

Uso de energía en los sistemas de cultivo de maíz y frijol en El Salvador^{*1/} _____ JOAQUIN FRANCISCO LARIOS**

ABSTRACT

Modern agriculture is characterized by the growing use of inputs and machinery. The agriculture of the countries on the way of development such as El Salvador, tend to follow the same way. This aspect, analyzed from an energetic point of view, is studied in this work that intends to provide information about the efficiency in the use of energy of 18 cropping systems of corn and bean in El Salvador. Determining the energetic value of the inputs and activities of each crop (cultural energy) in relation to the total energetic yield and of the digestible energy, it was found that there exist notable differences in the efficiency of the use of "cultural energy" between the cropping systems. As the supply of "cultural energy" increases, the total and digestible energy increases also.

The digestible energy yielded less in bean (9500 Mcal ha⁻¹ year⁻¹). The digestible energy yield decline when the cultural energy exceeds 1100 Mcal ha⁻¹ year⁻¹. The index of energetic efficiency (digestible energy/cultural energy = Y) in function of cultural energy (= X en Mcal ha⁻¹ year⁻¹) followed a negative exponential model ($Y = 6540 X^{-0.876}$). The maximum energetic efficiency corresponds to the systems of associated crops. In the best case (hybrid corn + bean lowest use of inputs), for each calorie of "cultural energy" it was obtained 21.9 calories, with 1016 Mcal ha⁻¹ year⁻¹. The protein yield per Mcal of cultural energy followed a similar trend, with a maximum of 824 g of protein/Mcal invested in a system of corn associated with bean and with minimum of 80 g in monocrop with high use of inputs.

It is possible to improve the energetic efficiency of the use of energy in the production of grains in El Salvador improving and stimulating the adoption of those systems and technologies that consume less energy and that produce higher yields.

Introducción

DESDE sus orígenes, la agricultura ha tenido al sol como fuente de energía primaria. Todavía en el siglo pasado, la mayor parte de la humanidad se alimentaba de las cosechas producidas con únicamente el aporte de energía humana y animal. La naturaleza en cada finca proveía la energía solar, los nutrimentos y el agua. Hoy día, sin embargo, el hombre ha aprendido que puede incrementar la productividad de sus cultivos

modificando el ambiente de la planta para maximizar la captura de la radiación solar incidente. La tecnología desarrollada para este propósito depende de los llamados combustibles fósiles, de ahí que desde el punto de vista energético, la agricultura moderna se ha conceptualizado como una asociación de energía solar y energía de combustibles fósiles y a la empresa agrícola como colectora y almacenadora de energía solar en forma de energía alimenticia en productos vegetales y animales (11). En este proceso, los agricultores deben gastar energía combustible en la preparación del suelo, fertilización, irrigación, cosecha y procesamiento para ayudar a los cultivos a convertir las calorías de la luz del sol en calorías de energía alimenticia para el hombre. Calorías adicionales se invierten en productos químicos y máquinas para acelerar la transformación de calorías alimenticias en comida para animales.

* Recibido para la publicación el 19 de febrero de 1979.

1/ Parte de este trabajo fue presentado en el II Simposium de Ingeniería, Universidad Centroamericana "José Simeón Cañas", San Salvador, El Salvador, Febrero de 1979.

** Profesor-Investigador, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.

De toda la energía combustible que los agricultores avanzados gastan en la producción de cosechas, muy poca es convertida en energía alimenticia. La creciente inversión de energía combustible en la agricultura simplemente ayuda a los cultivos a convertir las calorías de la luz del sol en calorías de energía alimenticia. De aquí que la energía gastada para cultivar las plantas ha sido descrita como "energía cultural" (10) y como una "energía de subsidio" (20). A través de esta clasificación se han desarrollado métodos para evaluar la eficiencia energética, como el de Heichel (10): si se cosechan más calorías de energía alimenticia que la gastada en forma de energía cultural, hay una ganancia neta. La proporción de energía alimenticia cosechada en relación a la energía cultural se le llama ganancia calórica y se usa tal proporción como una medida de la eficiencia energética del cultivo. Varios autores (11, 13, 17, 20, 23) han utilizado una metodología con enfoque similar con ciertas variaciones. En general, el resultado obtenido ha indicado que, desde el punto de vista energético, la agricultura moderna se ha desarrollado a medida que utiliza más energía cultural para más altos rendimientos económicos, pero en el sentido de menor eficiencia energética. Desde el punto de vista energético la agricultura primitiva ha resultado ser más eficiente (1, 7, 12, 14).

En nuestros países no se han efectuado estudios en el campo del uso de energía, excepto el de Strout (24) a nivel de economía centroamericana. No se han hecho comparaciones de sistema de cultivo bajo el enfoque de eficiencia energética. Dichos estudios son de suma importancia puesto que la agricultura de nuestros países tiende a desarrollarse siguiendo las pautas dictadas por la tecnología agrícola de los países más avanzados, es decir, tendiendo al uso de más insumos. El caso de la revolución verde es un ejemplo de ello (15, 19). Por otro lado, no se conocen estudios energéticos comparativos que involucren los sistemas tradicionales de cultivo asociados propios del trópico, por lo que se justifica este estudio que intenta proveer información sobre la eficiencia energética de los sistemas y modalidades de cultivo maíz y frijol en El Salvador en diferentes niveles de intensidad de manejo.

