

# **Emergía de tres sistemas agroforestales en el sur del municipio de Lempira, Honduras**

## **Emergy of tree agroforestry systems in southern Lempira, Honduras**

*Óscar I. Ferreira C.<sup>1</sup>, María del Pilar Hurtado S.<sup>1</sup>, Edwin García<sup>1</sup>, Carmen Rosa Bonilla Correa<sup>2</sup>, Idupulapati M. Rao<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), AA 6713. Cali, Colombia.

<sup>2</sup>Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, Colombia.

Autor para correspondencia: crbonillac@unal.edu.co

Recibido: 17-07-2008 Aceptado: 08-06-2010

### **Resumen**

Se evaluaron el uso de recursos y la sostenibilidad de tres sistemas agroforestales (bosque secundario-BS, tala y quema-TQ y sistema conservacionista Quesungual-SAQ). Se utilizaron datos de 15 parcelas de 200 m<sup>2</sup> ubicadas entre 14° 05' N y 88° 30' W y transformicidades reportadas en otros estudios. Los mayores valores de emergía se presentaron en la variable Lluvia (1.35E15 sej/ha por año) y las mayores diferencias de emergía entre sistemas se observaron en suelo erosionado, especialmente en TQ, BS y SAQ tuvieron mayor Razón de Carga Ambiental que TQ (0.63, 0.14 y 0.02, respectivamente). El sistema TQ presenta el valor más alto del Índice de Huella Ecológica seguido por SAQ y BS. El Índice de Sostenibilidad de Emergía del sistema TQ fue 34.8, el de SAQ = 135.6 y el de BS = 4123.8, con mayores valores de sostenibilidad en el SAQ y el BS, lo cual indica que son sistemas que favorecen el uso de recursos renovables y locales.

**Palabras clave:** Sostenibilidad, sistemas agroforestales, índices de emergía, recursos renovables.

### **Abstract**

Resource use and sustainability of three agroforestry systems (Secondary Woods – BS; Fell and Burn – TQ; and Quesungal Conservation mode – SAQ) were evaluated by analyzing data from fifteen 200 m<sup>2</sup> plots (14° 05' N; 88° 30' W), making use of transformity values reported in other related studies. The highest emergy values were observed for the variable rain (1.35E15 sej/ha per year); and the largest emergy differences were found in eroded soils, especially those of TQ. BS and SAQ exhibited a greater Environmental Load Ratio than TQ (0.63, 0.14 and 0.02, respectively). TQ showed the largest Ecological Footprint Index value, followed by SAQ and BS. Emergy Sustainability Index for TQ was 34.8, whereas SAQ and BS reached respective values of 135.6 and 4,123.8. The latter two data, as compared to the former, reveal how these systems (SAQ and BS) favor the use of local renewable resources.

**Keywords:** Sustainability, agroforestry systems, emergy indices, renewable resources

## Introducción

El Sistema Agroforestal Quesungual -SAQ ('Río de los pájaros de pluma rica', en lengua lenca) combina prácticas indígenas e información técnica en los principios de manejo: no quema, uso de coberturas ('mulch', cultivos y árboles), mínimo disturbio del suelo (siembra directa) y manejo de la regeneración natural (FAO, 2005, Wélchez et al., 2006). Se documentó en 1992 cuando técnicos de la FAO observaron 'lunares verdes' en medio del paisaje devastado por las quemadas, el sistema fue nombrado 'Quesungual' por L. A. Wélchez, por el lugar donde se describió por primera vez (Hellin et al., 1999; FAO, 2004).

Los agricultores identificaron entre otras ventajas del SAQ, la retención de la humedad del suelo, producción de madera y leña, mayor tiempo de cultivo de las parcelas, más producción agrícola y protección de la superficie del suelo por la cobertura provista en la poda de árboles (Hellin et al., 1999; FAO, 2005). Los cultivos sembrados en el SAQ son maíz (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), árboles maderables como el laurel (*Cordia alliodora* Ruiz y Pav.) y el guachipilín (*Diphysa robinoides* Benth.) y frutales como el nance (*Byrsonima crassifolia* L.) y la guayaba (*Psidium guajava* L.).

Ante el reto de alimentar una población cada vez mayor, con recursos energéticos en disminución y recursos ambientales finitos, es importante evaluar la sostenibilidad de los sistemas, mediante herramientas como la Huella Ecológica, Producto Neto Nacional 'Verde' y la Emergía (Hlidkvist, 2005).

La emergía es una herramienta utilizada para evaluar el uso de los recursos y la sostenibilidad de los sistemas de producción (Odum, 1996). La evaluación de emergía cuantifica los recursos naturales y económicos, sobre una base común, los julios de emergía solar (sej) y, de esta manera, se pueden cuantificar y comparar las contribuciones naturales y económicas requeridas para producir los rendimientos agrícolas (Odum, 1996). La emergía expresa la energía disponible de una clase previamente consumida, para elaborar un producto o servicio y se utiliza para generar índices de sostenibilidad y del uso de los recursos naturales y econó-

micos. La emergía solar se utiliza para determinar los valores del trabajo ambiental y humano en un sistema, considerándola como la máxima fuente de energía (Odum, 1995; Odum, 1996; Diemont et al., 2006).

