

Sustentabilidad de Sistemas Agrosilvícolas y Agroindustriales en Chiapas, México.
por Hugo A. Guillén Trujillo¹

RESUMEN

Traditional analysis of cost-benefit does not include environmental variables in consideration. Emergy is a measure of all direct and indirect energy to produce a product. In emergy analysis, environmental, social and economic variables are included and indexes are calculated as tools of comparison for several systems. In this paper, the investment and environmental loading ratios are used to determine the sustainability of agroforestry and agroindustrial systems in Chiapas, Mexico. Emergy analysis are calculated for: 1) 33 hectares in forest extraction, 2) 10 hectares in forest extraction, 3) 1 hectare in shaded coffee cultivation, and 4) 1 hectare for industrialized sugar cane production.

INTRODUCCIÓN

Análisis tradicionales de costo-beneficio no incluyen variables ambientales en consideración. Emergía es una medida de toda la energía utilizada directa e indirectamente para producir un producto. En los análisis emergéticos las variables ambientales y socioeconómicas son incluidas y se calculan índices como herramienta de comparación para diferentes sistemas. En este trabajo, los índices de inversión (IR) y de carga ambiental (ELR) son utilizados para determinar la sustentabilidad de sistemas agrosilvícolas y agroindustriales en Chiapas, México. Al mismo tiempo se realizan análisis financieros de costo-beneficio, y los índices beneficio/costo y ganancia neta/costo se usan como indicadores de la rentabilidad del sistema. Análisis emergéticos y financieros son efectuados para: 1) 400 hectáreas de selva tropical para extracción de maderas tropicales, 2) 1 hectárea en cultivo de café en sombra usando fertilizantes, y 3) 1 hectárea en cultivo industrializado de caña de azúcar. También se hacen comparaciones con sistemas de cultivo de maíz, tanto migratorios como tecnificados.

DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS

SISTEMA AGROFORESTAL CON 400 HECTÁREAS. El sistema consiste de 400 hectáreas de selva mediana subperennifolia en la Colonia Agrícola Ganadera Felipe Ángeles del Municipio de Cintalapa, Chiapas, México. Los tipos principales de vegetación están compuestos por asociaciones de especies propias de las regiones tropicales destacando por su frecuencia *Nectandra globosa* (aguacatillo), *Brosimum alicastum* (mujú), *Hyperbaena mexicana* (manguillo), *Persea schiedeana* (chinine), *Guarea chichon* (calahuaste). El clima es cálido húmedo con abundantes lluvias en verano. La temperatura media anual es de 24.4°C con una precipitación media anual de 1,833.6 mm. La topografía del terreno es accidentada con pendientes que oscilan de 10 a 45%.

El sistema de explotación consiste en el aprovechamiento de recursos forestales maderables principalmente de especies tropicales. Las especies principales a extraer son *Platymiscium dimorphandrum* (hormiguillo), *cedrella odorata* (cedro), *guarea glabra* (cedrillo), *brosimum alicastrum* (mujú), entre otras. Los árboles a extraer deberán tener un diámetro mínimo de corta de 45 cm con una intervención máxima del 35% de la existencia. Las cuatrocientas hectáreas fueron divididas en 12 rodales de 33.33 hectáreas, por lo que el

¹ Profesor de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Autónoma de Chiapas;
hguillen@montebello.unach.mx

período de corta es de cada 12 años. En base a un inventario previo se determinó que con estas cuotas de extracción, el sistema es sustentable a largo plazo (Borja et al., 2001).

