moreno, F., Aya, S., & Mora, J. (30 de Junio de 2011). Productividad energetica y financiera en fincas campesinas del departamento de Caldas. Tres estudios de caso. *Luna Azul*(34), 101 - 112. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-24742012000100007
- Valero, A., Ranz, L., & Botero, E. (2002). <http://teide.cps.unizar.es>. (ECOS, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de [http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0276/\\$FILE/cp0276.pdf](http://teide.cps.unizar.es:8080/pub/publicir.nsf/codigospub/0276/$FILE/cp0276.pdf)

- Wagman, D. W., Parker, V., Schumm, R., Halow, I., Bailey, S., Churney, K., & Nuttall, R. (1982). *www.nist.gov*. (A. C. Physics, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de <http://www.nist.gov/data/PDFfiles/jpcrdS2Vol11.pdf>
- Weast, R. (1975). *fptl.ru/biblioteka*. (C. Press, Ed.) Recuperado el enero de 2013, de fptl.ru/biblioteka/spravo4niki/handbook-of-Chemistry-and-Physics.pdf
- Wedepohl, K. (1995). *http://rruff.info*. (G. Cosmochim., Ed.) Recuperado el enero de 2013, de http://rruff.info/doclib/MinMag/Volume_58A/58A-2-959.pdf
- Yu, X., Zhou, C., Han, X., & Li, G. (January de 2013). Study on thermodynamic properties of glyphosate by oxygen-bomb calorimeter and DSC. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 943-949. Obtenido de <https://link.springer.com/article/10.1007/s10973-012-2384-5>
- Zhang, W. (January de 2011). Simulation of arthropod abundance from plant composition. (I. A. Sciences, Ed.) *Computational Ecology and Software*, 1(1), 37-48. Recuperado el 15 de enero de 2014, de <http://www.iaees.org/publications/journals/ces/articles/2011-1%281%29/Simulation-of-arthropod-abundance-from-plant-composition.pdf>