Metodología

Eficiencia

La definición usual de eficiencia es la proporción de producto útil de energía y cuán completamente son transformados los insumos en productos. Como muy poca o nada de la energía cultural es transformada en tejido vegetal, la definición anterior no es aplicable. Esta situación ya ha sido señalada por Heichel (10) y por ello se ha seguido la metodología por él propuesta, algo modificada. Los agricultores invierten calorías en energía en la preparación del suelo, fertilizantes, plaguicidas, irrigación, cosecha y procesamiento para ayudar a los cultivos a convertir las calorías de la luz en calorías que el hombre o los animales pueden digerir.

Calculando la ganancia calórica o sea la proporción de calorías producidas por cada caloría de energía cultural (cal. cal^{-1}), para cada método de cultivo de maíz-frijol, se descubre si la inversión energética se ha multiplicado, permanecido estática o si ha declinado. Contrastando la ganancia calórica entre sistemas de cultivo, se revela la eficiencia comparativa de la utilización de energía cultural.

Sistemas de cultivo y niveles de intensidad de manejo.

Se analizaron 18 modalidades y sistemas de cultivo de maíz y frijol, que comprendían cada uno su propio conjunto de prácticas culturales. Estos sistemas incluyeron varios niveles de intensidad de manejo: nivel bajo (agricultura no tecnificada); nivel de manejo intermedio, y nivel de manejo alto. Su descripción se resume en el Cuadro 1. Los datos incluidos son el resultado de una encuesta efectuada a nivel nacional en El Salvador durante el año agrícola 1974-1975, por la División de Estadísticas Agropecuarias del Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Energía Cultural

La energía cultural se calculó a partir del gasto de energía humana y animal, uso de insumos, maquinaria y costos fijos derivados de las estadísticas antes mencionadas.

Las cantidades de insumos, rendimientos por sistema de cultivo, y los valores equivalentes de energía de megacalorías por unidad de producto, se encuentran en el Cuadro 2. Los costos fijos incluyen la depreciación de equipo y se dedujeron de la cantidad de tiempo, uso de tractores, equipo y herramientas agrícolas. Así, una modalidad de cultivo que emplea tractor por 40,5 horas tiene una tasa de depreciación (costo fijo) 4 veces mayor que el de otro cuyo uso de maquinaria es solo de 10 horas. A los cultivos no tecnificados no se les cargó costo fijo por ser despreciables; no utilizan maquinaria ni equipo de fumigación.

Para cada cultivo, el gasto de mano de obra en horas por hectáreas fue convertido a energía a la tasa de 175 kilocalorías (kcal hr^{-1}) dado por Altman y Dittmer (1) citado por Heichel (10). Cuando se registró el uso de tracción animal, en cuyo caso fueron siempre bueyes, el trabajo animal se convirtió a energía a la tasa de 2400 kcal hr^{-1} (12).

Rendimiento de los cultivos

Se tomó como criterio de rendimiento económico la parte útil de la planta de maíz y frijol; el grano cosechado, que reportó la encuesta antes citada. La biomasa o producción de materia seca (rendimiento) excepto raíces, se calculó de los índices de cosecha publicado para maíz (7) y frijol (2, 3, 4). Incluye el rendimiento económico más el resto de la planta.

Cuadro 2.—Insumos, requerimientos de energía por insumo, rendimientos y eficiencia energética de 18 modalidades y sistemas de cultivo de maíz y frijol en El Salvador, 1974 - 1975.

Insumo o producto	Sistemas y modalidades de cultivo																		Uso de energía/insumo ^a
	1***	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13a ¹	14a ²	15a ³	16a ⁴	17a ⁵	18a	
Energía humana	470	600	465	481	555	426	524	484	433	437	457	425	466	472	671	440	694	474	0,175 Mcal/hr
Tracción animal	13,4	401	40	22,6	56,7	0	36	47	0	16,4	32	5,8	34,8	0	84	0	50,8	0	2,400 Mcal/hr
Maq. (Combustible)	24,9	6	0	10,7	0	0	0	0	0	5,6	0	0	0	0	0	0	0	0	59,712 Mcal/hr
Insecticidas	10,1	20,1	0	10,9	10,4	0	20,9	8,6	0	25,5	1,3	0	0	0	7,2	0	0	0	24,243 Mcal/kg
Fertilizante Simple	247	201	149	142,8	214	142,8	131,6	0	0	93	117	145	145	0	169	0	145	65,8	3,463 Mcal/kg
Fertilizante Compuesto	201	175	0	181,7	169	0	262	237	165	268	155	120	72	0	168	0	99	0	3,821 Mcal/kg
Semillas	19,2	19,7	18,8	17,2	16,2	15,3	61	61	67,7	70	71	70	46	46	60,5	49,2	46	43	3,240 Mcal/kg*
Costos fijos	30	13,25	0	16,40	6,78	0	6,5	6	0	10,8	5,6	0	5,9	0	146	0	8,6	0	17,4 Mcal/\$ ²
Total por año (Energía)	3553	2771	816	2571	2043	619,2	2499	1653	970	2723	1428	1324	1217	256	2144	305	1443	469	
Total por año (Energía Cultural anual)	12689	9896	2914	11686	9286	2814	12495	8285	4850	13615	7140	6620	4346	914	7147	1016	5154	1675	
Estación de Cultivo	año	0,28	0,28	0,28	0,22	0,22	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,28	0,28	0,30	0,30	0,28	0,28	
Rendimiento Económico	kg/ha	2869	2139	1474	1785	1428	1448	1059	829	597	1026	487	118,4m/460f/	855m/329f/	2369	1382	1052	842	
Energía Digestible (estacional)	Mcal/ha	9295	6929	4776	5767	4628	4690	4153	3250	2342	4023	2502	1909	5642	4060	10642	11148	10175	7575
Proteína	g x 10 ³	963	718	495	761,9	610	618,6	1149	899	647,7	1113,2	692,2	528,4	356,3f/	287m/	742m/	433m/	353m/	282,7m/
Energía Digestible/Energía Cultural	cal/cal	2,60	250	5,85	2,24	2,26	7,58	1,66	1,97	2,40	1,48	1,75	1,44	4,60	15,90	5,0	21,9	4,7	10,3

