



## El análisis emergético como herramienta para evaluar la sustentabilidad en dos sistemas productivos

### *Emergy Analysis as a valuable tool to evaluate the sustainability on two production systems*

Dr.C. Pedro P. Del Pozo Rodríguez<sup>1</sup>, M.Sc. Cauê Vallim de Melo<sup>11</sup>; Ph.D. Enrique Ortega Rodríguez<sup>11</sup>

<sup>1</sup> Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba.

<sup>11</sup> Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada, Campinas, Brasil.

**RESUMEN.** El Análisis Emergético constituye una herramienta para la evaluación integral y sistémica de los ecosistemas, la cual estima los valores de emergías incorporados en los productos y el impacto de las actividades antrópicas. En el presente trabajo se realiza una evaluación del grado de utilización de los recursos y sustentabilidad en dos sistemas de producción de banana “Convencional y Agroforestal” en el “Valle de la Ribeira”, SP Brasil. Los índices emergéticos utilizados en los diferentes análisis fueron: Renovabilidad (%R), Razón de Rendimiento Emergético (EYR), Razón de Inversión de la Emergia (EIR) y la Razón de Intercambio de Emergia (EER). Los resultados obtenidos indican que el sistema Convencional tiene una alta dependencia de insumos externos y todos los índices utilizados demostraron que el sistema Agroforestal es más sustentable, presentando una mayor renovabilidad (68% vs 29% Ren), un mayor potencial de utilización de recursos por emergía invertida proveniente de la economía (3,2 vs 2,8 EYR), una menor presión sobre el ambiente (0,46 vs 2,41 ELR), y una menor dependencia de los recursos de la economía (0,46 vs 0,55 EIR). El empleo de la metodología de análisis emergético demostró ser una herramienta eficaz para evaluar la sustentabilidad de los sistemas de producción estudiados.

**Palabras clave:** metodología emergética, índices emergéticos, agroecosistemas, banano.

**ABSTRACT.** The emergetic analysis is a valuable tool for the integral and systematic evaluation of ecosystems. It estimates the values of emergy incorporated to products, as well as the impact of human activities on ecosystems. In this work an evaluation of the rate of use of the resources in the agroecosystems and sustainability on two systems of banana (*Musa spp.*) production was carried out. Those systems were Conventional and Agroforestry Systems at Valle de la Ribeira, SP Brazil. The emergetic indexes calculated were: Renewability (% R), Emergetic Yield Ratio (EYR), Emergy Inversion Ratio (EIR) and Emergy Exchange Ratio (EER). The obtained results indicate that conventional system is highly dependent on external inputs and all indexes of evaluated emergetic analysis demonstrate that the agroforestry system has higher renewability (68% vs. 29% R), higher potential of utilization of resources per consumed emergy (3,2 vs. 2,8 EYR), smaller pressure on the environment (0,46 vs. 2,41 ELR) and lower dependence on the economy resources (0,46 vs. 0,55 EIR). The use of emergetic analysis methodology showed to be an effective tool to evaluate the sustainability of the studied production systems.

**Keywords:** emergetic methodology, emergetic indexes, agroecosystems, banana.

## INTRODUCCIÓN

La inclusión de árboles y arbustos en los ecosistemas agrícolas constituye una opción válida y necesaria, lo cual ha tomado interés e importancia para la producción y protección de los agroecosistemas en el trópico, y en especial en los países latinoamericanos, cuyos resultados se sustentan en el incremento de la productividad y calidad de vida de los productores, fijación de nitrógeno atmosférico (leguminosas), la diversidad de la

flora y fauna en el sistema, un aporte importante de hojarasca de fácil mineralización que favorece el reciclaje de nutrientes, incrementa la captación de carbono (CO<sub>2</sub>) y por ende el balance emergético en el ecosistema (Esquivel *et al.*, 2011; Harvey *et al.*, 2011; Casanova *et al.*, 2011; Del Pozo, 2011).

