

Análisis emergético del café peruano

F. Suca A.¹, C. A. Suca A.², R. B. Siche J.³

(Recibido: 15/05/2014 / Aceptado: 25/08/2014)

RESUMEN

En el presente trabajo se evaluó la sostenibilidad del sistema productivo del café orgánico y convencional en la selva central del Perú, utilizándose el análisis emergético desarrollado por Odum (1996). Los aportes de los flujos de recursos económicos y de los flujos de recursos naturales al sistema de producción orgánico fueron de 49,94% y 50,06%, respectivamente. Para el sistema convencional fue de 49,93% y 50,07%. Los índices emergéticos obtenidos muestran que el sistema orgánico es menos eficiente que el sistema convencional. Sin embargo ambos sistemas son más eficientes que los reportados en Brasil. La renovabilidad de ambos sistemas es similar, siendo ligeramente mayor la del café orgánico. Ambos sistemas presentan índices emergéticos iguales, excepto la tasa de carga ambiental que es mayor para el sistema de café orgánico, en tanto que, el índice de sostenibilidad disminuye para el sistema de café convencional. Se concluye que el sistema productivo de café orgánico utiliza menos cantidad de materiales y servicios provenientes de los mercados de bienes y servicios, que el sistema de café convencional; siendo la etapa de producción localizada en la provincia de Satipo la que presenta mayor demanda con respecto a las demás etapas (transporte, procesamiento, embarque en el Puerto del Callao). La diferencia entre el café orgánico y el convencional está dada por los requisitos que exigen los organismos que certifican el producto. Las etapas de servicios, procesos e insumos incorporados son similares para ambos sistemas. Dentro de los servicios de la economía, los valores de emergencia de la mano de obra demuestran que los sistemas de café orgánico y convencional incorpora cantidades importantes de este servicio. Se concluye que los sistemas de producción de café de la selva central peruana mostraron ser ambientalmente sostenibles.

Palabras clave: Análisis emergético, sostenibilidad, café orgánico, café convencional.

Emergy analysis of peruvian coffee

ABSTRACT

In this paper the sustainability of the organic and conventional coffee production systems of the central Peruvian forest, using the emergy analysis developed by Odum (1996) was evaluated. Contributions of economic and natural resources to organic production system were 49,94 % and 50,06 %, respectively. For the conventional system were 49,93 % and 50,07 %. The emergy indexes obtained show that the organic system is less efficient than conventional. However both systems are more efficient than those reported in Brazil. The renewability of both systems are similar, with a slightly higher for organic coffee. Both systems have equal emergy indexes, except for the rate of environmental burden, which is higher for organic coffee system, whilst, decreases for the sustainability index for conventional coffee. We conclude that organic coffee production system uses less materials and services from the goods and services that the system of conventional coffee. step being located in the province of Satipo which has increased demand over production to the other stages. The differences between organic and conventional coffee is given by the conditions requiring agencies to certify the product. Stages of services, processes and incorporated inputs are similar for both systems. Among the services economy, emerging values of labor systems show that organic and conventional coffee incorporates significant amounts of this service. The coffee production systems at central Peruvian forest shows to be environmentally sustainable.

Keywords: Emergy analysis, sustainability, organic coffee, conventional coffee.

1 Departamento Académico de Análisis y Diseño de Procesos, FQIQ-UNMSM, Perú.

2 Departamento Académico de Procesos, FQIQ-UNMSM, Perú.

3 Departamento de Ciencias Agroindustriales, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo, Trujillo, Perú.

I. INTRODUCCIÓN

Muchas actividades productivas en la actualidad se desarrollan basadas en los modelos de economía neoclásica; es decir, priorizando el incremento de utilidades y la reducción de costos sin tomar en cuenta las consideraciones sociales y ambientales. Dentro de estas actividades, la producción de café en el Perú se desarrolla bajo criterios carentes de un exhaustivo análisis ambiental, ocasionando consecuencias que limitan el desarrollo de un modelo de crecimiento sostenible de los sistemas de producción de café orgánico y convencional.

En el Perú, las principales regiones productoras de café son Junín (75 750 t), Cajamarca (51 510 t) y San Martín (66 660 t). Esta última región incrementó sustantivamente su participación en la producción nacional, justificado por el uso de tecnología media (en un 50%) y el fuerte apoyo del sector público junto a la Cooperación Técnica Internacional en el marco del Programa de Desarrollo Alternativo (sustitución de sembríos de hoja de coca) (Junta Nacional del Café, 2012).

Actualmente, los intentos por alcanzar una mayor sostenibilidad radican en la implementación de sistemas integrados de gestión, etiquetado de productos orgánicos, desarrollo de mercados de productos orgánicos, comercio justo e impulso de las cadenas agroproductivas, entre otros. Sin embargo, para lograr la sostenibilidad del café es necesario, en principio, evaluar y cuantificar el grado de sostenibilidad en el que se encuentra. Para ello es posible utilizar metodologías científicas como el análisis emergético, que evalúa la sostenibilidad mediante la interpretación de índices emergéticos los que fueron calculados sobre una base común (Odum^[1], 1996). Esta base común denota los diferentes flujos de energía, tanto de la economía como de la naturaleza, que fueron incorporados al sistema productivo del café.

El análisis emergético es ampliamente aplicado en la evaluación de flujos de energía

que conducen los sistemas agrícolas (Gianetti, Ogura, Bonilla y Almeida; ^[2]). Lomas, Di Donato y Ulgiati^[3] manifiestan que el análisis emergético es una contribución importante porque permite tener una visión con fuerte componente científico, llegando a producir, a partir de la emergía, indicadores que permiten entender bajo un mismo marco de estudio los flujos de materia, energía, información y dinero ligados a sistemas agrícolas o tratar aspectos referentes al desarrollo, comercio, entre otros.

El primer diagnóstico de la sostenibilidad en el Perú, utilizando la emergía fue reportado por Siche^[5], quien comparó y analizó los principales indicadores de sostenibilidad en base a los datos del año 2004. Los resultados mostraron que la tendencia de la economía del Perú es de disminución de la sostenibilidad, que se explica por la dependencia creciente de recursos no renovables, principalmente combustibles fósiles. Siche^[5] estimó que el Perú, con el ritmo actual de consumo, pasará a ser un país insostenible aproximadamente entre los años 2014 y 2020. Para ello es necesaria una acción urgente de los gobernantes en el sentido de escoger una ruta de desarrollo más adecuada, capaz de mantener y preservar el sistema en que vive el Perú, para garantizar la sobrevivencia de los seres humanos y de las otras especies que lo habitan.

Guillén^[4] utilizó el análisis emergético para determinar la sostenibilidad de sistemas agrosilvícolas y agroindustriales en México, en donde la producción de café es considerada como un sistema agrosilvícola sostenible porque mantiene parte de la selva original.