* Duplicado en el caso de semilla de maíz híbrido.

** Según U. de Florida (25) maíz, 3,240 Mcal/kg de grano cosechado; frijol, 3,920 Mcal/kg.

*** Número de código según Cuadro 1.

1/ La letra "a" después del número significa sistema de cultivo de maíz y frijol asociado.

2/ Según Heichel (10).

3/ Las estimaciones de rendimiento de proteína y energía por kg de maíz y frijol se obtuvieron de la Universidad de Florida (25).

4/ Todas las otras equivalencias provienen de diversas fuentes: (13, 14, 16, 17 y 21).

f/ Frijol.

m/ Maíz.

Cuadro 3.—Contribuciones relativas de insumos y actividades a la energía cultural total de varias modalidades de cultivo de maíz y frijol.

Clave*	Insumos y Actividades (% de la energía cultural)						
	Mano de obra	Tracción animal	Combustible	Insecticidas	Fertilizantes	Depreciación	Otros ^{1/}
1	2,3	0,9	41,8	6,9	29,9	14,6	3,6
2	3,8	3,5	12,9	17,6	49,3	8,3	4,6
3	9,9	11,8	—	—	63,4	—	14,6
4	3,3	2,1	24,9	10,3	46,2	11,1	2,1
5	4,7	6,7	—	12,3	67,9	5,8	2,6
6	12,1	—	—	—	79,9	—	8,0
7	3,7	3,4	—	20,3	58,5	4,5	9,6
8	5,1	6,8	—	12,6	54,7	6,3	14,5
9	7,8	—	—	—	64,8	—	27,4
10	2,8	1,4	12,3	22,7	43,8	6,9	10,1
11	5,6	6,6	—	2,2	59,2	6,9	19,5
12	5,6	1,1	—	—	72,6	—	20,7
13a	6,8	6,9	—	—	63,9	8,3	14,1
14a	32,7	—	—	—	—	—	67,3
15a	5,5	9,4	—	8,2	57,2	6,8	12,9
16a	25,3	—	—	—	—	—	74,7
17a	8,4	8,5	—	—	61,0	10,3	11,8
18a	17,7	—	—	—	48,6	—	33,7

* Ver Cuadro 1.

^{1/} Incluye principalmente la semilla de siembra.

Energía cultural y Rendimiento de Energía Total

Un modelo de tendencias se distingue entre los 21 sistemas de cultivo para los cuales se calculó el rendimiento de energía total (Fig. 1). El maíz híbrido (clave N° 3) y el frijol (clave 12) produjeron los valores más bajos de energía total, aunque no requirieron las valores más bajos de energía cultural. Los sistemas de monocultivo de maíz híbrido y frijol responden sustancialmente a leves aumentos de energía cultural (clave N° 1-3 y 7-12). En cambio el monocultivo de maíz criollo responde poco (Nos. 4-6, Fig. 1). Los sistemas de cultivo asociado de maíz con frijol (indicados con los números clave seguidos de la letra a, Fig. 1), están entre los más eficientes sistemas. El cultivo de maíz híbrido asociado a frijol en un nivel de manejo bajo (N° 16a, Fig. 1) produce 40 veces más energía total que la energía cultural que recibe, y por lo tanto rinde máxima energía. También un sistema asociado (N° 15a, cuadro 1) es el que produce el máximo rendimiento de energía total (68900 Mcal ha⁻¹ año⁻¹) con sólo 7150 Mcal ha⁻¹ año⁻¹ de energía