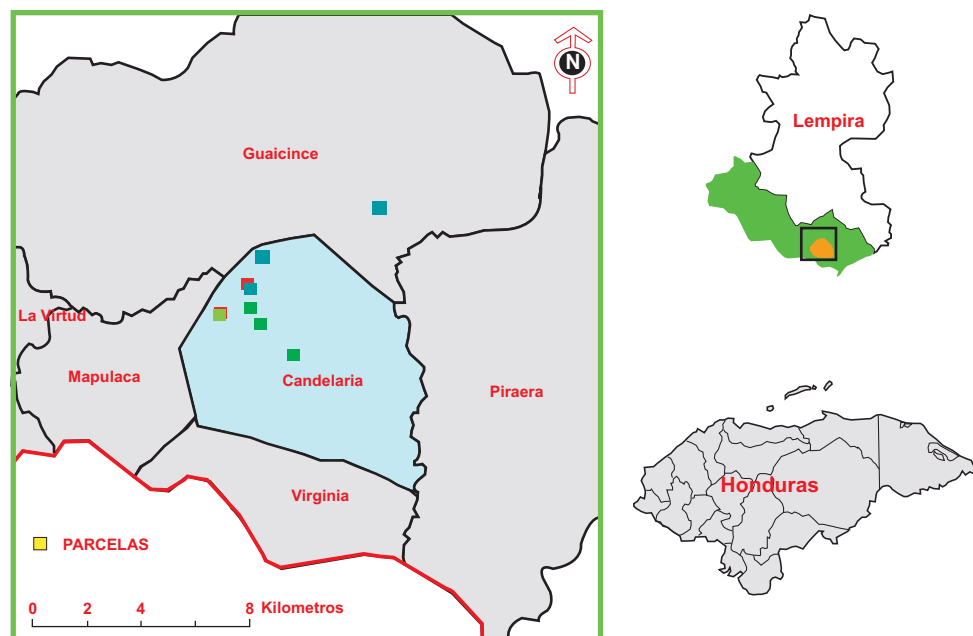
El objetivo de este estudio fue realizar una evaluación de emergía y calcular índices de emergía para los sistemas SAQ, la agricultura tradicional de sistemas TQ y BS en el sur de Lempira, Honduras.

## Materiales y métodos

El estudio se realizó en quince fincas (14° 05' N, 88° 30' O) localizadas en las comunidades de Camapara, El Obrajito, San Lorenzo, Portillo Flor, Gualmuraca y Quesungual, en los municipios de Candelaria y Gualcinse (14° 05' N, 88° 30' O,) en el sur del departamento de Lempira, República de Honduras (Figura 1, Cuadro 1).

Algunas de las características del área de este estudio son: ecosistema de bosque seco tropical, temperatura promedio 25 °C, precipitación anual de 1400 mm y con una época lluviosa de mayo a octubre. Predominan suelos Lithic Ustorthents (Entisoles) provenientes de rocas ígneas e intrusivas, con contenidos de materia orgánica de 3.4%, pH de 4.5 y baja disponibilidad de fósforo (3.5 mg/kg) (Hellin et al., 1999).

Se emplearon cinco tratamientos, utilizando tres fincas por cada uno de ellos. Los tratamientos fueron: Sistema de tala y quema (TQ), sistema Quesungual (SAQ) < de 2 años, SAQ entre 5 y 7 años, SAQ > 10 años y Bosque Secundario (BS). Para la evaluación de emergía se utilizó la metodología aplicada por Diemont (Diemont et al., 2006; Trujillo, 1998). La metodología consistió en: (1) Recopilación de la información de las parcelas del estudio y las transformaciones utilizadas en estudios anteriores. Para ello, se recopiló información sobre recursos renovables (luz solar, lluvia, semillas y mano de obra familiar) y no-renovables (suelo erosionado), recursos adquiridos (insumos y la mano de obra extra predial) y producción de los sistemas. Se obtuvo información de los insumos adquiridos para la producción, las labores anuales realizadas por el agricultor y los rendimientos e ingresos anuales de



**Figura 1.** Localización del estudio de evaluación de emergencia en el sur de Lempira, Honduras.

**Cuadro 1.** Fincas con diferentes agroecosistemas utilizadas como tratamiento para la determinación de emergencia en sur de Lempira, Honduras.

Finca No.	Tratamiento	Comunidad	Coordenadas UTM		Altitud (m.s.n.m.)
			x	y	
1	Tala y quema	El Obrajito	327451	1554939	451
2	Tala y quema	Camapara	328193	1555810	511
3	Tala y quema	Camapara	328405	1555516	563
4	SAQ <2	El Obrajito	327439	1555015	439
5	SAQ <2	Camapara	328141	1555741	491
6	SAQ <2	Camapara	328460	1555516	561
7	SAQ 5-7	San Lorenzo	328927	1554693	558
8	SAQ 5-7	San Lorenzo	328916	1555231	514
9	SAQ 5-7	Gualmuraca	330104	1553618	378
10	SAQ >10	Camapara	328280	1555656	522
11	SAQ >10	Portillo Flor	328974	1556950	683
12	SAQ >10	Quesungual	333189	1558678	819
13	Bosque secundario	El Obrajito	327418	1554963	490
14	Bosque secundario	Camapara	328199	1555805	518
15	Bosque secundario	Camapara	328386	1555511	565

los sistemas de producción. Se consultó la información de la precipitación y del suelo erosionado por año, para cada uno de los sistemas. (2) Elaboración de diagramas de los sistemas ilustrando los componentes y las interacciones (Odum, 1971a). (3) Cálculo de emergencia y las transformicidades cuantifi-

cando las entradas anuales de cada sistema, en las unidades básicas (J, horas, dólares) para obtener los valores por año (J/año, h/año o \$/año), los cuales se multiplicaron por el valor de transformicidad (en sej/J), dando como resultado el valor de emergencia en julios de emergencia solar por año o sej/año.