En la presente investigación se pretende lograr una aproximación objetiva al conocimiento y la comprensión de las características que presenta el sistema productivo de café de la selva central del Perú; tanto para el sistema de café orgánico como para el sistema convencional.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología empleada en el presente trabajo fue el análisis emergético desarrollado por Odum (1996), que está basada en la teoría general de sistemas. Se estudió dos sistemas de producción de café: a) sistema orgánico y b) sistema convencional. El análisis se realizó a nivel de la región Junín, provincia de Satipo, que es una importante zona productora de café en el Perú; y la región Lima, que es la principal “puerta” de salida de los productos peruanos hacia el extranjero. Tanto el sistema orgánico como el convencional se analizaron deductiva, descriptiva y transversalmente, en el período agrícola 2011 al 2012. Para llevar a cabo el estudio, cada sistema de producción se dividió en ocho subsistemas: a) producción agrícola, b) beneficio húmedo, c) transporte local, d) poscosecha, e) transporte interregional, f) procesamiento, g) transporte al terminal marítimo del Callao, y h) operaciones en el puerto del Callao. La diferencia entre el sistema orgánico y el convencional es únicamente en el subsistema de producción agrícola, donde

el café producido de manera orgánica no utiliza como insumo productos ni fertilizantes químicos en la producción del café.

Cada subsistema se analizó a nivel de sus elementos ambientales, materiales y de servicios provenientes de la economía generada por el ser humano. Los datos primarios y secundarios del primer subsistema (i.e., producción agrícola) fueron tomados de 18 productores, que manejan un área de 120,75 ha para el café orgánico, y 25 productores para el convencional con la misma superficie, para fines comparativos. Los datos emergéticos para cada subsistema comprendido dentro de las actividades desarrolladas en la región Junín fueron recolectados de la provincia de Satipo, Distritos de San Martín de Pangoa y Rio Negro, y los de la región Lima correspondieron a la provincia constitucional del Callao. En la Figura 1 se muestra las zonas de producción cafetalera de donde se tomaron los datos para el café convencional y orgánico; así como la ruta que sigue el café desde Satipo al Puerto del Callao.

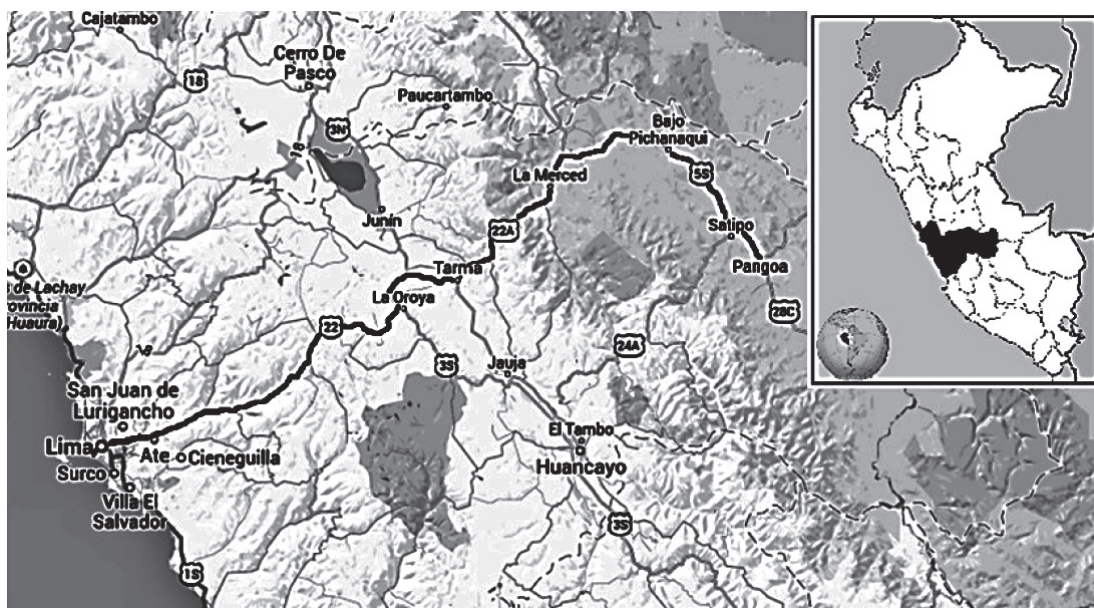


Figura 1. Zona de producción y ruta del sistema de producción cafetalera de la selva central peruana.

De acuerdo al enfoque sistémico y la delimitación planteada en la presente investigación, la determinación de población y muestra obedecen a los criterios de intencionalidad y de no probabilidad. Por ello se ha considerado como población al conjunto de productores comprendidos en el subsistema de producción agrícola, organizados en cooperativas quienes estuvieron conformados por los productores de café orgánico y convencional de las Cooperativas de Satipo y San Martín de Pangoa, respectivamente. A partir de estas dos poblaciones se determinó la cantidad de productores para realizar la visita (muestra intencional) y también para determinar el área en hectáreas de donde se recopilaban los datos para el estudio. En los subsistemas posteriores no fue relevante establecer poblaciones ni muestras por las características propias de la metodología emergética.

Los datos para el sistema de producción orgánico fueron recolectados de seis localidades de la provincia de Satipo. Cada localidad corresponde a un comité de la Cooperativa Agraria Cafetalera Satipo Ltda. Para el sistema convencional, la información fue recolectada de nueve comunidades del distrito de Pangoa. Los productores de estas comunidades están asociados y pertenecen a la Cooperativa Agraria Cafetalera Pangoa Ltda.

En la recolección de datos se aplicó una combinación de técnicas in situ como entrevistas, observaciones y revisión del cuaderno de registro (solo para el café orgánico), medición de las zonas de beneficio y producción del café y, pesado de los materiales utilizados. Estos datos fueron registrados en papel, imágenes y audio digital. Paralelamente se tuvo otras fuentes primarias como la proporcionada por los técnicos de la Cooperativa Agraria Cafetalera Satipo Ltda., y la información de la base de datos de dicha cooperativa.

Los datos correspondientes a los subsistemas de transporte de la selva central de Junín a Lima, procesamiento en planta y transporte al terminal marítimo fueron obtenidos de empresas de servicio de transporte de carga, de la planta procesadora Café Perú

y la empresa concesionaria de puertos DP World del Callao.

El análisis del compost y del café fresco se hizo en el laboratorio de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina y los datos secundarios, según la naturaleza de cada flujo, se obtuvieron de fuentes secundarias confiables.

Los valores de transformidad fueron obtenidos de fuentes secundarias recabadas del Laboratorio de Ingeniería Ecológica de la Facultad de Ingeniería de Alimentos de la Universidade de Campinas, SP, Brasil.

La metodología emergética consta de cuatro etapas: a) caracterización y elaboración del diagrama del sistema, b) análisis de los flujos identificados, c) obtención de los índices emergéticos, e d) interpretación de los índices emergéticos.

La emergía significa la cantidad de energía útil que fue aprovechada durante el proceso de transformación de energía solar (fuente primaria de energía) en una energía de mayor calidad. Por lo tanto la metodología emergética propone medir en valores de Emjoules la "historia de transformaciones de la energía solar dentro de un sistema" y, a partir de estos valores, calcular la eficiencia del sistema y la presión del sistema productivo sobre el medio ambiente.