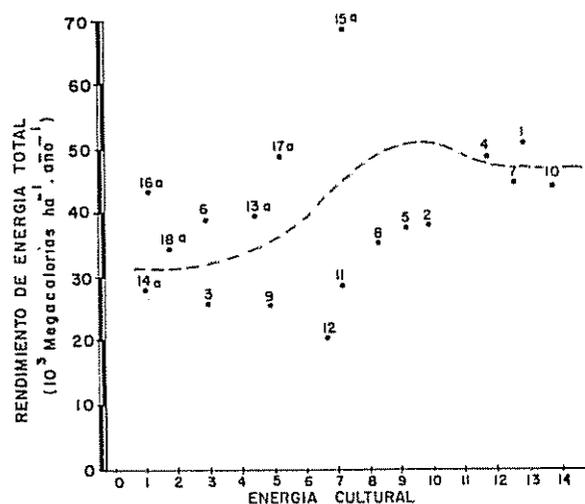


Fig 1.—Consumo de energía cultural y rendimiento de energía total en 18 modelos de cultivo de maíz y frijol representativos en El Salvador, 1974.

cultural, en un nivel de manejo intermedio (Fig. 1 y Cuadro 1)

Energía Cultural y Rendimiento de Energía Digestible.

El rendimiento de energía total analizado en la Fig. 1 indica la energía que sería disponible para el agricultor, si toda la energía fuera digestible. Esto no es así, ya que cada cultivo tiene un margen de rendimiento económico previamente definido como índice de cosecha. Por ejemplo, Ascensio y Fargas (2) determinaron que, del peso seco total del frijol, el 53 por ciento le correspondía al grano; en maíz, 40 a 45 por ciento de la masa seca de la planta es grano (10)

Los rendimientos de energía digestible en función de la energía cultural (Fig. 2), siguen una tendencia muy similar a la del rendimiento de energía total (Fig. 1). Los rendimientos más bajos de energía digestible corresponden al cultivo de mayo y de agosto con manejo bajo (Nos 9 y 12, Cuadro 1), con rendimientos de 9500 a 12300 Mcal ha⁻¹ año⁻¹.

Los rendimientos de energía digestible declinan cuando la energía cultural excede los 11000 Mcal ha⁻¹ año⁻¹, lo cual concuerda bastante bien con análisis similares hechos por Heichel (10) en sistemas de cultivo de varias partes del mundo y de varias épocas a partir de 1910. Al hacer el análisis con base en aumento en el uso de insumos, se revela claramente que en todas las 18 modalidades de cultivo, al aumentar la energía cultural aumenta el rendimiento de energía digestible. Esta tendencia es más acentuada en los sistemas de cultivo asociado (código N° 13a - 18a, Fig. 2).

Entre las 18 modalidades de cultivo de la Figura 2 existe un máximo de rendimiento de energía digestible en aquellos que requieren alrededor de 11 a 12000 Mcal ha⁻¹ año⁻¹ para los sistemas de monocultivo y de 7000 Mcal ha⁻¹ año⁻¹ para los sistemas de cultivo asociado. En el cultivo de maíz híbrido con manejo bajo (código 3, Fig. 2) al intensificar su manejo (código N° 1, Fig. 2) se multiplicó 4 veces

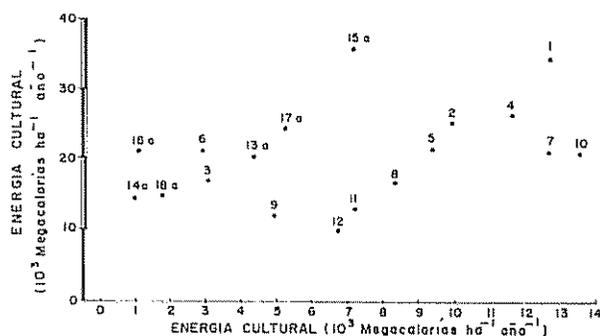


Fig. 2.—Consumo de energía cultural y rendimiento de energía digestible en 18 modelos de cultivo de maíz y frijol representativos en El Salvador, 1974

la energía cultural, lográndose que el rendimiento de energía digestible se duplicara. Al comparar estos resultados con los de maíz criollo se observa que estos cultivares son menos eficientes o el uso de insumos no está tecnificado, ya que un aumento de 1,3 veces de energía digestible, se alcanzó únicamente al agregar 4 veces más energía cultural (Fig. 2, Nos 4-6).

En los sistemas de cultivo asociado (Fig. 2, Nos 15a - 16a), de maíz híbrido con frijol, un gasto de 7 veces más energía cultural provocó una y media veces más energía digestible. En el mismo sistema de frijol asociado pero con maíz no mejorado, 5 veces más energía cultural produjo un incremento de 1,4 veces más energía digestible (Fig. 2, Nos. 17a y 18a). No obstante, es necesario destacar que los aumentos son del orden de los 10000 a 15000 Mcal ha⁻¹ año⁻¹. El análisis de resultados en forma relativa, solamente indica que los rendimientos de energía digestible de los sistemas de cultivo asociado de maíz y frijol son menos sensibles a los cambios en el uso de energía cultural, un hecho de mucha trascendencia agro-ecológica y económica.