Para normalizar los datos por superficie, se dividió el valor de sej/año entre la superficie del sistema, para obtener el valor de energía en sej/ha por año. Se calcularon los totales de energía para cada una de las secciones de Recursos Renovables y No-Renovables, Recursos Adquiridos (Comprados) y Recursos Exportados, y con base en esto se analizó el mejor sistema sostenible

### Resultados y discusión

En los diagramas de los sistemas de TQ, SAQ y BS (Figuras 2, 3 y 4) se observan las entradas como luz del sol, lluvia y semillas, los cuales son recursos renovables obtenidos localmente; y las entradas de la economía como los suministros (insumos) y la mano de obra, que son recursos importados no-renovables. También se observan los dispositivos de almacenamiento de energía, como el sue-

lo, las semillas y el dinero que guardan los productores como producto de transacciones. Las salidas de los sistemas se presentan como suelo erosionado, el cual se considera como un recurso no-renovable, pérdida de energía (por entropía) y en la producción de los sistemas (productos exportados) como maíz, frijol y leña, entre otros.

En la Evaluación de Energía (Cuadros 2, 3 y 4) se presentan los valores de energía, transformicidades, energía por año y hectárea, emdólares (Em\$) y los flujos de energía de cada uno de los sistemas, especificando los Recursos Renovables, No-Renovables y los Comprados, los cuales fueron identificados en los anteriores diagramas de los sistemas.

En el sistema TQ (Cuadro 2) el suelo erosionado tiene un valor de energía alto, en comparación con los sistemas SAQ y BS, con 10.20E13 y 0.63E13 sej/ha por año, respectivamente (Cuadros 3 y 4).

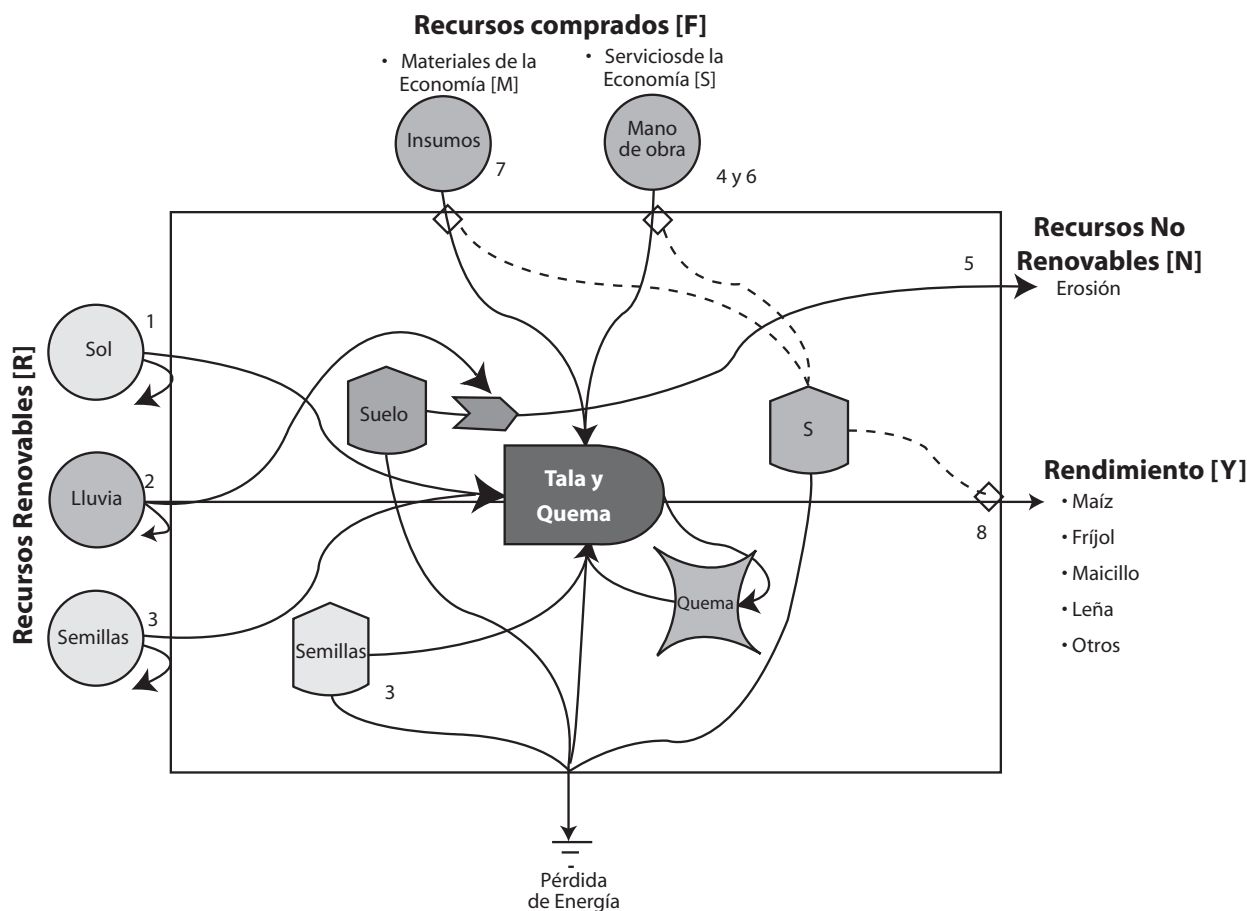


Figura 2. Diagrama de Tala y Quema (TQ) en estudio de energía en el sur de Lempira, Honduras.