SISTEMA DE CULTIVO DE CAFE EN SOMBRA (1 HECTÁREA). Chiapas contribuye con el 30 por ciento de la extensión nacional dedicada al cultivo del café. Sin embargo, en este año, el cultivo de café ha sido considerado de baja rentabilidad debido a que los mercados internacionales están saturados y el precio del café es bastante bajo. Se seleccionó para el estudio una hectárea de café de sombra con uso de fertilizantes en el municipio de La Concordia, Chiapas, México; por ser representativa de muchas regiones del estado. El sistema que se eligió para este estudio es el sistema de monocultivo llamado especializado con producción de *coffea arabica*. Sus características son: 1) alto rendimiento, 2) densidades mayores de 1,200 plantas por hectárea, 3) sombra especializada, 4) dos a tres fertilizaciones por año, y 5) podas sistemáticas (Zavala, et al., 2001). Este café se cultiva preferentemente en terrenos ubicados entre 500 y 1,500 m.s.n.m con climas cálido húmedo y abundantes lluvias de verano. Las plantas que proporcionan sombra para este café son *Acacia virginalis* (acacia), *cajanus indicus* (gandul), *inga paterno* (paterno), *inga edulis* (cajinicuil), *eugenia jambos* (pomarroja), entre otras. La vida útil de una planta de café oscila entre los 15 y 25 años dependiendo de los sistemas de conservación y labranza. La producción promedio por hectárea de café es de 563.5 kg de café pergamino. Aunque con sistema de producción de café a pleno sol los rendimientos pueden llegar alcanzar hasta los 3,450 kg por hectáreas, el café de sombra tiene una función importante en la conservación de las selvas al requerir de una cobertura forestal permanente.

SISTEMA DE CULTIVO DE CAÑA DE AZUCAR TECNIFICADA (1 HECTÁREA). Para evaluar un sistema agroindustrial se seleccionó la producción de caña de azúcar por ser uno de los cultivos comerciales mas importantes en la región central de Chiapas. Los valores que se evalúan son resultado del promedio de datos de 3,686 hectáreas en producción de caña de azúcar ("scientific name" variedades Mex-57473 y Mex-69290) en los municipios de Venustiano Carranza y Las Rosas, Chiapas, México (Castillejos et al., 2001). Estos cultivos tiene una elevación promedio de 600 m.s.n.m. con clima cálido subhúmedo con lluvias en verano y un precipitación media anual de 1,218 mm. La temperatura media anual es de 25.3oC. La vegetación es escasa ya que anteriormente había selva caducifolia y fue reemplazada por vegetación de sabana. Aún se observan en las inmediaciones vestigios de selva media perennifolia cerca de las márgenes de los ríos. Para satisfacer la demanda de agua durante todo el año se construyeron presas derivadoras. Para 1999, se abastecieron alrededor de 3,500 m³ de agua con sistemas de canales de distribución a los campos de cultivo. Se calcula pérdidas de mas del 50% del volumen de agua debido a deficiencia y mala operación de estos sistemas de irrigación. Con nuevas tecnologías se ha incrementado la producción de caña de azúcar de 50 hasta 130 toneladas por hectárea. El promedio anual de este distrito es de 95 toneladas por hectárea.

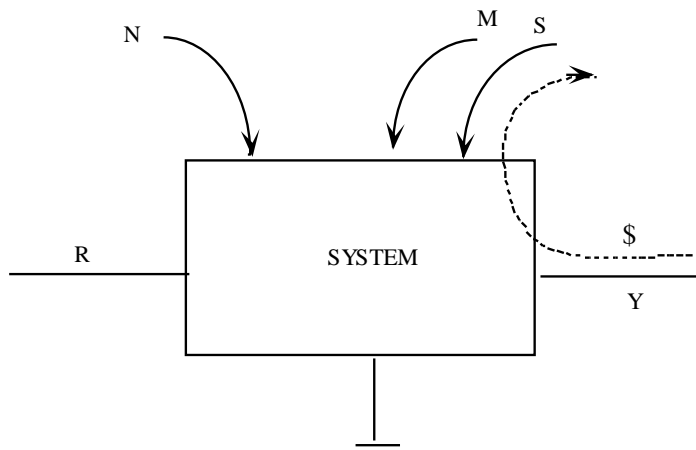
METHODS

Several different tools of analysis were used to address questions of sustainability of productive activities. Emergy analysis of the flows of energy, materials and labor were used to evaluate productive activities. Financial analysis was used to evaluate the economic benefits of productive activities. Information for each system was collected from experts in the region.

Emergy Analysis

The emergy analysis methodology is a top down systems approach and is designed to evaluate the flows of energy and materials of systems in common units that enable one to compare environmental and economic aspects of systems (Brown and Murphy, 1994; Odum, 1996). The first step in each of the emergy analyses was to construct a system diagram to organize thinking and relationships between components and pathways of exchange and resource flow. The second step was to construct an emergy analysis table directly from the diagram (see Appendix). The emergy flows were further aggregated (Figure 1) into environmental inputs (R and N), purchased feedbacks (M and S), and output products (Y). The final step involved calculating several emergy indices that related emergy flows of the economy with those of the environment, and allowed for the prediction of economic viability and carrying capacity (Table 1).