De acuerdo a la metodología emergética, los diagramas emergéticos permiten un inventario de las "entradas" del sistema, al mismo tiempo que posibilita una amplia visión de cómo los recursos de energía circulan dentro del sistema. En los diagramas emergéticos, los depósitos de los recursos naturales y sus respectivos flujos son presentados en el lado izquierdo de la figura. En cambio las entradas de materiales y servicios externos utilizados por el sistema productivo y su respectivo flujo dentro del sistema están ubicadas en el lado superior derecho de la figura. En el lado derecho se observa el intercambio del sistema productivo con la sociedad, donde el producto producido por el sistema es vendido al mercado a cambio de dinero, el mismo que será utilizado en la compra de materiales y servicios externos. En la parte inferior del

diagrama está representada la degradación de la energía durante todas las etapas hasta la salida del producto final.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La actividad principal en la Provincia de Satipo es la agricultura, siendo el café el cultivo más importante (50% del total del área agrícola). Su economía depende fundamentalmente del café, y se estima que la actividad cafetalera en Satipo genera 2 960 000 jornales al año, y esta demanda laboral se concentra principalmente en el período de cosecha (abril a agosto).

Existen 57 organizaciones de productores de café. Las formas más comunes de organización son: asociaciones, cooperativas, central de asociaciones, comités y empresas comunales.

Se estima que los productores organizados representan el 28% y los no organizados el 72% del total. En la provincia de Satipo existen pequeños y medianos productores que se puede clasificar según el nivel de organización: productores no organizados, productores organizados con baja capacidad de gestión y productores organizados con mediana capacidad de gestión. La diferencia estriba en que las mejor organizadas utilizan mayor cantidad de recursos naturales y económicos y de manera más eficiente que sus contrapartes menos organizadas. Esto también se debe a que en general los productores de esas empresas tienen mayor extensión cultivable de café (ocho a más hectáreas). Las ventajas de una mejor organización es que los productores tienen acceso a diferentes beneficios, como crédi-

tos, capacitaciones y pueden comercializar el café a mejor precio (hasta S/. 5 por kilogramo en el año 2010), tanto en mercados nacionales como en internacionales, y en mayores volúmenes y cumpliendo con estándares de calidad certificada.

La Figura 2 presenta la organización del sistema de producción orgánico y convencional de café en Satipo. Se puede apreciar que la diferencia entre los sistemas de producción orgánica y convencional de café está referida al uso de fungicidas, herbicidas y foliares, por cuyas características la entidad certificadora de producción orgánica no permite su utilización. Ambos sistemas de café pueden ser caracterizados bajo tres criterios diferentes: por el nivel organizativo, por el flujo de procesos y por la calidad ambiental.

El nivel organizativo está conformado por los productores de café, la cooperativa cafetalera y la planta procesadora. Las dos primeras se encuentran en la selva central de la región Junín. Esto obedece a la naturaleza de la actividad cafetalera propia de esta región, que cuenta con pequeños productores que requieren un mercado cercano en términos geográficos para hacer efectiva la venta de su producción. Los productores están organizados en cooperativas, que brindan la posibilidad de realizar una transacción comercial satisfactoria a sus asociados. La planta procesadora se encuentra ubicada en la ciudad de Lima. Su ubicación cercana al terminal marítimo permite garantizar la calidad del café que se envía al mercado exterior. El servicio que brinda es la de transformar el café según los requerimientos de la demanda.

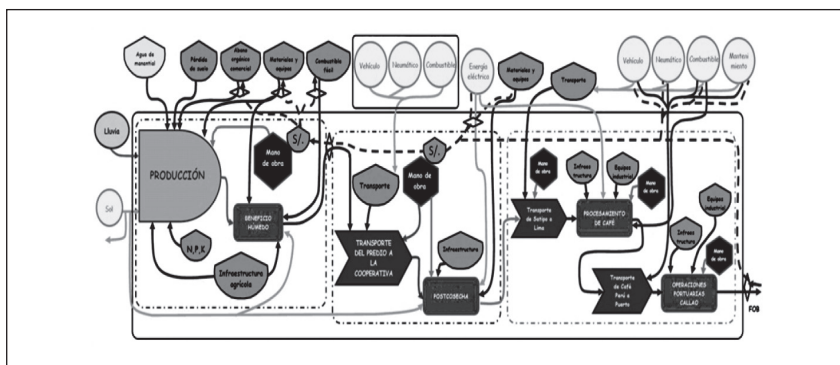


Figura 2. Diagrama sistémico de producción de café orgánico y convencional de la selva central del Perú.

Según el flujo de procesos, el sistema productivo de café está formado por un productor, cuatro subsistemas, tres interacciones y dos transacciones horizontales. El productor está conformado por los productores de café. Los subsistemas están conformados por el beneficio húmedo, las postcosecha, el procesamiento de café en Lima y las operaciones portuarias en el Callao. Las interacciones corresponden a las etapas de transporte del predio a la cooperativa, de la selva central a la planta procesadora en Lima y de esta última al terminal marítimo del Callao. Las transacciones horizontales están conformados por el intercambio económico y se han identificado dos: entre el productor y la cooperativa, y entre la cooperativa y el cliente del mercado internacional. Existen transacciones verticales que se desarrollan en distintas etapas del sistema que consisten en la adquisición de bienes y servicios. Por su calidad ambiental el sistema de café de la selva central presenta dos variantes: orgánico y convencional. Las etapas que comprenden la cadena productiva de café en la selva central son: producción, beneficio húmedo, transporte del predio a la cooperativa, postcosecha, transporte de Satipo a Lima, procesamiento en la planta, transporte de la planta al terminal marítimo del Callao y operaciones de preembarque.

Las aportaciones de las actividades económicas y de la naturaleza al sistema de café orgánico fueron clasificadas en cuatro: renovables (R), no renovables (N), materiales (M) y servicios (S). En total se han identificado 37 flujos en el sistema orgánico y 41 flujos en el sistema convencional. Dentro de los recursos renovables de la naturaleza están la energía solar, la lluvia y agua de manantial. El único recurso no renovable aportado por la naturaleza es el suelo.

Los materiales y servicios están considerados como aportes de la economía, es decir, son producidos por el hombre a partir de los recursos naturales con valor agregado o directamente en forma de mano de obra, y tienen un valor económico en el mercado. Los principales materiales que ingresan al

sistema son fertilizantes, abonos, herramientas y equipos de fierro y acero, combustible, vehículos, neumáticos, energía eléctrica e infraestructura. Los servicios se presentan en forma de mano de obra fija y temporal. Además la cadena productiva del café convencional incorpora fungicidas, herbicidas y foliares.

En la Tabla 1 se puede apreciar los porcentajes obtenidos de emergía en la cadena productiva de café orgánico y convencional. El total de recursos de la naturaleza (I) se obtiene de la suma de los recursos renovables (R) y de los recursos no renovables (N). El total de recursos de la economía está conformado por los materiales (M) y servicios no renovables de la economía (S). El café orgánico presenta un mayor porcentaje de recursos renovables de la naturaleza y servicios de la economía, lo que demuestra un mejor desempeño ambiental. En cuanto a los recursos de la economía, el sistema de café orgánico presenta ligeramente un mayor valor, lo que quiere decir que una mayor adquisición y uso de recursos provenientes del mercado se da en este sistema con respecto al convencional. El café convencional utiliza un mayor porcentaje de recursos no renovables.