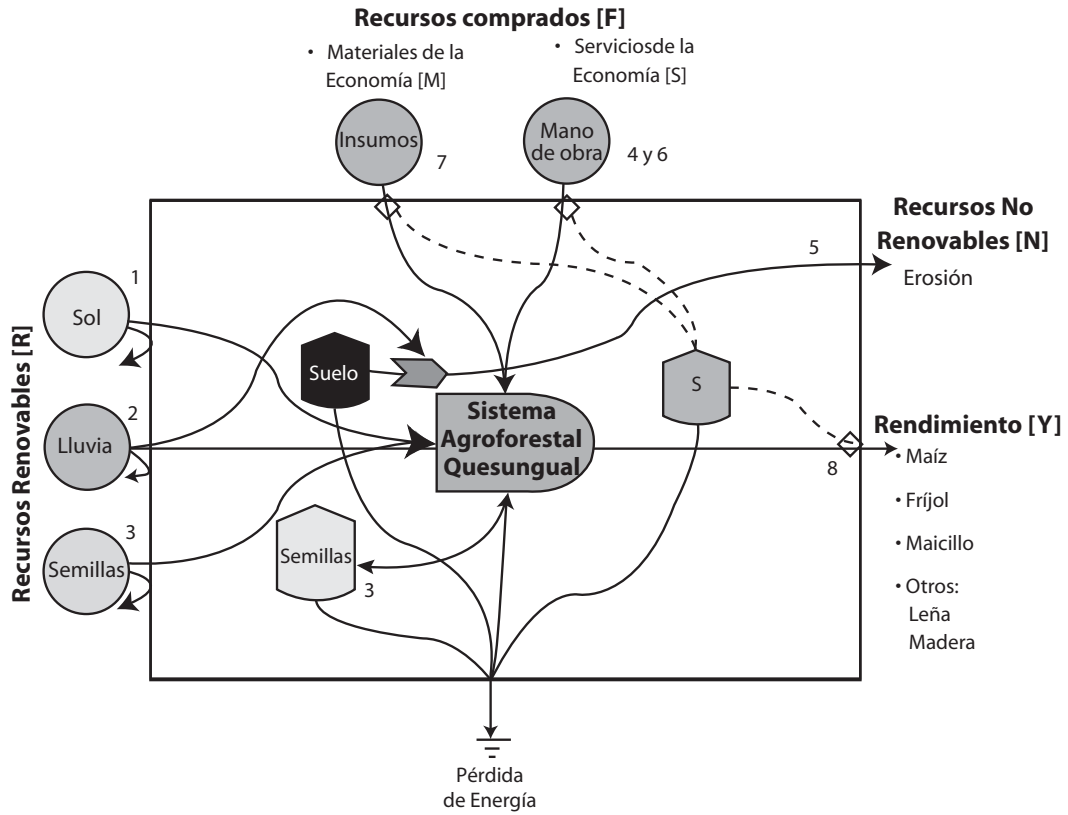


Figura 3. Diagrama del SAQ en estudio de energía en sur de Lempira, Honduras.