A pesar de la existencia de trabajos científicos que reportan ventajas de uso de los Sistemas Agroforestales, aún es necesario

el desarrollo de investigaciones, que en su diseño empleen métodos de investigaciones con enfoques de sistemas, que permitan ofrecer una respuesta más integral a la sociedad.

En este sentido, el análisis emergético propuesto por Howard T. Odum constituye una metodología válida de la evaluación integral y sistémica de los ecosistemas, la cual estima los valores de emergías incorporados en los productos, procesos y los servicios ambientales, así como el impacto de las actividades antrópicas en los ecosistemas (Ometto *et al.*, 2004; Cavalett *et al.*, 2006; Campbell, 2004; Alburquerque, 2012; Ortega, 2013).

En el presente trabajo se realiza una descripción detallada de la metodología Análisis Emergético, con la metodología tradicional de Odum (1996), y su aplicabilidad a partir de los resultados obtenidos en la evaluación la sustentabilidad en dos sistemas de producción de bananeras “Convencional y Agroforestal”.

## MÉTODOS

**Ubicación:** La información básica para el desarrollo del presente trabajo se tomó en dos fincas bananeras en la localidad Guapiruvu, ubicado en el Municipio de Sete Barras-SP (latitud 24°23'16" Sur y longitud 47°55'32" Oeste), con una altitud promedio de 30 metros del nivel del mar.

La actividad económica principal, y casi exclusiva, es el cultivo de banana bajo el modelo de la Agricultura Convencional, no obstante existen algunas experiencias exitosas de Sistemas Agroforestales, manejados por agricultores para la producción de banana orgánica, productos para el autoconsumo, ganadería y diversos servicios ambientales.

**Clima:** El clima del municipio es del tipo W (clima ecuatorial), caracterizado por temperatura promedian entre 24° C y 27° C y alta pluviosidad. Las precipitaciones durante el período experimental alcanzaron valores de hasta 1 582 mm por año, las cuales se concentran entre los meses de septiembre a abril, con una evapotranspiración (ETP) anual muy elevada (1 345 mm).

**Suelo:** El suelo de las áreas estudiadas son hidromórficos, con alta fracción de arcilla (Cunha, 2008). La vegetación natural de la región es la formación estacional semicaducifolia de la foresta Atlántica, la cual se encuentra en estado avanzado de regeneración y tiene como principal rasgo la pérdida de hojas de los árboles en la estación más seca del año (Cunha, 2008).

**Procedimiento:** La selección de las áreas productivas se realizó con el auxilio de los líderes de la comunidad y se tomaron como criterios que existiera semejante cantidad de fuerza de trabajo y número similar de personas en la familia; tener como propósito productivo principal el cultivo de banana y un comportamiento estable en la regeneración de la vegetación arbustiva y arbórea.

La caracterización de ambas fincas se realizó a través de indicadores descriptivos de las diferentes variables que se relacionan con los componentes del sistema de producción, el productor y sus características, la infraestructura técnico productivos, aspectos organizativos, recursos humanos e inversiones.

Los datos de producción se obtuvieron de los registros de la cooperativa COOPERAGUA durante el período diciembre

2007 hasta noviembre de 2008. La información correspondiente a los gastos, precios y mano de obra se consultó a los propios agricultores.

Se utilizó la metodología emergética desarrollada por Odum (1996). Para el análisis se siguieron los siguientes pasos: (a) Elaboración del diagrama sistémico. (b) Elaboración de la tabla de evaluación emergética, (c) Cálculo de los índices emergéticos, (d) Interpretación de los resultados.

Para la construcción de la tabla de evaluación emergética en el presente trabajo fue utilizado el software Emtable desarrollado por Ortega *et al.* (2005), los cuales constituyen la base para el procesamiento de los datos por el software.

Los índices emergéticos son calculados a partir de los flujos de energía y son utilizados para evaluar el grado de utilización de los recursos en los sistemas.

Para la estimación de los índices también se utilizó el software Emtable, el cual posee diferentes módulos (hojas de cálculos), en los que se introducen las informaciones básicas para los cálculos.