En la Tabla 2 se presenta los índices emergéticos para el café orgánico y convencional. Estos indicadores son analizados y comparados con los sistemas orgánico y convencional del Brasil y otros sistemas de productos alimentarios.

IV. DISCUSIÓN

Principales recursos incorporados a la cadena productiva

Los resultados muestran que tanto el café orgánico como el convencional incorporan cantidades iguales de emergía renovable que corresponde a los aportes de la naturaleza en energía solar, lluvia y agua de manantial. Estos recursos son aprovechados en la primera etapa de producción de café desarrollada en las localidades de Satipo

Tabla 1. Porcentajes de energía de la cadena productiva de café.

Símbolo	Flujos energéticos	Valores obtenidos de SeJ/ha.a en %	
		Orgánico (%)	Convencional (%)
R	Recursos renovables de la naturaleza (R)	49,91	49,72
Mr	Materiales renovables de la economía (Rn)	0,04	0,04
Sr	Servicios renovables de la economía (Sr)	49,50	49,30
N	Recursos no renovables de la naturaleza (N)	0,15	0,35
I	Total recursos de la naturaleza (I)	50,06	50,07
M	Materiales de la economía (M)	0,44	0,63
Sn	Servicios no renovables de la economía (Sn)	49,50	49,30
F	Total recursos de la economía (F)	49,94	49,93
Y	Energía utilizada (Y)	100,00	100,00

Tabla 2. Índices energéticos del sistema productivo de café orgánico y convencional.

Índices	Ecuaciones	Valor		
		Orgánico	Convencional	Unidad
Tr = Y/Ep (Energía del producto)	Tr=Y/Ep	5,69E+07	5,52E+07	seJ/J
Tr = Y/(Masa seca)	Tr = Y/(masa seca)	2,99E+14	2,56E+14	seJ/kg masa seca
Renovabilidad (%R)	Ren=(R/Y)*100	49,91	49,72	%
Tasa de eficiencia energética (EYR)	EYR=Y/F	2,00	2,00	Adimensional
Tasa de carga ambiental (ELR)	ELR=(N+F)/(R)	1,00	1,01	Adimensional
Tasa de inversión energética (EIR)	EIR= F / I	1,00	1,00	Adimensional
Índice de sostenibilidad energética (SI)	ESI = EYR/ELR	2,00	1,98	Adimensional

y Pangoa, y no difieren debido a que ambos sistemas están ubicados en espacios geográficos con similares características climáticas. El consumo anual de agua de manantial para el beneficio húmedo fue relativamente mayor en el sistema orgánico que en el convencional, de 2 245 m³/ha y 2 167 m³/ha, respectivamente. Esta diferencia se

debe a que los productores orgánicos lavan exhaustivamente el café pergamino fresco para una mejor calidad.

La energía solar, la lluvia y el agua captada de manantial tienen 100% de renovabilidad, mientras que la energía eléctrica y la mano de obra tienen 68 y 50% de renovabilidad, respectivamente. Todos los demás flujos

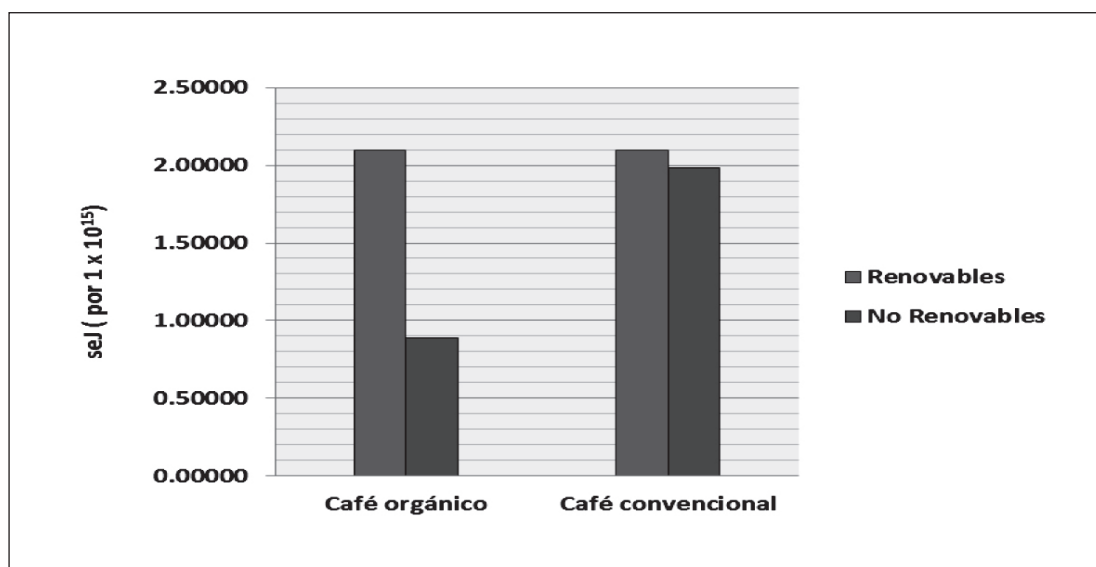


Figura 3. Comparación de flujos de recursos renovables y no renovables de la naturaleza para ambos sistemas de producción de café.

identificados y evaluados en la cadena productiva del café son no renovables.

El suelo es un recurso no renovable que la naturaleza aporta al sistema, expresado como pérdida de suelo. Este valor de pérdida fue estimado a partir del porcentaje de materia orgánica del total de suelo erosionado. En la Figura 3 se muestra que la barra del flujo no renovable es menor en el café orgánico que en el convencional, lo que significa que la producción orgánica presentó menor erosión que la producción convencional. Esto se debe a que el café orgánico presenta pérdidas de suelo de 1,8 % y el convencional de 4,0 %, dado que las extensiones de café convencional tienen mayor contenido de biomasa en el suelo que las tierras de cultivo orgánico.

En el predio del productor se han identificado materiales provenientes de la economía, es decir, de los mercados. Estos materiales fueron estimados para 120,75 ha en cada sistema, haciendo un total de 241,5 ha de cultivo. Los aportes de materiales comunes identificados en ambos sistemas de producción cafetalera fueron: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), combustible para el despulpado, materiales y equipos de fierro, infraestructura agrícola, ulexita,

dolomita y estiércol comercial. Además, la producción convencional utiliza materiales no permitidos por las certificadoras de producto orgánico como son: fungicidas, herbicidas y foliares. No utilizan nutrientes. Los productores convencionales durante la entrevista no mencionaron el uso de plaguicidas, sin embargo, los técnicos de campo afirmaron que algunos productores utilizan este insumo químico cuando es requerido. Los productores orgánicos utilizan además el magnocal (fertilizante natural a base de magnesio y calcio) para mejorar la composición de nutrientes del suelo.