Eficiencia y Ganancia Calórica

Si se obtiene la relación entre rendimiento de energía digestible y energía cultural, es posible comparar la eficiencia en el uso de cada caloría de insumo en diferentes sistemas y modelos de cultivo. Estas relaciones se han trazado en la Figura 3; en la cual resalta la mayor eficiencia de los sistemas de cultivo asociado (Fig. 3, Nos. 13a - 18a) con respecto a los monocultivos de frijol y maíz. Por otra parte, la tendencia general de los sistemas analizados es que a medida que aumentamos el uso de energía cultural (insumos, maquinaria), la eficiencia energética disminuye. En maíz híbrido asociado con frijol en un nivel de manejo bajo, por ejemplo, por cada caloría de energía cultural aportada al sistema, se obtienen 21,9 calorías (Fig. 3, N° 16a). Al agregar 6 a 7 veces más energía cultural a los sistemas de cultivo asociado (Fig. 3, N° 15a y 17a), la eficiencia energética disminuye en una proporción similar.

Los monocultivos de frijol no responden positivamente a aumentos en el uso de energía cultural (Fig. 3, Nos. 7-12), pero tampoco se reduce apreciablemente su eficiencia, de por sí más baja que la de los sistemas cuyo componente es maíz solo. Pareciera que el frijol es eficiente únicamente cuando se cultiva en sistemas asociados.

Energía Cultural y Rendimiento de Proteína

La relación que existe entre el rendimiento de proteína por unidad de energía cultural se puede observar en la Fig. 4. El modelo que explica mejor esta relación es de tipo exponencial negativo al igual que en el caso de la ganancia calórica (Fig. 3): a más

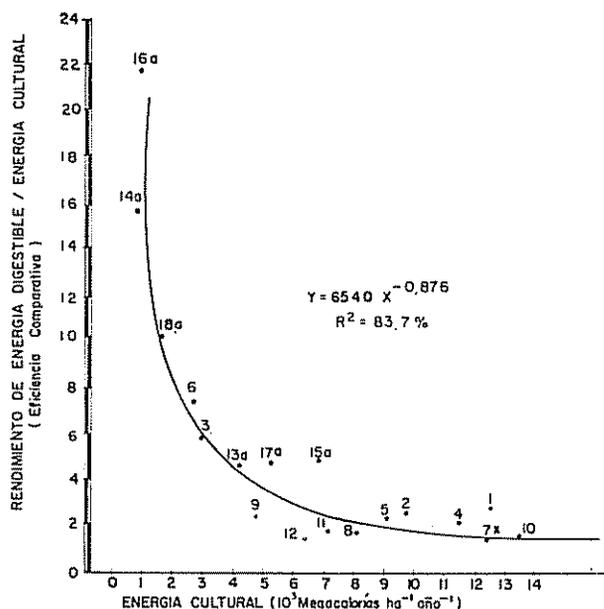


Fig. 3.—Eficiencia del uso de energía expresada como rendimiento de energía digestible en relación a la inversión de energía cultural en 18 modelos de cultivo de maíz y frijol en El Salvador, 1974.

gasto de energía cultural la eficiencia en el rendimiento de proteína se reduce. El sistema maíz más frijol presenta una tendencia de mayor eficiencia. Al aumentar el aporte de energía cultural (Fig. 4, Nos. 13a, 15a y 17a), estos sistemas se desvían del modelo general en el sentido de mayor eficiencia (por encima de la curva de la Fig. 4).

Pareciera que los monocultivos de maíz o de frijol no mejoran la eficiencia de producción de proteína por unidad de energía cultural al incrementar el

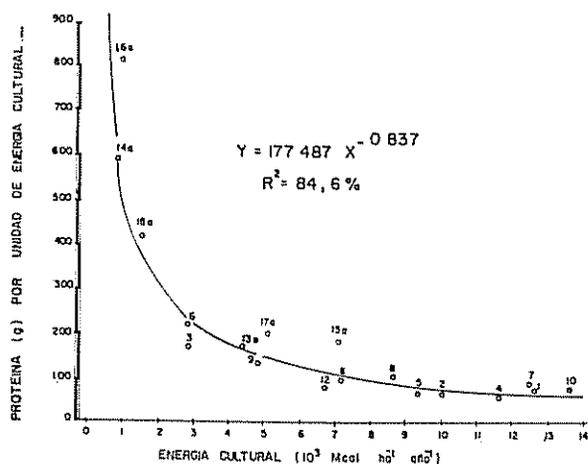


Fig. 4.—Rendimientos de proteína por unidad de energía cultural en 18 modalidades y sistemas de cultivo de maíz y frijol en El Salvador.

aporte de energía fósil. En el rango de más de 9000 Mcal ha⁻¹ año⁻¹ de energía cultural, la eficiencia de rendimiento de proteína no sufre alteraciones, ya que, a partir de esta cifra la curva tiende a volverse asintótica al eje horizontal (Fig. 4).

Los sistemas con un nivel de manejo alto en insumos son los menos eficientes (Fig. 4, Nos. 1, 4, 7 y 10) y rinden alrededor de los 80 g de proteína por cada Mcal invertida. El frijol y el maíz criollo e híbrido con un nivel de manejo bajo (Fig. 4 Nos. 3, 6 y 9) tienen eficiencia más alta, entre 134 y 220 g de proteína por unidad de energía cultural. Los cultivos de maíz asociado con frijol logran hasta 824 g de proteína por Mcal invertida.