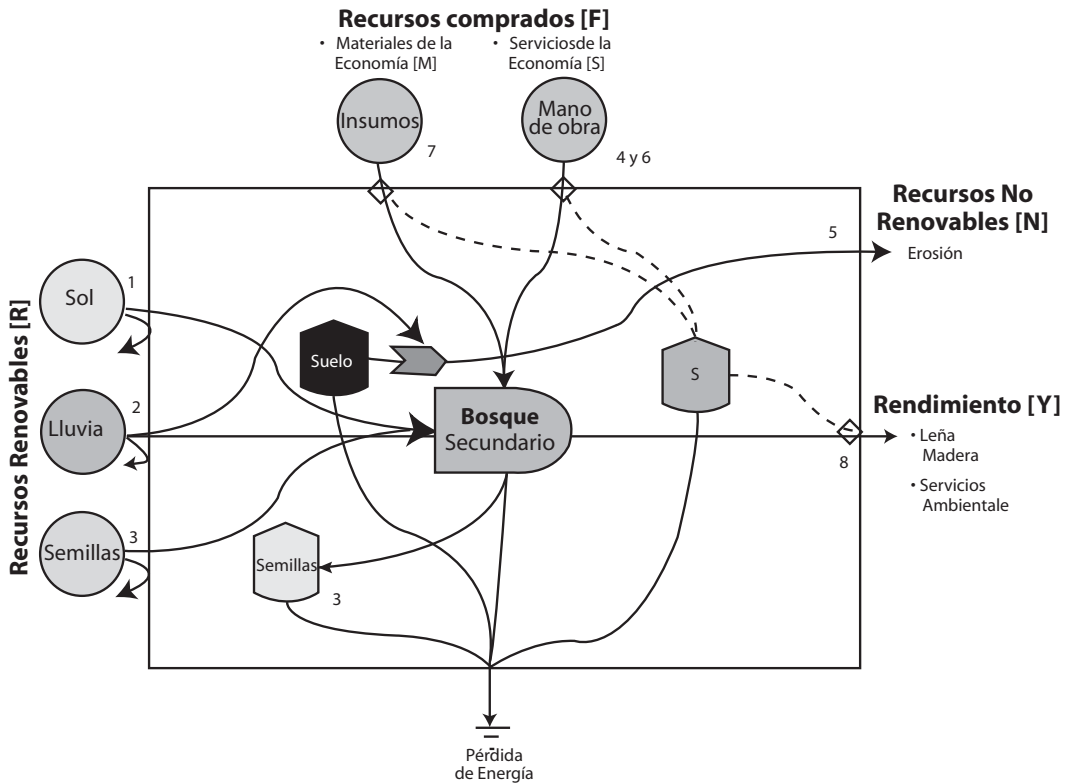


Figura 4. Diagrama del BS en estudio de energía en el sur de Lempira, Honduras

**Cuadro 2.** Evaluación de emergía en sistema TQ en el sur de Lempira, Honduras. 2006.

Nota Ítem	Unidad	Valor (unidad/año)	Transformicidad <sup>a</sup> (sej/unidad)	Emergía (sej/año)	Emergía (sej/ha/año E13)	Valor en Em\$ (2006 \$/año <sup>b</sup> )
<b>Recursos renovables</b>						
1 Luz Solar	J	1.97E+12	1.00E+00	1.97E+12	6.55	3.88
2 Lluvia	J	2.22E+09	1.82E+04	4.05E+13	134.86	79.80
3 Semillas	J	6.59E+03	3.64E+05	2.40E+09	0.01	0.005
4 Mano de obra (renovable)	h	5.60E+01	6.99E+12	9.04E+12	30.14	17.83
Máximo de entradas renovables [R]				<b>4.05E+13</b>	<b>134.86</b>	
<b>Recursos no renovables</b>						
5 Suelo Erosionado [N]	J	3.60E+08	6.25E+04	<b>2.25E+13</b>	<b>74.92</b>	44.33
Suma de entradas renovables y no renovables [I]				<b>6.29E+13</b>	<b>209.78</b>	
<b>Recursos comprados</b>						
<b>Entradas de servicios</b>						
6 Mano de obra (no renovable) [S]	h	5.60E+01	6.99E+12	2.70E+12	9.00	5.33
<b>Entradas de materiales</b>						
7 Suministros [M]	\$	5.45E+00	1.88E+12	1.02E+13	1.02	0.61
Suma de entradas compradas [F]				<b>1.29E+13</b>	<b>10.03</b>	
Emergía total [Y]				<b>7.59E+13</b>	<b>219.81</b>	
<b>Recursos exportados</b>						
8 Productos múltiples	J	2.79E+08			0.001	0.003

a. sej: solar emjoule o emjulio solar

b. 1.69E13, en sej/\$: Índice Nacional Monetario de Emergía para Honduras, 2000, Sahel Project-UFL

**Cuadro 3.** Evaluación de emergía en SAQ en el sur de Lempira, Honduras. 2006.

Nota Ítem	Unidad	Valor (unidad/Año)	Transformicidad <sup>a</sup> (sej/unidad)	Emergía (sej/año)	Emergía (sej/ha/año E13)	Em\$ (2006 \$/año <sup>b</sup> )
<b>Recursos renovables</b>						
1 Luz Solar	J	1.97E+12	1.00E+00	1.97E+12	6.55	3.88
2 Lluvia	J	2.22E+09	1.82E+04	4.05E+13	134.86	79.80
3 Semillas	J	6.59E+03	3.64E+05	2.40E+09	0.01	0.005
4 Mano de obra (renovable)	h	4.50E+01	6.99E+12	7.27E+12	24.22	14.33
Máximo de entradas renovables [R]				<b>4.05E+13</b>	<b>134.86</b>	
<b>Recursos no renovables</b>						
5 Suelo Erosionado [N]	J	4.90E+07	6.25E+04	<b>3.06E+12</b>	<b>10.20</b>	6.03
Suma de entradas renovables y no renovables [I]				<b>4.35E+13</b>	<b>145.06</b>	
<b>Recursos comprados</b>						
<b>Entradas de servicios</b>						
6 Mano de obra (no renovable) [S]	h	4.50E+01	6.99E+12	2.17E+12	7.23	4.28
<b>Entradas de materiales</b>						
7 Suministros [M]	\$	5.45E+00	1.88E+12	1.02E+13	1.02	0.61
Suma de entradas compradas [F]				<b>1.24E+13</b>	<b>8.26</b>	
Emergía Total [Y]				<b>5.59E+13</b>	<b>153.32</b>	
<b>Recursos exportados</b>						
8 Productos múltiples	J	4.74E+09			0.02	0.01

a. sej: solar emjoule o emjulio solar.

b. 1.69E13, en sej/\$: Índice Nacional Monetario de Emergía para Honduras, 2000, Sahel Project-UFL



**Cuadro 4.** Evaluación de emergencia en BS en el sur de Lempira, Honduras. 2006.

Nota	Ítem	Unidad	Valor (unidad/ año)	Transformicidad <sup>a</sup> (sej/unidad)	Emergía (sej/año)	Emergía (sej/ha/año E13)	Valor (Em\$2006 \$/año <sup>b</sup> )
<b>Recursos renovables</b>							
1	Luz Solar	J	1.97E+12	1.00E+00	1.97E+12	6.55	3.88
2	Lluvia	J	2.22E+09	1.82E+04	4.05E+13	134.86	79.80
3	Semillas	J	6.59E+03	3.64E+05	2.40E+09	0.01	0.00
4	Mano de obra (renovable)	H	5.00E+00	6.99E+12	8.07E+11	2.69	1.59
	Máximo de entradas renovables [R]				<b>4.05E+13</b>	<b>134.86</b>	
<b>Recursos no-renovables</b>							
5	Suelo Erosionado [N]	J	3.01E+06	6.25E+04	<b>1.88E+11</b>	<b>0.63</b>	0.37
	Suma de entradas renovables y no renovables [I]				<b>4.06E+13</b>	<b>135.49</b>	
<b>Recursos comprados</b>							
<b>Entradas de servicios</b>							
6	Mano de obra (no renovable) [S]	H	5.00E+00	6.99E+12	2.41E+11	0.80	0.48
<b>Entradas de materiales</b>							
7	Suministros [M]	\$	5.45E+00	1.88E+12	1.02E+13	1.02	0.61
	Suma de entradas compradas [F]				<b>1.05E+13</b>	<b>1.83</b>	
	Emergía Total [Y]				<b>5.11E+13</b>	<b>137.32</b>	
<b>Recursos exportados</b>							
8	Productos múltiples	J	5.16E+09			0.02	0.01

a. sej: solar emjoule o emjulio solar.

b. 1.69E13, en sej/\$: Índice Nacional Monetario de Emergía para Honduras, 2000, Sahel Project-UFL

En los tres sistemas, la lluvia proporciona valores de emergencia de 134.86E13 sej/ha por año, seguido de luz solar y semillas, con 6.55E13 y 0.01E13 sej/ha por año, respectivamente.