Los índices utilizados y sus respectivas ecuaciones fueron: Transformidad,  $seJ/J$  ( $Tr=Y/Ep$ ), Renovabilidad ( $\%Ren=100 \times (R/Y)$ ), Razón de Rendimiento Emergético ( $EYR=Y/F$ ), Razón de Inversión Emergética ( $EIR=F/I$ ), Razón de Carga Ambiental ( $ELR=(N+F)/R$ ) y Razón de Intercambio Emergético ( $EER=Y/En$  Ventas). Donde: [R] Insumos Renovables; [N] No renovables; [M] Materiales comprados; [S] Provenientes de Servicios; [F] Provenientes de la economía humana. [Y] Emergía Total, [Ep] Emergía en los Productos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A partir de las herramientas participativas y los indicadores biofísicos fue posible caracterizar las tecnológicas utilizadas en los dos sistemas productivos estudiados, así como establecer aquellos elementos de carácter comparativos desde el punto de vista productivo y ecológico.

En las Figuras 1 y 2 se presentan los diagramas sistémicos de los flujos de emergías de los sistemas Convencional y Agroforestal, respectivamente, a partir de ellos se analizó de forma cualitativa la totalidad de fuentes de emergía que entran, las que salen y los flujos internos en ambos sistemas.

Los dos sistemas dependen de recursos de la naturaleza, sin embargo, una primera diferencia importante entre ellos es el no aprovechamiento de la fijación biológica de nitrógeno, la captura de carbono y de la movilización de minerales en el sistema Convencional, por no disponer de la diversidad y cantidad de biota en el suelo, así como por no poseer la cantidad de especies vegetales capaces de almacenar el recurso carbono ( $CO_2$ ) de la naturaleza a través de la fotosíntesis.

Los dos sistemas también dependen de materiales y servicios de la economía. Aunque el sistema Convencional tenga la ventaja de contar con la producción de alimentos para autoconsumo, aún depende del consumo familiar, es decir, productos alimenticios comprados fuera para complementar el producido.

En el sistema Agroforestal la situación es diferente, ya que el 100% de las áreas reciben beneficios por el aporte que realiza de materia orgánica (M.O.) y biomasa vegetal el componente

arbóreo. Además, el sistema posee una reserva potencial de productos que pueden ser comercializados, pero por ausencia de mercado y por decisión estratégica del agricultor son solamente almacenados.