En la Figura 4 se muestra los valores emergéticos de cada material aportado al sistema de producción de café. Se aprecia que los materiales y equipos incorporados a ambos sistemas de producción son bastante mayores que los fertilizantes, insumos y combustible fósil. En materiales y equipos, tanto el orgánico como el convencional presentan valores similares, no siendo así en infraestructura, donde el café convencional presenta una mayor inversión con respecto al orgánico. Los materiales utilizados y registrados son herramientas y equipos. La infraestructura está compuesta por tarimas de madera, tendales, tubería para transporte de agua, almacenes de café y herramientas;



Figura 4. Materiales incorporados en el predio del productor de café.

pozas de fermentado y lavado; compostera y tolva de recepción o cercero.

La diferencia entre el café orgánico y el convencional se encuentra en la utilización de insumos durante la producción. El sistema convencional utiliza insumos químicos no permitidos por la empresa certificadora. Del total de estos insumos, el herbicida glifosato presenta un mayor valor emergético de $2,842E+13$ seJ/ha.año, seguido del compuesto foliar con un valor de $6,975E+12$ seJ/ha.año y finalmente los fungicidas. Si bien la infraestructura presenta los valores más altos, no es significativo en el total de energía de la cadena productiva del café.

Los productores orgánicos llevan un cuaderno de registro de insumos utilizados en el proceso productivo y de las reuniones llevadas a cabo. Los productores de café orgánico demostraron estar mejor organizados que los productores de café convencional en los niveles de coordinación y las condiciones de la infraestructura utilizada para el café. No siendo así en el sistema de producción convencional.

En las etapas posteriores a la producción de café en el predio, los flujos emergéticos son iguales y sus valores están en función del rendimiento total de las hectáreas estudiadas, siendo para el café orgánico 78,4 t y para el café convencional 78,8 t. Así se tiene que para la postcosecha, el café orgánico presenta un valor de $1,026E+15$ seJ/ha.año y para el convencional $1,005E+15$ seJ/ha.año. Similar caso presentan los valores emergéticos de la planta procesadora Café Perú y de las operaciones portuarias en el Callao.

El transporte del café es un proceso importante en la cadena productiva y se desarrolla en tres fases. En la primera, el café pergamino en estado húmedo es transportado del predio del productor a las instalaciones de la Cooperativa donde se realiza el proceso de secado solar y en guardiolas. En la segunda fase el café es transportado del almacén de las Cooperativas, ambas ubicadas en la

provincia de Satipo, región Junín a la ciudad de Lima para el procesamiento en planta. Finalmente el café luego de ser procesado es transportado de la planta procesadora al puerto marítimo del Callao.

La energía utilizada durante el transporte fue para las tres fases: predio a la cooperativa, cooperativa a Lima y planta al puerto del Callao. En todas las fases se han identificado el uso de vehículos de carga, neumáticos, combustible y mano de obra. En la segunda fase de transporte hacia Lima se identificó una demanda del mantenimiento vehicular debido a la distancia de recorrido y las características altitudinales de las vías de comunicación que tiene un efecto considerable en el motor del vehículo de transporte.

En la fase de transporte del predio a la cooperativa el sistema de café convencional incorpora mayor energía que el sistema orgánico. Esto es debido a la mayor utilización de vehículos de gran capacidad de carga y, por ende, un mayor consumo de llanta. En cambio en el sistema de café orgánico se identificó el uso de vehículos menores de carga. Cambiar los vehículos pesados para disminuir el impacto al medio ambiente obedece a una decisión de costo beneficio de la organización cafetalera de café convencional.

Las siguientes dos fases del transporte, de Satipo a Lima y luego al Callao, presentan valores emergéticos menores. En el traslado del café de Satipo a Lima se podría suponer de que la incorporación de energía debería ser mayor que en la primera fase debido a la distancia. Sin embargo esto no es así por cuanto el café en esta etapa es transportado en camiones de gran capacidad de carga disminuyendo el número de viajes. En cambio en la primera fase el gasto de recursos es mayor por contar con vehículos tipo camioneta apropiados para trasladarse a las zonas con limitaciones de acceso a los predios de los productores. La cantidad de viajes son muchas, por tanto el uso de materiales es mayor. Las cooperativas cafetaleras cuentan con un área de transporte que brinda servicio a sus asociados.

Otra de las contribuciones que realiza la economía a la cadena productiva del café y la más importante desde el punto de vista de sostenibilidad ambiental y social es la mano de obra. Esta se ha identificado en todos los eslabones de la cadena, es decir desde la producción hasta las operaciones en el puerto del Callao. El Perú se caracteriza por tener mano de obra abundante y barata lo que hace que su renovabilidad alcance un porcentaje alto, lo que contribuye a la sostenibilidad del medio ambiente. Desde el punto de vista de la sostenibilidad social, las altas tasas de desempleo se ven disminuidas con el desarrollo de la cadena productiva del café permitiendo mejorar las condiciones económicas de la población.

En la Figura 5 se observa que la emergencia de la mano de obra del café orgánico es mayor que el convencional. Esta diferencia se debe a que el sistema de producción de café orgánico utiliza mayor cantidad de mano de obra, llegando a un número de 8 682 personas, mientras que el sistema convencional demanda 8 387 personas. Estas diferencias obedecen a que el productor orgánico brinda una mayor atención a las labores culturales contratando mayor personal, mientras que el productor convencional no. Ambos sistemas utilizan mano de obra familiar. Las siguientes etapas demandan cantidades menores de mano de obra.

Indicadores emergéticos

La transformidad (Tr) es una medida de la eficiencia del sistema estudiado, comparándose dos o más sistemas productivos. Cuanto mayor es su valor, menor es la eficiencia del sistema. Indica la cantidad de energía solar equivalente que el sistema necesita para producir un determinado producto. Así, la cadena productiva de café de la selva central peruana presenta valores de transformidad de 56 900 000 joules de energía solar equivalente (seJ) para producir un joule de café oro orgánico para exportación y 55

200 000 joules para café convencional de exportación. Esta diferencia se debe a que el sistema orgánico realiza una mayor inversión en mano de obra para tener un producto final que reúna los requisitos establecidos por la empresa certificadora y por ende la que demanda el mercado internacional.

La transformidad se ve influenciada significativamente por la mano de obra que se constituye como el flujo emergético dominante de toda la emergencia de la cadena productiva orgánica con porcentajes 49,50%. En el caso del café convencional es menor el uso de mano de obra con porcentajes de 49,30%.

Los resultados de transformidad calculados para el café orgánico y convencional del Perú son menores que el sistema de café de Brasil con transformidades de $1,05E+10$ seJ/J y $1,55E+9$ seJ/J, respectivamente (Sarcinelli y Ortega, 2004). Esto muestra que en términos de sostenibilidad ambiental Perú cuenta con sistemas de producción más eficientes que Brasil. En cambio Nicaragua presenta una transformidad de $1,86E+7$ seJ/J para el sistema de café convencional (Cuadra y Rydberg, 2006). En Brasil el porcentaje de inversión emergética correspondiente a los materiales aportados por la economía son bastante elevados para el café convencional, que comprenden a la tecnología de producción, fertilizantes, químicos y valores inferiores en servicios. Nicaragua presenta una transformidad próxima al Perú. Esto puede deberse a la proximidad en sus formas de producción y procesamiento y al uso intensivo de la mano de obra.