The investment ratio (IR) is the ratio of purchased inputs (economic inputs) to free emergies (renewable and nonrenewable) derived from local sources. The name is derived from the fact that it is a ratio of "invested" emergy to resident emergy. The investment ratio is a dimensionless number; the bigger the number the greater the amount of purchased emergy per unit of resident emergy. The environmental loading ratio (ELR) is a measure of potential impact or "loading" a particular development activity can have on its environment (Brown et al., 1992). It is the relationship of purchased emergy (M and S) plus resident nonrenewable emergy (N) to resident renewable emergy (R). This ratio can be used as an indicator of the appropriate level of development of the alternatives. Nearly all productive processes of humanity involve the interaction of nonrenewable resources with renewable sources from the environment. Low ELRs indicate relatively small "loading" on the ecosystem support base, while high ELRs reflect greater potential impact (Doherty and Brown, 1993). The ELR, an index of environmental loading, reflects the potential environmental strain or stress of a development when compared to the same ratio for the region.



R. Free renewable emergy of environmental inputs from such as sun, wind, and rain

N. Free nonrenewable resource emergy from the local environment such as soil, forest, wood, and minerals when used faster than produced

M. Purchased emergy of minerals, fuels, and raw materials brought to an area by the economic system, and

S. Purchased emergy in services and labor, the paid work of people.

Figure 1. Summary Diagram Showing the Main Flows of Emergy and Materials.

Financial Analysis

The economic appraisal suggested by Kiker and Lynne (1995) consist of the following steps: 1) to establish the socioeconomic boundaries associated with the alternative, 2) to identify the flows of important resources and outputs within and across the boundary, 3) to quantify the flows of resources and outputs within and across the boundary in multiple units, 4) to identify the benefits and costs associated with the alternative, 5) to quantify the monetary benefits and costs, and 6) to compare benefits and costs. The revenue/cost ratio is calculated in monetary terms.

RESULTADOS Y DISCUSION

Adicionalmente a los tres sistemas descritos en este trabajo, para efectos de comparación se incluyen en la Tabla 1, dos sistemas característicos de producción en el estado: 1) un sistema de producción de maíz usando el modelo rotatorio de cultivo con 12.5 hectáreas, y 2) un sistema de producción de maíz usando fertilizantes químicos; previamente evaluados por Guillén-Trujillo (1998).

El sistema agrosilvícola, indicado con el índice adquirido/libre (0.41, Tabla 1) es el sistema que depende menos de insumos externos. Setenta por ciento de su emergía para funcionar proviene de la lluvia (251E15 sej/yr, Tabla A-1) y puede observarse que es el sistema con el mayor uso de emergía, consecuencia de la extensa cantidad de selva tropical bajo uso. Esto implica que para su sustentabilidad a largo plazo deberá mantenerse el sistema con cuatrocientas hectáreas; y asegurarse que las cuotas de extracción de madera (28.3 m³/ hectárea/año) no sean rebasadas. También el sistema de extracción de madera de selvas tropicales tiene el índice de ganancia neta/costo mas alto (1.93, Tabla 1), de los tres sistemas analizados en este trabajo, indicando alta rentabilidad. Sin embargo, el sistema de milpa migratoria (12.5 hectáreas) resulta económicamente mas atractivo (ganancia neta/costo de 2.32) con menor extensión de tierra pero sus efectos en cuanto a mantenimiento de cobertura vegetal son menores. Desde el punto de vista de conservación de las selva tropicales, resulta mas adecuado el sistema de extracción forestal; sin embargo, se ha observado que este sistema actualmente no está siendo sostenible por las siguientes razones: 1) altas presiones de colonización, 2) decremento de las selvas tropicales en el estado al incrementarse la frontera agrícola, y 3) no se respetan las cuotas de extracción por falta de control y vigilancia.

Table 1. Emergy and Financial Ratios for Evaluating Productive Activities in Chiapas (2001).