Discusión

A medida que el hombre ha aumentado el control del medio ambiente de los agro-ecosistemas, ha necesitado adicionar más energía cultural. Es indudable que en el caso de El Salvador, los rendimientos económicos de maíz han aumentado siguiendo en gran parte esta ruta de incremento de energía cultural, pero no se ha tomado en cuenta hasta donde es adecuado hacerlo. Con el encarecimiento y agotamiento de los combustibles fósiles y sus derivados (como los fertilizantes) es ya tiempo de analizar si estamos obteniendo buenos retornos de nuestras inversiones energéticas y cuanto podemos mejorar la eficiencia del uso de la energía y la productividad. Los resultados obtenidos nos indican que existen fuertes diferencias en los requerimientos de energía para cultivar maíz y frijol según la modalidad de producción que se use, y que en igual forma existen respuestas distintas en sus rendimientos y eficiencia energética. Puede afirmarse entonces que es posible producir maíz y frijol con mayor eficiencia si se estimula la investigación y el cultivo de aquellas modalidades más destacadas, como los sistemas de cultivo asociado de maíz-frijol. Heichel (10, 11), Pimentel (16), Slesser (21), Odum (14) y Leach (13), entre otros, han comparado la eficiencia energética de diferentes sistemas de cultivo de varias partes del mundo, de varios grados de desarrollo y también, en estimaciones de gasto y ganancia de energía de la agricultura en diferentes épocas. Las conclusiones han sido en todos los casos que a medida que la agricultura se intensifica (o se moderniza) su utilización de energía se ha vuelto menos eficiente. Este es el modelo obtenido en nuestro estudio. No obstante, el cultivo asociado no parece seguir esta regla. Hasta ahora, ninguno de los estudios citados habían incluido a este sistema. Heichel (10, 11), sugiere la investigación de la combinación de cultivos y prácticas culturales que requieren menos cantidad de energía cultural para producir las necesidades calóricas y proteínicas de un hombre. El aspecto energético ya ha sido analizado. El rendimiento proteínico en función de la energía podría estudiarse mediante la comparación de índices de rendimiento de proteína por unidad de energía cultural. Al tomar el mejor sistema resultante de este trabajo (maíz más frijol,

Nº 16a) en cuanto a rendimiento calórico y obtener el rendimiento de proteína por unidad de energía cultural, se determinó un valor de 824 g de proteína por cada mil Mcal de energía cultural. Este valor es superior al mejor obtenido por Heichel (11) de 13 sistemas de producción de proteínas examinadas, entre los cuales incluía alfalfa, soya, trigo y cerdos.

Por otra parte, rinde un producto mejor balanceado nutricionalmente (5, 6). Otras ventajas han sido documentadas por Soria *et al.* (22) y Hart (8, 9).

Dentro de las prácticas de cultivo se destaca la fertilización, como la práctica que más contribuye al total de energía cultural de las modalidades de cultivo de maíz y frijol en El Salvador. En ningún caso fue menor del 30 por ciento, excepto en 2 sistemas en los que no se utilizó fertilizante (Nos clave 14a y 16a), por lo tanto cualquier incremento en eficiencia en el uso de fertilizantes tendría repercusiones significativas en la eficiencia y rendimientos energéticos. Similar situación, aunque menos apreciable, sería la optimización en el uso de plaguicidas porque su participación en la energía cultural no sobrepasó el 25 por ciento más que en una oportunidad (cultivo Nº 1). En los casos en que se aplicaron insecticidas, este representó entre el 12 y el 25 por ciento.

El uso óptimo de fertilizantes y de plaguicidas está entre los objetivos de muchos programas de investigación agrícola, pero con un enfoque casi exclusivamente de economía privada y no social. Hasta hace pocos años se ha acentuado este último aspecto pero como resultado indirecto del énfasis dado al impacto ecológico de determinadas prácticas agrícolas. Los costos del mal uso de la energía se comparten con toda la población; de ahí el interés socio-económico de este aspecto.

El enfoque energético llama la atención hacia la adopción e investigación de los sistemas y prácticas cuya rentabilidad energética es mayor. El análisis de sistemas y métodos de cultivo a la luz de la energía utilizada y producida se basa en unidades de medida más estables en el espacio y en el tiempo y con más trascendencia social que las unidades monetarias y por ello se sugiere su utilización como un criterio adicional importante en la evaluación de sistemas de producción así como en la orientación de la política de investigación y fomento agrícola de nuestros países.