Una característica que hace similares a los sistemas de café de Perú y Brasil es que los orgánicos son mayores que los convencionales. Sin embargo es clara la diferencia en el tipo de producción, siendo Brasil el primer productor mundial de café, presenta una producción bajo economías de escala con alto grado de tecnificación.

La renovabilidad (%R) o la porción de recursos renovables utilizados por el sistema, es una medida directa de su sostenibilidad. Cuanto más alto es su valor, mayores son las chances del sistema en mantenerse a largo plazo. En la cadena productiva de café, el sistema orgánico presentó el mayor

porcentaje de renovabilidad (%R=49,91) que el convencional (%R=49,72); sin embargo, ambos valores son muy próximos.

La renovabilidad de los sistemas de café orgánico y convencional de la cadena productiva de café peruano es comparada con

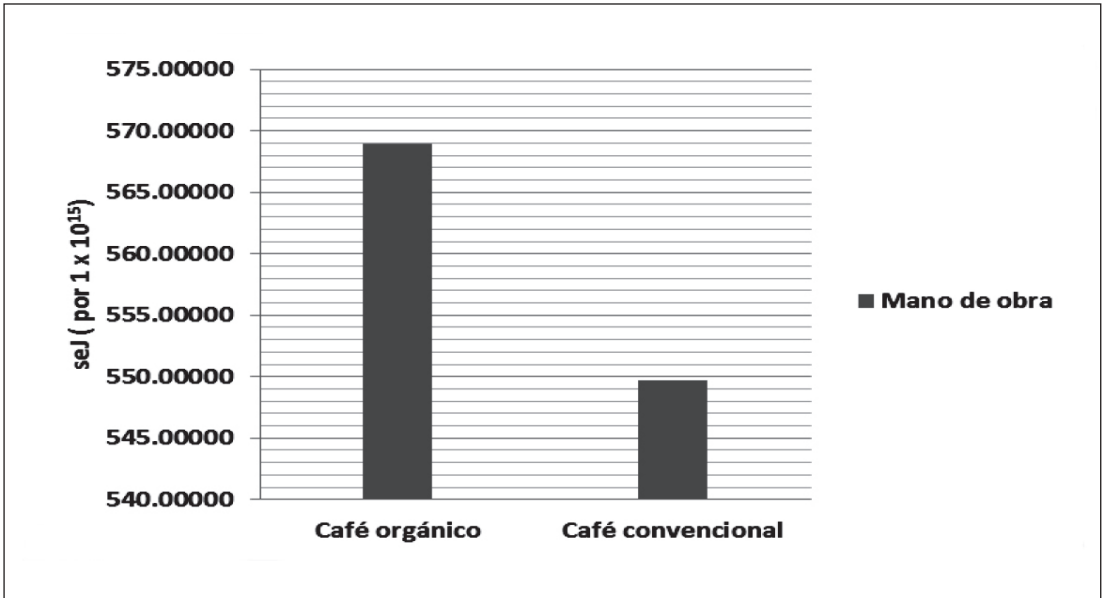


Figura 5. Servicio de mano de obra en la cadena productiva de café

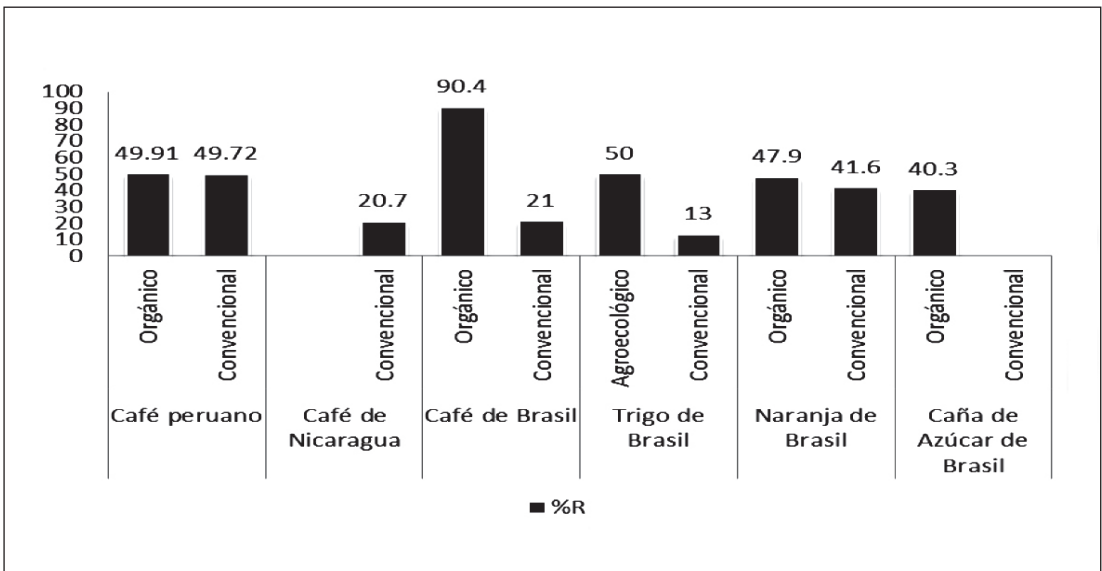


Figura 6. Renovabilidad (%R) de sistemas productivos de café y otros productos de Perú, Nicaragua y Brasil (Cuadra y Rydberg, 2006; Gianetti et al., 2011; Waureck et al., 2009 y Fernández, 2008).

otros resultados de sistemas de producción de café convencional de Nicaragua y Brasil para el café, trigo, naranja y caña de azúcar, como se presenta en la Figura 6.

La Figura 6, también presenta los porcentajes de renovabilidad obtenidos por diversos autores. En el caso de Nicaragua no se ha encontrado en la bibliografía la renovabilidad (%R) para el café orgánico, únicamente para el café convencional. Lo mismo sucede para la caña de azúcar de Brasil.

Se puede observar que el sistema orgánico de café del Brasil (%R = 90,4) presenta un porcentaje de renovabilidad muy superior al de Perú (%R = 49,91). Esto se debe a que el sistema orgánico de Brasil incrementa en 4,2 veces el porcentaje de recursos renovables (Sarcinelli y Ortega, 2004). Esto es debido a la sustitución de insumos químicos por abonos orgánicos que presenta un menor impacto ambiental, por ser éstos últimos renovables en un 100%, tal como lo evidencia el valor de renovabilidad del café convencional brasileño (%R = 21). Un mayor valor de emergencia incorporada al sistema orgánico tiene un mayor valor económico en el mercado lo que reduce el nivel de atracción comercial. Los cafés convencionales de Nicaragua y Brasil presentan valores próximos, pero muy inferiores a los que presenta Perú. Con respecto al trigo, el café orgánico peruano presenta renovabilidad casi similar, pero inferior. Sin embargo, es superior a la renovabilidad de la naranja y de la caña de azúcar. En cambio el café convencional peruano es muy superior a los cafés convencionales de Nicaragua y Brasil, al trigo, y superior a la naranja y la caña de azúcar. Esta superioridad se debe a la ventaja comparativa que tiene el Perú en mano de obra.