	Corn Shifting cultivation (12.5	Corn cultivation with chemicals (1 hectare)	Agroforestry (400 hectares)	Shaded coffee (1 hectare)	Industrialized sugar cane (1
Ratios/Alternatives					

	hectares)		hectare)		
Emergency ratios:					
Purchased/free	0.74	5.68	0.41	9.35	16.26
Nonrenewable/renewable	0.10	5.98	0.03	7.74	18.27
Service/free	0.72	1.58	0.39	6.01	2.06
Service/resource	0.70	0.31	0.39	1.39	0.14
Developed/environment	0.87	8.14	0.44	19.85	20.89
Emergency Use (1E+15 sej)	22.27	8.70	360.34	15.39	28.54
Transformity (1E+05 sej/J)	3.64	2.38	0.38	9.14	0.21
Financial ratios:					
Net revenue/cost	2.32	1.05	1.93	0.47	1.50
Total revenue (US\$)	664	448	1,175,169	1,263	2,970
Total costs (US\$)	200	219	400,615	858	1,186
Net revenue (US\$)	464	229	774,554	405	1,784
Government subsidy (US\$)	126	50.53	0.00	52.63	36.84

FOOTNOTES:

- 1) US\$ = 9.5 Mexican pesos
- 2) Land opportunity cost and family labor are not included in any system.
- 3) Corn cultivation with chemicals is the TMF-MC (Palenque) system (Guillen-Trujillo, 1998).
- 4) Corn Shifting cultivation (12.5 hectares) is the system analyzed for Corozal in Guillen-Trujillo (1998).
- 5) Total revenue and costs does not include government subsidies

En el otro extremo de producción, que depende mayormente de las fuentes externas (M y S) en lugar de las internas (R y N) se encuentra la producción de caña de azúcar tecnificada. El índice de adquirido a libre es de 16.26 indicando su fuerte dependencia de los insumos, especialmente fertilizantes (9.8E15 sej/año) con un 34 por ciento de la energía total usada en el sistema (Tabla A-3). Sin embargo es una de las actividades productivas actualmente altamente redituables (ganancia neta/costo de 1.5, Tabla 1). Además de su alta dependencia externa, este sistema sustituye completamente los ecosistemas nativos del lugar.

El sistema de cultivo de café bajo sombra, podría considerarse como un sistema, en el punto intermedio de sistemas que dependen altamente del mantenimiento de selvas tropicales (i.e., milpa migratoria y extracción forestal) y sistemas que sustituyen completamente los ecosistemas nativos como son la producción de caña y maíz industrializados. El café bajo sombra mantiene una cobertura vegetal con una sustitución

moderada de la biodiversidad existente ya que para un mejor manejo se seleccionan árboles que den mejor sombra y fijen nitrógeno. Este es un sistema adecuado en las zonas de transición entre áreas protegidas y de uso intenso agrícola. El sistema de café bajo sombra fertilizado tiene también un alto índice de dependencia externa (libre/adquirido = 9.35, Tabla 1).

El requerimiento de mano de obra en el cultivo de café es muy elevado con respecto a los otros sistemas productivos debido a 1) manejo de la sombra, 2) condiciones de pendiente del terreno (comúnmente mayores del 15 %), 3) mantenimiento de las plantas de café y 4) las actividades de corte, selección y secado del grano. Esto se manifiesta en los índices servicio/libre y servicio/recursos de 6.01 y 1.39, respectivamente; los más elevados de todos los sistemas comparados. Actualmente, debido a las condiciones de producción en el mercado mundial, y la falta de mecanismos de los pequeños agricultores para darle valor agregado al café; el índice de ganancia neta/costo es menor que uno, indicando que el cultivo no es redituable. Políticas gubernamentales se han aplicado con subsidios para compensar a los pequeños cafeticultores de la región. Uno de los efectos inmediatos que se han observado en algunas regiones de Chiapas, es el cambio de cultivo de café al maíz, impactando tremendamente en el mantenimiento de cobertura forestal.

Finalmente, puede observarse en los cinco sistemas comparados, que aquellos sistemas con gran dependencia al exterior en insumos como los fertilizantes, reflejan un índice de carga ambiental (desarrollado/ambiente) mayores de uno. Dentro de estos sistemas se encuentran los sistemas productivos de maíz, café y caña de azúcar que usan químicos con índices de carga ambiental de 8.14, 19.85 y 20.89, respectivamente. Los sistemas que requieren de mayor área para su mantenimiento, como la milpa migratoria y la extracción forestal en selvas tropicales son mantenidos principalmente por recursos renovables. Sin embargo, su existencia a largo plazo se ve cuestionada por el incremento de población que requiere de mayor producción agrícola en menores extensiones.