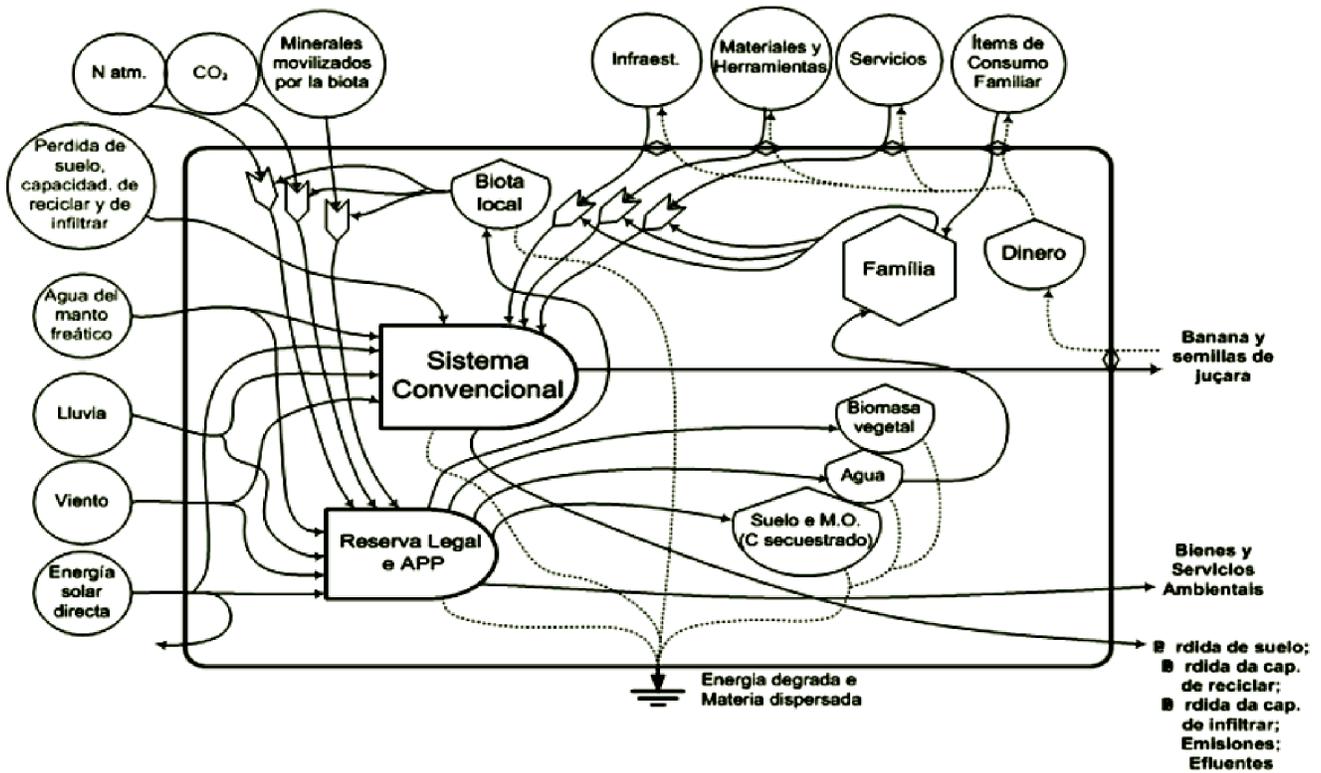


FIGURA 1. Diagrama sistémico de flujos de energía del sistema Convencional.