Resumen

Se estudia en este trabajo la eficiencia en el uso de energía de 18 sistemas de cultivo de maíz y frijol en El Salvador. Al determinar el valor energético de los insumos y actividades de cada cultivo ("Energía cultural") en relación al rendimiento energético total y de energía digestible se encontró que existen fuertes diferencias en la eficiencia de uso de "energía cultural" entre los sistemas y modalidades de cultivo de maíz y frijol. A medida que aumenta el aporte de energía cultural, aumenta el rendimiento energía

total. Los rendimientos de energía digestible fueron más bajos en el cultivo de frijol (9500 Mcal ha⁻¹ año⁻¹). Los rendimientos de energía digestible declinan cuando la energía cultural excede las 11000 Mcal ha⁻¹ año⁻¹. El índice de eficiencia energética (energía digestible/energía cultural = y) en función de la energía cultural (= X en Mcal ha⁻¹ año⁻¹), siguió un modelo exponencial negativo (Y = 6540X^{-0.576}). La máxima eficiencia energética correspondió a los sistemas de cultivos asociados, en cuyo mejor caso (maíz híbrido + frijol, poco uso de insumos), por cada caloría de energía cultural se obtienen 21,9 calorías, con sólo 1016 Mcal ha⁻¹ año⁻¹.

El rendimiento de proteína por Mcal de energía cultural siguió una tendencia semejante, con máximos de 824 g de proteína/Mcal en un sistema de maíz asociado con frijol y con mínimo de 80 g en monocultivos con alto uso de insumos.

Es posible mejorar la eficiencia energética del uso de energía en la producción de cereales en El Salvador si se mejora y estimula la adopción de aquellos sistemas y tecnologías que consumen menos energía y que producen mayores rendimientos.

Literatura citada

1. ALTMAN, P. I. y DITIMER, D. S. ed. *Metabolism*. Bethesda, Md. Federation of American Societies for Experimental Biology, 1968.
2. ASCENSIO, J. y FARGAS, J. Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L. var. 'Turrialba-4') cultivado en solución nutritiva. *Turrialba* 23 (4): 420-428. 1973.
3. CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. Informe Anual 1974. Cali, Colombia. 1975.
4. ———. Informe Anual 1975. Cali, Colombia, 1976.
5. DESIR, S. y PINCHINAT, A.M. Producción agronómica y económica de maíz y frijol común asociados, según tipo y población de plantas. *Turrialba* 26 (3): 237-240. 1976.
6. GARCIA M, J. y PINCHINAT, A.M. Producción asociada de maíz y soya a diferentes densidades de siembra. *Turrialba* 26 (4): 409-411. 1976.
7. HANWAY, J.J. y RUSSELL, W.A. Dry-matter accumulation in corn (*Zea mays* L.) plants: comparison among single-cross hybrids. *Agronomy Journal* 61: 947-951. 1969.
8. HART, R.D. A bean, corn and manioc polyculture cropping system I. The effect of interspecific competition on crop yield. *Turrialba* 25(3): 294-301. 1975.
9. ———. A bean, corn and manioc polyculture cropping system II. A comparison between the yield and economic return from monoculture and polyculture cropping systems. *Turrialba* 25 (4): 377-384. 1975.
10. HEICHEL, G.H. Comparative efficiency of energy use in crop production. New Haven, Connecticut Agricultural Experimental Station, Bulletin 739. 1973. 26 p.
11. ———. Agricultural production and energy resources. *American Scientist* 64(1): 64-72. 1976.

12. INTERNATIONAL RICE RESEARCH INSTITUTE Annual Report. Plant Physiology and Agricultural Engineering Sections. Los Baños. Philippines 1964
13. LEACH, G y SLESSER, M. Energy equivalents of network inputs to food producing processes. Glasgow, University of Strathclyde, 1976.
14. ODUM, H. T. Environment, Power and Society New York, Wiley-Interscience, 1971. 331 p.
15. PADDOCK, W.C. How green is the revolution? Bio-Science 20: 897-902 1970.
16. PIMENTEL, D. Energy use in cereal grain production. In Proceedings of the First International Conference Energy Use Management New York, Pergamon 1977. (separata del autor).
17. PIMENTEL, D., HURD, L.E., BELLOTTI, A.C., FORSTER M.J., OKA, I.N., SHOLES, O.D. y WHITMAN, R.J. Food production and the energy crisis. Science 182: 443-449. 1973.
18. RAPPAPORT, R.A. The flow of energy in an agricultural society. Scientific American 225: 117-122, 127-132. 1971.
19. SAARI, E.E y WILCOXSON, R.D. Plant disease situation of high-yielding dwarf wheats in Asia and Africa. Annual Review of Phytopathology 12: 49-68 1974.
20. SLESSER, M. Energy subsidy as a criterion in food policy planning. Journal of the Science of Food and Agriculture 2:4: 1193-1207. 1973.
21. ————. How many can we feed? Ecologist 3: 216-220. 1973.
22. SORIA, J., BAZAN, R., PINCHINAT, A.M., PAEZ, G., MATEO, N., MORENO, R., FARGAS, J., y FORYSTHE, W. Investigación en sistemas de producción agrícola para el pequeño productor del trópico. Turrialba 25: 283-293 1975.
23. STEINHART, J.S. and STEINHART, C.E. Energy use in the US food system. Science 184: 307-316 1974.
24. STROUT, A.M. Energy and economic growth in Central America. Annual Review of Energy 2: 291-305 1977.
25. UNIVERSIDAD DE FLORIDA. Tablas de composición de alimentos para América Iatina. Gainesville, Florida. 1974. 60 p.