CONCLUSIONES

El sistema de extracción forestal en selvas tropicales es el sistema que depende menos de insumos externos (índice adquirido/libre=0.41) y tiene el índice de ganancia neta/costos mas grande (1.93) de los tres sistemas analizados en este trabajo, indicando alta rentabilidad. Sin embargo, para su sostenibilidad a largo plazo deberá mantenerse el sistema con cuatrocientas hectáreas; y asegurarse que las cuotas de extracción de madera (28.3 m³/ hectárea/año) no sean rebasadas.

El sistema de producción de caña de azúcar tecnificada tiene una fuerte dependencia del exterior (adquirido/libre=16.26) con la compra de fertilizantes (9.8E15 sej/año). Sin embargo, es una de las actividades productivas actualmente altamente redituables (ganancia neta/costo=1.5). Su desventaja es que sustituye los ecosistemas nativos.

El sistema de cultivo de café bajo sombra, podría considerarse como un sistema, en el punto intermedio de sistemas que dependen altamente del mantenimiento de selvas tropicales (i.e., milpa migratoria y extracción forestal) y sistemas que sustituyen completamente los ecosistemas nativos como son la producción de caña y maíz industrializados. El café bajo sombra es un sistema adecuado en las zonas de transición entre áreas protegidas y de uso intenso agrícola. Sin embargo, las desventajas actuales de este sistema son: 1) alto índice de dependencia externa (libre/adquirido = 9.35) debido al uso de fertilizantes, 2) requiere bastante mano de obra (índice servicio/libre=6.01) y 3) tiene poca rentabilidad (índice de ganancia neta/costo= 0.47).

Finalmente, los sistemas industrializados (maíz y caña de azúcar) requieren menos área pero tienen gran dependencia externa y sustituyen los ecosistemas nativos. Los sistemas que mantienen una cobertura vegetal original o modificada (maíz migratorio, extracción forestal en selvas y café de sombra) son sustentables a largo plazo pero ante las presiones de población actuales tienden a ser sustituidos por los industrializados. Sin embargo, si la producción de café de sombra usa abono orgánico en lugar de químicos; y la extracción forestal en selvas es normada; estos sistemas agrosilvícolas pueden ser una alternativa sustentable productiva en las regiones donde sea posible su aplicación.

BIBLIOGRAFIA

Borja Texocotitla A.M., F.R. Arroyo y J.R. Ramos Moreno. 2001. Evaluación Emergética de un Sistema Forestal de Selva Media Bajo Manejo en la Colonia Agrícola y Ganadera Felipe Angeles del Municipio de Cintalapa, Chiapas. Trabajo de Evaluación del Diplomado en Valoración Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Brown, M.T., P. Green, A. Gonzalez, and J. Venegas. 1992. Emergy Analysis Perspectives, Public Policy Options, and Development Guidelines for the Coastal Zone of Nayarit, Mexico. Volume 1 and 2. Report to the Cousteau Society and the Government of Nayarit, Mexico. Center for Wetlands and Water Resources. University of Florida. Florida, USA.

Brown, M.T. and R.C. Murphy. 1994. Emergy Analysis Perspectives on Ecotourism, Carrying Capacity, and Sustainable Development. Center for Wetlands. University of Florida. Gainesville, FL.

Castillejos Nuñez J., M. de J. Mendez González, A. W. Rosales Valencia, A. Jonapá González y J. Martínez Pale. 2001. Proyecto de Caña de Azúcar Tecnificada de una Hectárea de la Localidad Echpoiná (Módulo 01) en el Distrito de Riego 059 Río Blanco del Municipio de Venustiano Carranza, Chiapas. Trabajo de Evaluación del Diplomado en Valoración Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas. México.

Guillén-Trujillo Hugo A. 1998. Sustainability of Ecotourism and Traditional Agricultural Practices in Chiapas, Mexico. University of Florida. Dissertation. Gainesville, Florida, U.S.A.