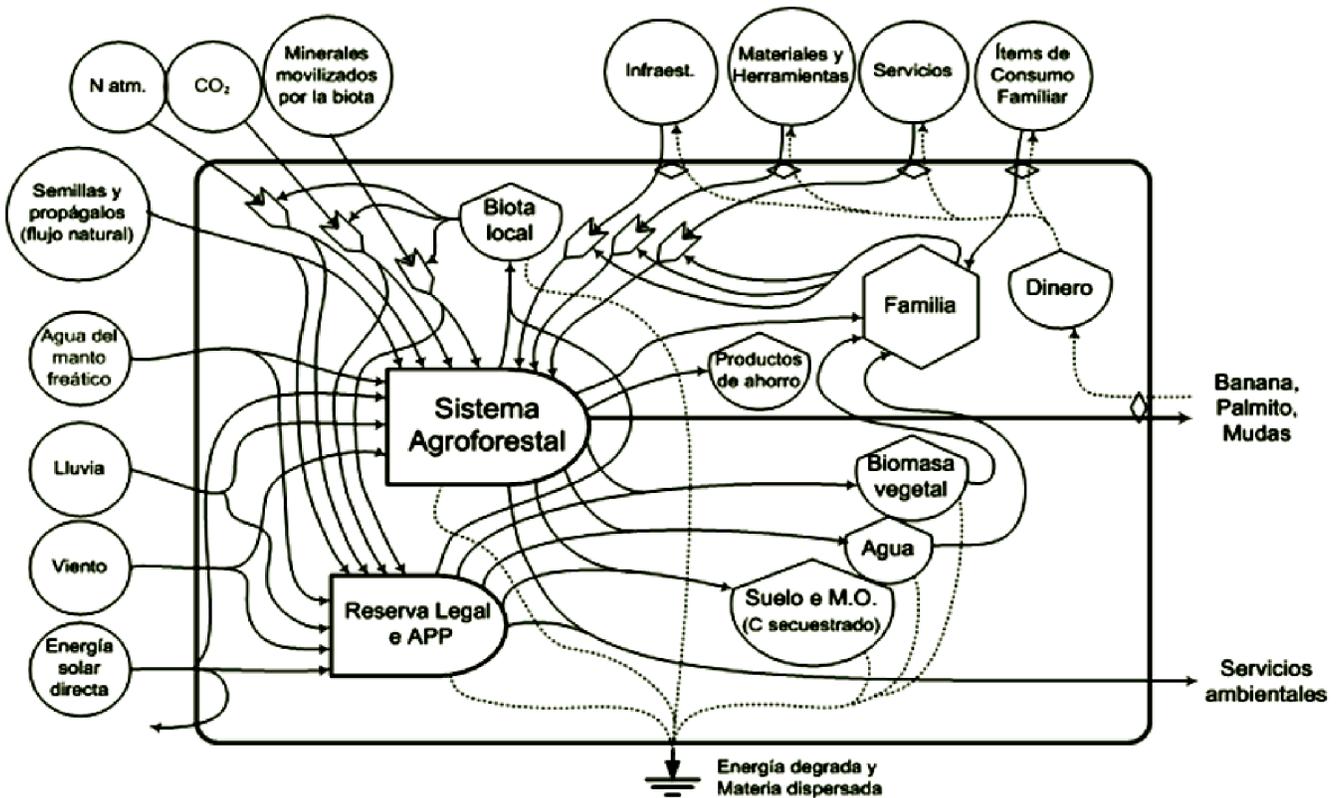


FIGURA 2. Diagrama sistémico de flujos de energía del sistema Agroforestal.

En el sistema Agroforestal no se tiene en consideración las emisiones de gases, las pérdidas de suelo, la capacidad de reciclaje de minerales e infiltración en el suelo. No obstante, se generan servicios ambientales en todas sus áreas.

A partir de los diagramas elaborados se generó las tablas de evaluación emergética, cuantificándose todos los flujos identificados. Los indicadores emergéticos se estimaron sobre la base de los flujos emergéticos calculados en los productos, recursos del sistema, servicios ambientales y los flujos de los sub-productos.

Los flujos de energía de los productos del sistema Convencional y del sistema Agroforestal se muestran en las Tablas 1 y 2, respectivamente. Se evidencia una superioridad en el total de la energía de los productos del sistema Convencional,

esto se explica principalmente por la mayor cantidad de banana producida en este sistema.

Los flujos de energía de los servicios ambientales en el sistema Convencional solamente se limita a las áreas de preservación ambiental (5,4E+15 seJ/ha/año), mientras que en el sistema Agroforestal lo realiza en el 100% de sus áreas y aportan 1,2E+17 seJ/ha/año al flujo total.

En la estimación de los flujos relacionados con los subproductos y las pérdidas en ambos sistemas, las emisiones de gases no fueron cuantificadas por no existir en la literatura coeficiente que permitiera cuantificar el CO<sub>2</sub> emitido por el sistema, sin embargo el flujo emergético generado por concepto de pérdidas alcanzó 6,3E+9 seJ/ha/año.

**Tabla. 1 Flujo emergético de los productos del Sistema Convencional**

Producto	kg/año	J/kg	J/año	J/ha/año	kg/ha/año
Banana (Musa spp.)	55 902	4,1E+06	2,3E+11	3,8E+10	9 317
Semilla de jucara (Euterpe edulis)	495	4,0E+05	2,0E+08	3,3E+07	82,5
Total				3,8E+10	9 399,5

**Tabla 2. Flujo emergético de los productos del Sistema Agroforestal**

Producto	kg/año	J/kg	J/año	J/ha/año	kg/ha/año
Banana (Musa spp.)	34 056	4,1E+06	1,4E+11	2,8E+10	6 811,2
Pupunha (Bactris gasipaes)	4 112	1,2E+06	5,1E+09	1,0E+09	822,4
Total seJ (Joule solar).				2,9E+10	7 633,6

En la Tabla 3 se muestran los indicadores de desempeño emergético obtenidos para los sistemas Convencional y Agroforestal.