La lluvia fue la entrada de emergencia que más influyó en los sistemas evaluados (Figura 5). En suelo erosionado se dio la mayor diferencia entre los sistemas, seguido de mano de obra renovable, y en ambos casos, el sistema TQ presentó mayores valores de emergencia. Las variables de luz solar, suministros y semillas presentaron valores de emergencia mínimos. El sistema TQ (Figura 6) mostró los mayores valores en el uso de recursos no-renovables y comprados con 75E13 y 10E13 sej/ha por año, respectivamente, seguido del sistema SAQ (Figura 7), con 10E13 y 5E13 sej/ha/año, respectivamente. Por último, el sistema BS (Figura 8) presentó niveles muy bajos, con 0.6E13 y 2E13 sej/ha por año, respectivamente.

Los índices de emergencia (Cuadro 5) se calcularon con los datos de recursos renovables, no-renovables y comprados, a partir de las tablas de evaluación de emergencia de los sistemas (Cuadros 2, 3 y 4).

El bosque secundario presentó el mayor radio de producción y el menor radio de inversión. El sistema tala y quema presentó la mayor carga sobre el ambiente, como lo indica el mayor valor en el radio de carga ambiental y en el índice de huella ecológica. La mayor presión sobre el ambiente está relacionada con el menor uso de recursos renovables, como lo demuestra en el bajo valor en el Índice de Emergía Renovable Capturada y en la Fracción Renovable. De acuerdo con el índice de sostenibilidad, el sistema SAQ es más sostenible que el tradicional de TQ. El sistema BS presentó el mayor índice de sostenibilidad.

El sistema bosque secundario reveló el mayor radio de producción y el menor radio de

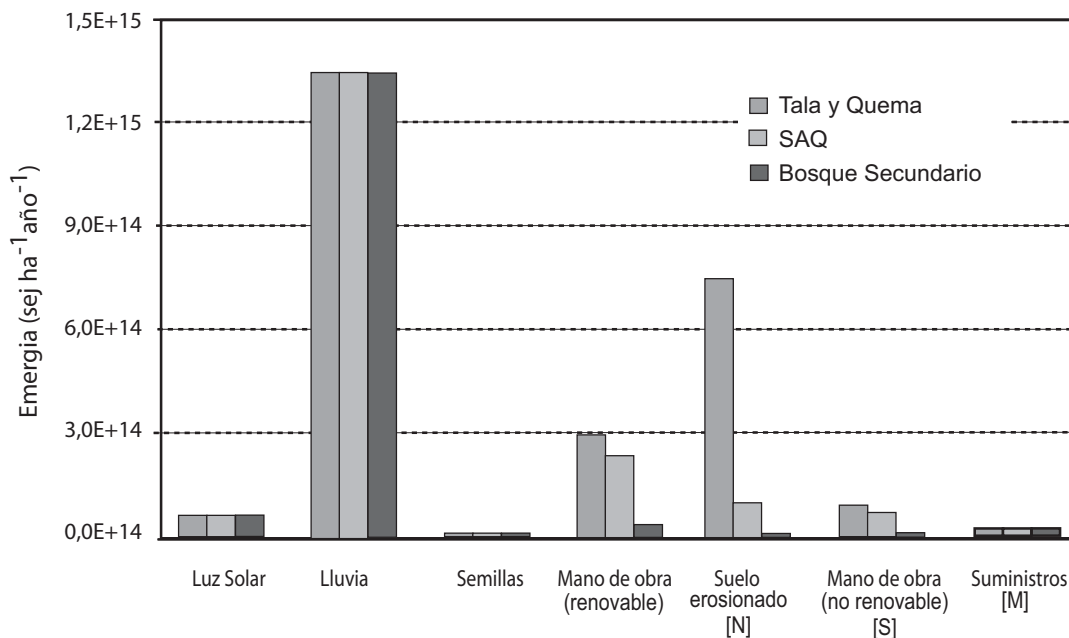


Figura 5. Diagrama de energía por entrada en tres tratamientos del estudio de energía en el sur de Lempira, Honduras.

Cuadro 5. Índices de energía para tres tratamientos en evaluación de energía en el sur de Lempira, Honduras.