La tasa de eficiencia emergética (EYR), definida como emergencia total utilizada por el sistema de café (Y) dividida por la emergencia de los insumos de la economía (F), es una medida de la ganancia de energía primaria disponible para ser utilizada por la sociedad. Los sistemas utilizan en sus procesos recursos naturales y recursos provenientes

de la economía; estos últimos se obtuvieron a partir de recursos naturales que fueron sometidos a procesos de transformación por otros sistemas para luego ser puestos a disposición de la sociedad.

En teoría, la emergencia liberada por un sistema es, por lo menos, igual a aquella invertida con recursos de la economía. En este caso EYR es igual a la unidad. Valores de EYR superiores a uno indican que el sistema fue capaz de disponer energía primaria para la sociedad y cuanto mayor es este valor, mayor es la eficiencia del sistema en la utilización de los recursos invertidos de la economía.

La tasa de eficiencia emergética del sistema orgánico y convencional presenta un valor igual a 2,00, lo que demuestra que éste sistema es eficiente en la producción de café. Brasil presenta valores de EYR para café convencional de 1,24 y Nicaragua de 1,35 (Giannetti et al., 2011) y de 10,7 para el café orgánico (Sarcinelli y Ortega, 2004). Los sistemas orgánico y convencional del café peruano no presentan diferencias, en cambio en Brasil el EYR del café orgánico es ocho veces más que el convencional. El desarrollo del sistema productivo del café permite el aprovechamiento de recursos primarios provenientes de la naturaleza, en consecuencia, se constituye como un sistema muy importante para el desarrollo de la selva central del Perú.

En Dinamarca los sistemas agro productivos auto suficientes presentan tasas de 2,25 que se aproximan al obtenido en esta investigación (Ostergard y Ville, 2010). En cambio los sistemas convencionales italianos del limón, oliva y uva presentan en los tres casos EYRs de 1,02 (Zucaro et al., 2010). En Brasil la producción de biodiesel a partir de soya presenta una tasa de 1,62 (Cavalett, 2008). El café peruano orgánico no difiere grandemente de los resultados obtenidos en Dinamarca para sistemas sostenibles; por tanto, mantiene los mismos niveles de eficiencia. En cambio en sistemas convencionales el café peruano es muy superior que los sistemas italianos, lo que muestra que existen marcadas diferen-

cias en la intensidad de flujos de energía. Normalmente, el desempeño de la etapa agrícola es importante para el desarrollo de todo el sistema productivo de café peruano por los servicios renovables que ingresan al orgánico y convencional.

La tasa de carga ambiental (ELR), es la razón entre la suma de los recursos no renovables tanto de la economía (F) como de la naturaleza (N) y los recursos renovables locales (R). Es una medida del impacto ambiental derivado del sistema productivo. En teoría, si no ocurren inversiones de la economía, los flujos emergéticos renovables disponibles localmente deberían sustentar un ecosistema maduro sujeto a restricciones impuestas por el medio ambiente, en este caso ELR sería igual a cero. Cuando ocurren inversiones de flujos emergéticos externos al ecosistema, el patrón de desarrollo es diferente del ecosistema original. De esta manera, el ELR mide la distancia entre el sistema en estudio y el ecosistema original y puede ser interpretado como el estrés causado al medio ambiente por el sistema productivo. Cuanto más alto su valor, mayor la distancia del sistema original, y mayor será el impacto, o el stress en el ecosistema asociado. Los valores de ELR hasta 2 indican sistemas de bajo impacto, valores de 2 a 10 indican sistemas de impacto moderado. Valores superiores a 10 están asociados a sistemas que ocasionan grandes impactos ambientales (Brown y Ulgiati, 2004).

El ELR del sistema orgánico es menor que el del sistema convencional, indicando que la producción orgánica causa menor impacto al medio ambiente. En Nicaragua los valores de ELR para el convencional son de 3,8 (Cuadra y Rydberg, 2006) y en Brasil 3,75 (Sarcinelli y Ortega, 2004); siendo superiores al obtenido en la presente tesis. En Europa los sistemas convencionales presentan valores por encima de 4 para la uva (4,89), oliva (5,75) y limón (12,38) (Zucaro et al, 2010).

Según la literatura, los estudios que comparan sistemas productivos orgánicos y convencionales reportan que los orgánicos

o ecológicos son siempre menores. Tenemos así por ejemplo en Brasil la cadena productiva de naranja orgánica (1,09) y la convencional (2,51) (Fernández, 2008); en trigo agroecológico (3,80) y convencional (6,64) (Waureck et al., 2009); para el café orgánico (0,11) y el convencional (3,75).

Estos valores citados para sistemas agros productivos varían grandemente. En general los sistemas convencionales presentan valores de entre 2 y 10. Por ejemplo la soja convencional (Cavalett, 2008). En cambio se encontró que la caña de azúcar convencional presenta un valor de 1,83, siendo el más bajo de los convencionales (Fernández, 2008). Los sistemas orgánicos también presentan variación de ELR, pues este tipo de manejo permite una diversidad de técnicas y procedimientos que pueden estar condicionados a las características del medio o espacio donde se sitúa el sistema. Por ejemplo, cuando se comparan los valores del café de Perú y Brasil.

Estos valores reportados son relevantes para demostrar en qué medida la producción atenta al medio ambiente. El análisis de ELR muestra que los sistemas de café orgánico y convencional peruanos causan impactos menores o bajos (Brown y Ulgiati, 2004).

La tasa de inversión emergética (EIR) es la razón entre los recursos de la economía y de la naturaleza e indica la inversión que realizan la sociedad involucrada en la cadena productiva para producir un bien, en relación a la contribución de la naturaleza. Puede ser utilizado para evaluar la eficiencia, o competitividad de un sistema productivo en la utilización de los recursos invertidos de la economía. Comparándose dos o más sistemas productivos, aquel con menor EIR será el más competitivo, una vez que para cada unidad de recursos naturales utilizado –por tanto sin costo financiero– necesita invertir un volumen menor de recursos de la economía.

Ambos sistemas estudiados presentan EIR iguales con un valor de (1,00). Comprando con el reportado por Sarcinelli y Ortega (2004) para el café orgánico (0,10) está muy

por encima por tanto Brasil es más competitivo en este sistema, sin embargo reportan un valor mayor para el café convencional (2,91), siendo en este sistema más competitivo el café producido en el Perú, debido al aprovechamiento de recursos renovables en mayores cantidades para desarrollar la cadena productiva.