**TABLA 3. Índices emergéticos en los sistemas Convencional y Agroforestal**

Índices Emergéticos	Ecuación	Convencional	Agroforestal
		Valor	Valor
Transformidad (seJ/J)	$Tr=Y/Ep$	352,580	290,606
% Renovabilidad	$\%Ren=100* (R/Y)$	29,33	68,37
Razón de Rendimiento Emergético	$EYR=Y/F$	2,81	3,16
Razón de Inversión Emergético	$EIR=F/I$	0,55	0,46
Razón de Intercambio Emergético	$EER=Y/En Ventas$	2,59	1,80
Razón de Carga Ambiental	$ELR= (N+F)/R$	2,41	0,46

A partir de las herramientas participativas y los indicadores biofísicos fue posible caracterizar las tecnologías utilizadas y desarrolladas en los dos sistemas productivos estudiados. Las herramientas utilizadas demostraron que el sistema Agroforestal es un sistema más ecológicamente estable.

Todos los índices de la evaluación emergética utilizados indicaron que el sistema Agroforestal es más sustentable, y se explica por poseer una mayor Renovabilidad (68% vs 29%), un mayor potencial de utilización de recursos por energía invertida por la economía (3,2 vs 2,8 EYR), una menor presión sobre el ambiente (0,46 vs 2,41 ELR), y una menor dependencia de los recursos de la economía (0,46 vs 0,55 EIR). Además, en ambos sistemas el intercambio con el mercado fue desfavorable,

(EER del sistema Agroforestal (1,8) y del sistema Convencional (2,6), pero en el Sistema Agroforestal el intercambio es “menos injusto”.

De acuerdo con los resultados los sistemas Agroforestales constituyen una alternativa viable para su implementación en los sistemas agrícolas a gran y pequeña escala, pues generan servicios ambientales, preservando la biodiversidad, diversificando la producción, efectuando un aprovechamiento racional de los recursos naturales.

Similares resultados fueron obtenidos por Alves *et al.* (2011) en sistemas Agroforestales con Café (*Coffea arabica*) y Cacao (*Theobroma cacao*) en la región de Mato Grosos y Alburquerque (2012) en Sao Paulo al evaluar el grado de recu-

peración de un área degradada a través de la implementación de un sistema Agroforestal. En ambos casos se logra que la renovabilidad alcance valores por encima del 80% en los primeros cuatro años de su implementación, lo que demuestra que estos sistemas realizan un uso racional de los recursos naturales renovables y por ende ofrecen beneficios económicos.

En sistemas Agrosilvopastoriles, Albuquerque (2006) y Ortega, *et al.* (2008), obtuvieron respuestas similares y señalan que pueden ser una alternativa ventajosa para la recuperación de áreas degradadas, mejorando el desempeño ambiental económico y social de los sistemas.

La aplicación de la metodología de análisis emergético de Odum (1996), es válida y permitió profundizar aún más en las

diferencias en la utilización de los recursos entre los sistemas.