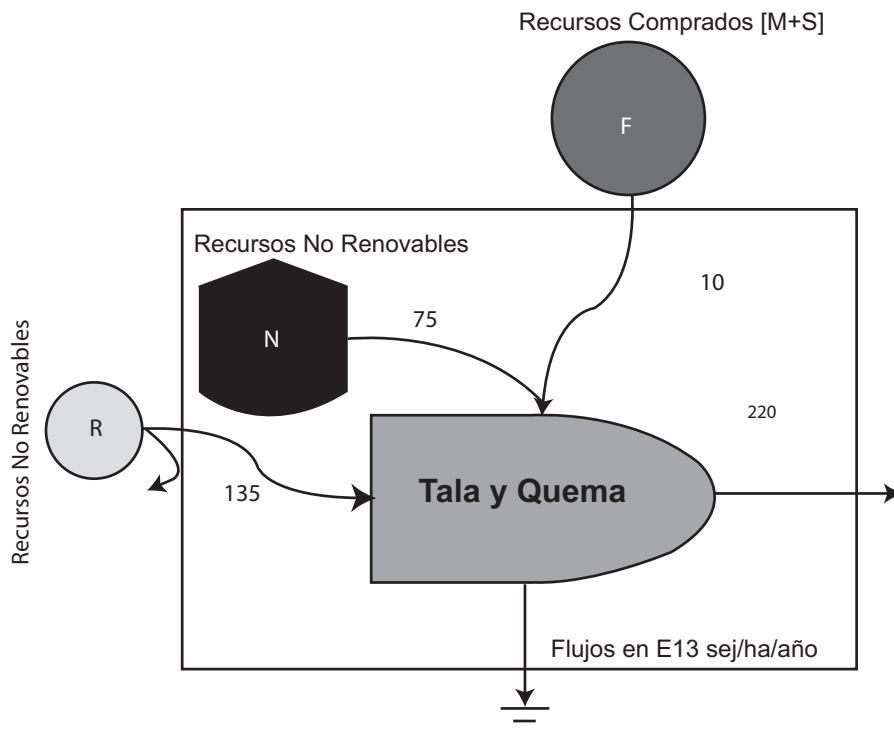
No.	Índice	Tala y quema	SAQ	Bosque Secundario
1	Flujo de energía renovable (sej/ha/año)	1.35E+15	1.35E+15	1.35E+15
2	Flujo de energía no renovable (sej/ha/año)	7.49E+14	1.02E+14	6.28E+12
3	Flujo de energía comprado (sej/ha/año)	1.00E+14	8.26E+13	1.83E+13
4	Densidad de potencia de energía (sej/ha/año)	2.20E+15	1.53E+15	1.37E+15
5	Radio de producción de energía	21.92	18.56	75.10
6	Radio de inversión de energía	0.05	0.06	0.01
7	Radio de carga ambiental	0.63	0.14	0.02
8	Índice de energía renovable capturada	13.45	16.33	73.76
9	Fracción renovable	0.61	0.88	0.98
10	Índice monetario de energía	130.06	90.72	81.25
11	Índice de huella ecológica	1.63	1.14	1.02
12	Índice de sostenibilidad de energía	<b>34.80</b>	<b>135.63</b>	<b>4123.79</b>

inversión. La tala y quema presenta la mayor carga sobre el ambiente, como lo indica el mayor valor en el radio de carga ambiental y en el índice de huella ecológica. Esta mayor carga sobre el ambiente está relacionada con el menor uso de recursos renovables, como lo demuestra en el bajo valor en el índice de energía renovable capturada y en la fracción renovable. De acuerdo con el índice de sostenibilidad, el SAQ es un sistema más sostenible que el tradicional de TQ. El BS presenta el mayor índice de sostenibilidad.

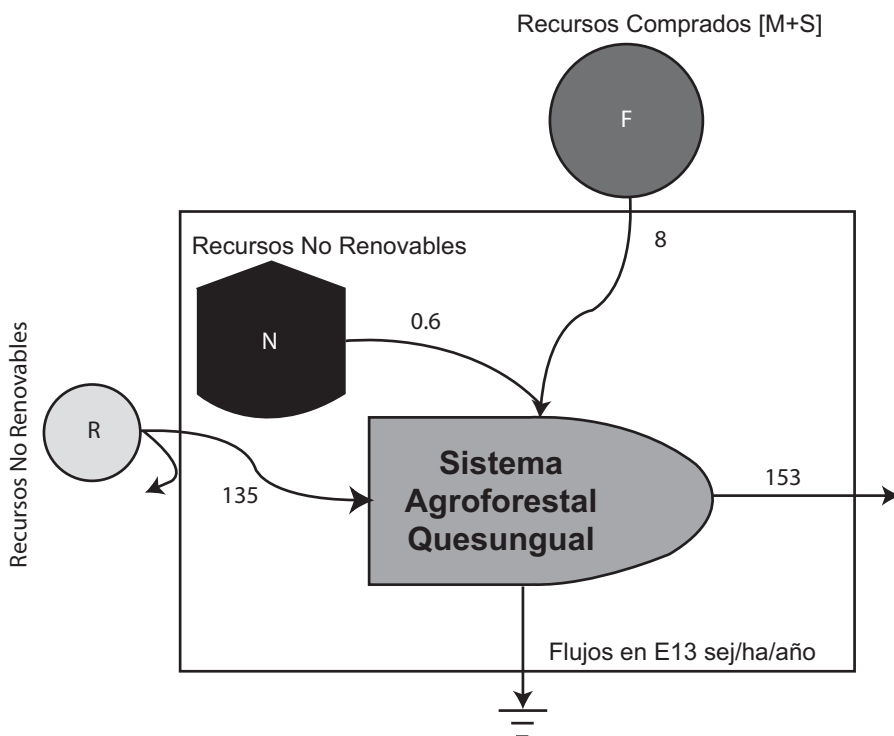
Los sistemas como el SAQ son más sostenibles debido a la reutilización de sus fuentes energéticas y a la recirculación de elementos, agua, fuentes de alimento para otros organismos y fuentes energéticas para uso humano.