Los valores de EIR para la primera etapa de producción orgánica y convencional de café en las Cooperativas Cafetaleras de Satipo y Pangoa, respectivamente, son similares para toda el sistema productivo de café (1,00), los cuales se comparan con los reportados por Sarcinelli y Ortega (2005), para diferentes haciendas agro ecológicas y convencionales ubicados en el estado de Sao Paulo. En la presente investigación se trabajó en base a 120 hectáreas conformado por varios productores de Satipo y Pangoa. En Brasil existen muchas haciendas donde se producen cantidades grandes de café con extensiones aproximadas.

El café orgánico de las haciendas Fortaleza y Pealton presentan menores valores de competitividad que todo el conjunto de productores asociados a la Cooperativa de Satipo. En el convencional se muestran resultados variables. La Cooperativa Pangoa es más competitiva que la hacienda Córrego, pero menos que la hacienda Sossego. Las características de esta hacienda es que tiene una extensión pequeña de 15 hectáreas de café, no presenta mecanización y es familiar interviniendo en las labores culturales. Los flujos emergéticos incorporados al sistema y sus cantidades determinan el nivel de competitividad de un sistema productivo.

El limón, la aceituna y la uva presentan EIR de 10,77; 4,69 y 4,14, respectivamente (Zucaro et al., 2010), mientras que el trigo ecológico y convencional presentan valores de EIR=3,70 y 6,24, respectivamente (Waureck et al., 2009). Concluimos que la competitividad medida bajo una metodología ambiental es diferente a la competitividad medida bajo estimaciones netamente económicas. Las ventajas comparativas determinan la competitividad de los sistemas productivos de café.

El Índice de sostenibilidad emergética (SI), definido como la razón entre EYR y ELR, es

una medida de la contribución potencial de un sistema (EYR) por unidad de carga ambiental o impacto ambiental (ELR), impuesto al área ocupada por el sistema. En teoría el menor valor posible de SI es cero, situación que solamente ocurre para ecosistemas maduros no explotados (F igual a cero). Por lo tanto, cuanto más alto fuera SI, menor es el impacto por unidad de energía primaria disponible para la sociedad. Según Brown y Ulgiati (2004) valores de SI inferiores a 1 indican sistemas que consumen recursos. Así, los valores superiores a 1 indican sistemas que contribuyen con la liberación de recursos disponibles para el aprovechamiento por el sector económico sin afectar el equilibrio del medio ambiente. Así, valores inferiores a 1 están asociados a economías altamente desarrolladas y orientadas para el consumo, valores de SI entre 1 y 10 están asociados a economías en vías de desarrollo.

El índice de sostenibilidad del café orgánico (2,00) es mayor que el convencional (1,98) siendo el sistema de café orgánico el que afecta en menor grado el equilibrio del medio por tanto es más sostenible ambientalmente que el café convencional. Los valores reportados para SI en el café convencional de Brasil y Nicaragua fueron menores a la unidad ascendientes a 0,35 y 0,13, respectivamente (Giannetti et al., 2011). En consecuencia los índices de sostenibilidad ambiental del Perú representan un mejor desempeño. El buen desempeño de la cadena productiva del café se debe a la buena cantidad de recurso humano incorporado en las labores de producción.

V. CONCLUSIONES

Es factible identificar y construir el sistema de producción de café orgánico y convencional de la selva central peruana considerando todas las etapas que se desarrollan, incluyendo los flujos incorporados. El sistema productivo de café orgánico utiliza menor cantidad de materiales y servicios provenientes de los mercados de bienes y servicios que el sistema de café convencional, siendo la etapa de producción localizada en la provincia de Satipo la que presenta mayor demanda con respecto a las demás etapas. La diferencia entre el café orgánico y el convencional está dada

por los requisitos que exigen los organismos que certifican el producto. Las etapas de servicios, procesos e insumos incorporados son similares para ambos sistemas. Dentro de los servicios de la economía, los valores de emergía de la mano de obra demuestran que los sistemas de café orgánico y convencional incorporan cantidades importantes de este servicio. Los sistemas de producción de café de la selva central peruana mostraron ser sostenibles ambientalmente.

VI. AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento al FINCyT (Fondos para la Innovación, Ciencia y Tecnología) por el financiamiento del presente trabajo, a los productores de café de Satipo y San Martín de Pangoa, a los trabajadores y técnicos de las Cooperativas Cafetaleras de Satipo; y a la empresa Café Perú, por las facilidades brindadas para llevar a cabo este estudio.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Odum H. Environmental Accounting. Gainesville, Florida, USA: John Wiley & Sons, Inc.; 1996.
- [2] Giannetti B., Ogura Y., Bonilla S., Almeida C. Emergy assessment of a coffee farm in Brazilian Cerrado considering in a broad form the environmental services, negative externalities and fair price. *Agricultural Systems* 104: 697 – 688.
- [3] Lomas P., Di Donato M., Ulgiati S. La síntesis emergética: una valoración de los servicios de los ecosistemas con base termodinámica. *Revista Ecosistemas* 2007;16 (3):36-44.
- [4] Guillén HA (s/f). Contabilidad ambiental usando emergía: Caso 2: Sostenibilidad de sistemas agro-silvícolas y agro-industriales en Chiapas, México. México: Universidad Autónoma de Chiapas [Fecha de consulta: 6 de noviembre de 2011].
- [5] Siche R.B. Avaliação ecológica - termodinâmica e econômica de nações: o Perú como estudo de caso. [Tesis Doctoral]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas; 2007.
- [6] Sarcinelli O., Ortega E. Emergy Analysis and Bookkeeping Accounting of Conventional and Organic Coffee Production in Brazil. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Facultad de Ingeniería de Alimentos. Brasil; 2004.
- [7] Ostergard H., Ville M. Energy Self-sufficiency from an Emergy Perspective Exemplified by a Model System of a Danish Farm Cooperative. *Emergy Synthesis 6. Theory and Applications of the Emergy Methodology*. Florida, USA: University of Florida; 2010.
- [8] Zucaro A., Mellino S., Viglia S., Ulgiati S. Emergy Evaluation of Italian Agriculture Across Space and Time Scales. *Emergy Synthesis 6: Theory and Applications of the Emergy Methodology*. Florida, USA: University of Florida; 2010.
- [9] Cavalett O. Análise do Ciclo de Vida da Soja [tese doutorado]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos; 2008.
- [10] Brown M, Ulgiati S. *Emergy Analysis and Environmental Accounting*. 2004; 2: 329–353.
- [11] Cuadra M., Rydberg T. Emergy evaluation on the production, processing and export of coffee in Nicaragua. 2006 July;196 (3-4): 421-433.
- [12] Fernandez C. Avaliação da Sustentabilidade Ampliada de Produtos Agroindustriais. Estudo de caso: Suco de Laranja e Etanol [tese doutorado]. Campinas: Universidade Estadual de Campinas, Departamento de Engenharia de Alimentos; 2008.
- [13] Waureck A., Eurich J., Weirich Neto P., Rocha C. Estudo da Sustentabilidade Através de Índices Emergéticos em Dois Sistemas de Produção de Trigo. Ponta Grossa: Universidade Estadual de Ponta Grossa; 2009.