## CONCLUSIONES

- El empleo de la metodología de análisis emergético demostró ser una herramienta eficaz para evaluar la sustentabilidad de los sistemas de producción, así como su aplicabilidad en diferentes agroecosistemas agrícolas y/o ganaderos.
- Se demostró que el sistema Agroforestal es más sustentable que el sistema Convencional en términos ambientales, expresado a través de la mayor generación de servicios ambientales y el uso más eficiente de los recursos locales renovables de la naturaleza.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALBURQUERQUE, T. C.: *Avaliação emergética de propriedades agrosilvopastoris do Brasil e da Colombia*, Tesis de Maestrado, Facultad de Engenharia de Alimentos, Universidad de Campinas-UNICAMP, Campinas, Brasil [en línea] 2006, Disponible en: [www.fea.unicamp.br.br/ortega.2006](http://www.fea.unicamp.br.br/ortega.2006) [Consulta: noviembre 30 2013].
- ALBURQUERQUE, T. C.: *Análise Emergética de um Sistema Agroforestal: Sítio Catavento, Indaiatuba, São Sao Paulo*, Tesis de Doctorado Facultad de Ingeniería de Alimentos, Universidad de Campinas-UNICAMP. Campinas, Brasil, febrero de 2012.
- ALVES, M. M.; ORTEGA, E.R. & ALBURQUERQUE, C.: *Avaliação Emergética de Sistema Agroforestal – Um estudo de caso-Estação Ariosto da Riva CEPLAC–Alta Floresta MT*, En: *VII Congresso Brasileiro de SAFs* (Tese de PósDoutorado). Universidade Estadual de Campinas, Brasil, 2011.
- CAMPBELL, D. E.: Global transition to sustainable development, pp. 11-28, En: *Proceedings of IV Biennial International Workshop “Advances in Energy Studies”*. Unicamp, Campinas, SP, June 16-19, Brazil, 2004.
- CASANOVA, L.E.; ALDANA, J. P. & SOLORIO, S. J.: “Agroforestry systems as an alternative for carbon sequestration in the Mexican tropics”, *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 17(1): 5-18, 2011.
- CAVALETT, O.; DE QUEIROZ, J.F. & ORTEGA, E.: “Emergy assessment of integrated production systems of grains, pig and fish in small farms in the South Brazil”, *Ecological Modelling*, (193): 205-224, 2006.
- CUNHA, G. C.: *Diagnóstico da Vegetação nas Áreas Florestais do Assentamento*, Alves Teixeira e Pereira–Eldorado-SP, Relatório técnico, Piracicaba, São Paulo, mayo de 2008.
- DEL POZO, P.P.: *Sistemas Agroforestales Sostenibles*, En: *Módulo Sistema Agroforestales, Maestría en Agroecología*, Ed. Universidad Agraria de La Habana, Mayabeque, Cuba, 2011.
- ESQUIVEL-MIMENZA, H.; IBRAHIM, M. & HARVEY, C. A.: “Dispersed trees in pasturelands of Cattle farms in a tropical dry ecosystem”, *Tropical and Subtropical Agroecosystem*, (14): 933-941, 2011.
- HARVEY, C.A.; VILLANUEVA C. & ESQUIVEL, H.: “Conservation value of dispersed tree cover threatened by pasture management”, *Forestry Ecological Manage*, (261): 1664-1674, 2011.
- ODUM, H.T.: *Environmental Accounting, Emergy and Decision Making*, Ed. John Wiley, New York, USA, 1996.
- OMETTO, A.R.; ROMA, W. N.L. & ORTEGA, E.: Emergy life cycle assessment of fuel ethanol in Brazil, pp. 389-399, En: *Proceedings of IV Biennial International Workshop “Advances in Emergy Studies”*, Unicamp, Campinas, SP, Brazil, June 16-19, 2004.
- ORTEGA, E.; CVALETT, O.; BONIFACIO, R. & WATANABE, M.: “Brazilian soybean production: emergy analysis with an expanded scope”, *Bulletin of Science, Technology e Society*. SAGE Publications, Toronto. 25(4): 323- 334, 2005.
- ORTEGA, E.; REGIANE, O.; ALBURQUERQUE, C. & WEY ALMEIDA, A.: *Conceitos básicos sobre sistemas agrosilvopastoriles (SASP)*, 14pp., Ed. Facultad de Engenharia de Alimentos, Universidad de Campinas-UNICAMP. Campinas, Brasil, octubre de 2008.
- ORTEGA, R. E.: El Cambio Climático y la Cultura: una visión emergética. En: *VI Jornadas de la Asociación Argentino Uruguay de Ecología Ecológica, Salta, 26 al 29 de noviembre 2013*, ISBN 978-987-633-103-6. [en línea] noviembre 2013, Disponible en: <http://www.asaue2013.com.ar/asaue/wp-content/uploads/>, [Consulta: noviembre 30 2013].

**Recibido:** 6 de enero de 2014.

**Aprobado:** 22 de julio de 2014.

Pedro P. del Pozo Rodríguez, Profesor Titular, Universidad Agraria de La Habana (UNAH), San José de las Lajas, Mayabeque, Cuba, Correo electrónico: [delpozo@unah.edu.cu](mailto:delpozo@unah.edu.cu),