El desarrollo de la energía y su base teórica no puede separarse del concepto de calidad de la energía. No es claro cuando Odum (1996), consideró que las diferentes fuentes de energía tenían calidades diversas (Brown y Ulgiati, 1999). Se sabe que en la década de

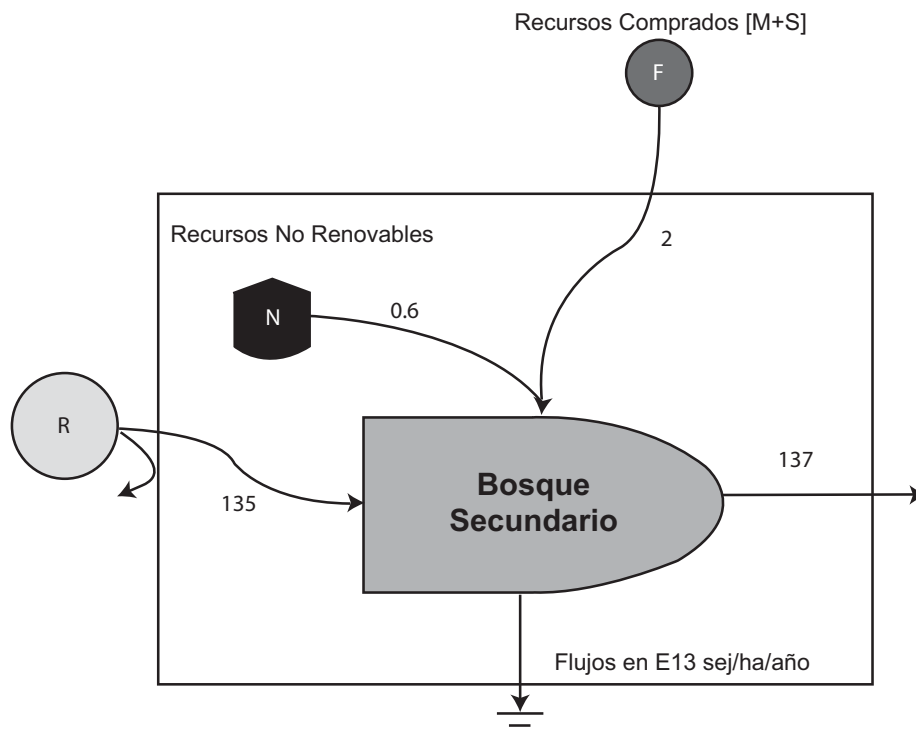




**Figura 6.** Diagrama total de TQ en evaluación de emergencia en el sur de Lempira, Honduras



**Figura 7.** Diagrama total de SAQ en evaluación de emergencia en el sur de Lempira, Honduras.



**Figura 8.** Diagrama total de BS en evaluación de energía en el sur de Lempira, Honduras.

1950 y principios de 1960 se hizo el seguimiento de flujos de energía en los ecosistemas y esto se ve reflejado en las diferencias en el potencial de trabajo de energía entre los distintos componentes del sistema como la luz solar, el agua y las corrientes de viento, etc. A partir de estos conceptos se inició el desarrollo de una base totalmente nueva, con el fin de encontrar fuentes alternativas de energía y complementar las fuentes usuales de energía (carbón, petróleo) (Odum, 1971a).

El reconocimiento de los flujos de los procesos conduce al concepto de calidad de energía y finalmente a la medida de la calidad a través del concepto de emergía.

### Conclusiones

El SAQ es un sistema sostenible que favorece ampliamente el uso de recursos renovables y locales. Por el contrario, el sistema de TQ afecta los recursos y presenta un índice de sostenibilidad bajo. Se observaron mayores beneficios ambientales y ventajas del SAQ sobre el sistema tradicional de TQ.

### Agradecimientos

El estudio es parte del trabajo de Tesis de Maestría de O.I. Ferreira C. e hizo parte del Proyecto PN15: Quesungual Slash and Mulch Agroforestry System (QSMAS): Improving crop water productivity, food security and resource quality in the sub-humid tropics. Fue parcialmente financiado por el Challenge Program on Water and Food of CGIAR (CPWF) y co-ejecutado por el Consorcio para el Manejo Integrado de Suelos Frágiles de Centroamérica (MIS) y el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT).

### Referencias

- Brown, M.T.; Ulgiati, S., 1999. Emergy Evaluation of the Biosphere and Natural Capital. *Ambio*, 28(6): 486-493.
- Diemont, S., Martin, J.; Levy, S. 2006. Emergy evaluation of Lacandon Maya indigenous swidden agroforestry in Chiapas, Mexico. *Agroforestry Syst.* 66:23 - 42.
- FAO. 2004. Historia de un proceso de desa-

- rollo: Metodología del programa Lempira Sur. 122 p.
- FAO. 2005. El sistema agroforestal Quesungual: una opción para el manejo de suelos en zonas secas de ladera. Sistema de Extensión Lempira. 49 p.
- Hellin, J.; Wélchez, L.; Cherrett, I. 1999. The Quesungual system: an indigenous agroforestry system from western Honduras. *Agroforestry Syst.* 46:229 - 237.
- Hlidkvist, B. 2005. Primary emergy evaluation of Iceland: The question of a sustainable natural resource management. M.Sc. Thesis. Swede: Lund University. Sweden. 48 p.
- Odum, H.T. 1971a. *Environment, Power and Society*. John Wiley, NY. 336 pp.
- Odum, H. 1995. *Self-Organization and maximum empower*. Colorado University Press. p. 330.
- Odum, H. 1996. *Environmental accounting, emergy and decision making: Emergy evaluation*. University of Florida. 370 p.
- Trujillo, H. 1998. Sustainability of ecotourism and traditional agricultural practices in Chiapas, México. Ph.D. Thesis. University of Florida. USA. 246 p.
- Wélchez, L.; Ayarza, M.; Amézquita, E.; Barrios, E.; Rondón, M.; y Rao, I. 2006. Unravelling the mysteries of the Quesungual slash and mulch agroforestry. Paper presented at 18<sup>th</sup> World Congress of Soil Science, Philadelphia. 2 p.