Kiker, C.F. and G.D. Lynne. 1995. Wetland Values and Valuing Wetlands. In: Intertidal Marshes of Florida's Gulf Coast, C. B. Coultas and Y. P. Hieh eds. St. Lucy Press, Boca Raton, FL.

Odum, H. T. 1996. Environmental Accounting: Emergy and Environmental Decision Making. John Wiley and Sons, Inc.

Zavala García, J.G., A. Zavala García y H.M. Sansebastian García. 2001. Valoración Ambiental en una Hectárea de Cultivo de Café con Sombra para la Zona del Municipio de la Concordia, Estado de Chiapas. Trabajo de Evaluación del Diplomado en Valoración Ambiental. Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Chiapas. México.

APENDICE

Tabla A-1. Emergy Evaluation of a 33 Hectare Agroforestry System.

Note	Item	Raw Units (units/yr)	Trans- formity (sej/unit)	Solar Emergy 1E+15 (sej/yr)	Emdollar Value (US\$/yr)*
RENEWABLE RESOURCES:					
1	Sunlight	2.62E+16 J	1.00E+00	26.22	13,947
2	Rain, chemical	1.63E+13 J	1.54E+04	250.97	133,494
NONRENEWABLE RESOURCES:					
3	Soil erosion	6.78E+10 J	7.37E+04	5.00	2,658
OPERATIONAL INPUTS:					
4	Seeds	4.88E+08 J	3.64E+05	0.18	95
5	Fert. and Pesticides	0.00E+00 g	1.40E+10	0.00	0
6	Tools	7.34E+02 \$	1.88E+12	1.38	734
7	Oil	1.07E+10 J	6.60E+04	0.71	377
8	Gasoline	2.23E+10 J	6.60E+04	1.47	784
9	Human labor	2.11E+10 J	4.77E+06	100.63	53,529
YIELDS:					
10	Wood extracted	9.51E+12 J	3.79E+04	360.34	191,671

Table 2. Emergy Evaluation of a One Hectare Coffee Production System.

Note	Item	Raw Units (units/yr)	Trans- formity (sej/unit)	Solar Emergy 1E+15 (sej/yr)	Emdollar Value (US\$/yr)*
RENEWABLE RESOURCES:					
1	Sunlight	5.27E+13 J	1.00E+00	0.05	28
2	Rain, chemical	4.79E+10 J	1.54E+04	0.74	393
NONRENEWABLE RESOURCES:					
3	Soil erosion	1.02E+10 J	7.37E+04	0.75	399
OPERATIONAL INPUTS:					
4	Seedling	7.02E+01 \$	1.88E+12	0.13	70

5 Fert. and Pesticides	3.25E+05 g	1.40E+10	4.56	2,423
6 Machinery and Tools	1.45E+02 \$	1.88E+12	0.27	145
7 Human labor	1.88E+09 J	4.77E+06	8.95	4,758

YIELDS:

8 Coffee	1.68E+10 J	9.14E+05	15.39	8,188
----------	------------	----------	-------	-------

Table 3. Emery Evaluation of a One Hectare Sugar Cane Production System.

Note	Item	Raw Units (units/yr)	Trans- formity (sej/unit)	Solar Emery 1E+15 (sej/yr)	Emdollar Value (US\$/yr)*
------	------	-------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------

RENEWABLE RESOURCES:

1 Sunlight	6.56E+13 J	1.00E+00	0.07	35
2 Rain, chemical	3.67E+10 J	1.54E+04	0.57	301
3 Irrigated water	4.68E+10 J	2.79E+04	1.30	694

NONRENEWABLE RESOURCES:

3 Soil erosion	4.75E+09 J	7.37E+04	0.35	186
----------------	------------	----------	------	-----

OPERATIONAL INPUTS:

4 Seeds	3.52E+10 J	3.64E+05	12.80	6,808
5 Fert. and Pesticides	7.00E+05 g	1.40E+10	9.80	5,213
6 Machinery and Tools	4.13E+02 \$	1.88E+12	0.78	413
7 Water Struc. Maint.	1.58E+01 J	1.88E+12	0.03	16
8 Fuels	1.09E+09 J	6.60E+04	0.07	38
9 Human labor	7.15E+08 J	4.77E+06	3.41	1,814

YIELDS:

10 Sugar Cane	1.39E+12 J	2.05E+04	28.54	15,182
---------------	------------	----------	-------	--------