Notas y Comentarios

Progresos en la fotosíntesis artificial

Melvin Calvin, quien ganó el Premio Nobel de Química de 1961 por establecer lo que sucede cuando una planta asimila dióxido de carbono, recientemente pronosticó que la fotosíntesis artificial no está muy lejana. En un escrito en *Accounts of Chemical Research* (Vol. 11, p. 369) describe sistemas químicos que cumplen los requerimientos básicos de un artificio efectivo de energía solar: la captura de un cuanto de luz, seguida por su conversión a alguna otra forma de energía y su almacenamiento indefinido en una forma recuperable.

Fotosíntesis natural. La imitación de la manera en que las plantas verdes convierten la luz solar en energía química debe comenzar con la comprensión de cómo ocurre el proceso en la naturaleza. Hay dos procesos fotosintéticos naturales principales: bacterias fotosintéticas, que reducen el dióxido de carbono a carbohidratos, pero que no pueden oxidar el agua a oxígeno; y las plantas verdes, que pueden oxidar el agua a oxígeno. Para el almacenamiento práctico de la energía solar en forma combustible, este paso oxidativo es el medio por el cual el hombre produciría hidrógeno del agua para reemplazar el gas natural, cuando este se agote en el futuro.

Durante los últimos 30 años, ha quedado claro que la fotosíntesis involucra dos reacciones fotoquímicas, fotosíntesis I y II (FS I y FS II) que se operan en la membrana celular. Un fotoelectrón es donado por un compuesto de manganeso a un pigmento en la FS II.

Las moléculas del pigmento, de las que la clorofila es un componente principal, actúan como antenas que captan la luz incidente, transfiriendo la energía de molécula a molécula hasta que llega a la trampa reactiva central. Aquí, una molécula excitada electrónicamente reduce una molécula de plastoquinona.

La transferencia de electrones continúa a través de un número de pigmentos hasta que llega al FS I, cuya trampa es probablemente la proteína de azufre-hierro conocida como

ferredoxina ligada. La transferencia de electrones continúa a través de ferredoxina libre y NADPH (fosfato dinucleotido nicotinamida adenina). Aquí sigue la parte mejor conocida del proceso, el ciclo Calvin, en el que NADPH y ATP (fosfato de adenosina) hechos en las reacciones lumínicas de FS I y FS II reducen el dióxido de carbono a carbohidrato, en la oscuridad.

Fotosíntesis artificial. Calvin no está sólo en acercarse a la producción de un sistema fotosintético artificial (Ver también *Turrialba* Vol. 19, p. 8). Sir George Porter, director de la Royal Institution y ganador del Premio Nobel de Química en 1967, está también cerca de esta meta. Ambos grupos están tratando de crear un modelo de FS II, ya que, según Porter comentó a G. Wilkinson (*New Scientist* 15 de marzo de 1979, p. 867), "el FS I excitado realmente no es problema". Escribiendo en *Proceedings of the Royal Society of London* (Vol. 362, p. 281), Porter explica el porqué. Expresa que FS II es lógicamente el primer paso en la fotosíntesis ya que el paso de la oxidación del agua es el menos comprendido, y el uso solo de FS II puede sobrepasar esto. El FS II puede convertir el agua y la quinona en oxígeno e hidroquinona: esto suministra un proceso cíclico para el almacenamiento y liberación de energía solar.

El enfoque de Calvin al problema toma en cuenta el hecho de que para que la reacción de transferencia de electrones sobreviva el tiempo suficiente para realizar algún cambio químico, el electrón debe ser transferido a través de un linde de fase. Su grupo, en consecuencia, ha estado intentando obtener fotosíntesis artificial en las fronteras de las fases sólida-líquida y líquido-líquida.

La primera es un método novedoso que usa cristales semiconductores y, al decir de Calvin, es un "movimiento de la química a la física". La simulación de FS I y FS II puede ser obtenida usando la valencia y las bandas de condición de un cristal semiconductor. Calvin y su equipo han simulado ya la FS II con óxido de zinc preparado para mejorar la cosecha de luz y sensitivizado con rosa de Bengala para absorber la región luminosa visible, con lo que consigue una eficiente cuántica total de alrededor de 10 por ciento. Hasta ahora, los investigadores pueden hacer que este semiconductor particular, sensitivo en el ámbito visible, genere corriente (pero no gases) usando ftalocianina como trampa, pero todavía les falta construir un semiconductor positivo para FS I para hacer uso del espectro solar entero.

Mientras que el enfoque físico tiene sus atractivos, una frontera líquido-líquida representa más estrechamente el sistema natural. En lugar de intentar la difícil tarea de hacer una membrana plana que actúe como frontera sobre la superficie del agua, o entre dos capas de agua, los investigadores idearon usar vesículas (donde la membrana está enrollada en una esfera). Sin embargo, esto involucra poner un tinte y el sistema generador de hidrógeno en el interior, y otro tinte y el sistema generador de oxígeno en el exterior, una tarea nada fácil.

Así, para simplificar el sistema, ellos hacen micelas aceite/agua; estas son agregados, de tamaño coloidal, de moléculas. Ocurre una fotorreacción en la interfaz de una micela y la otra sobre una micela completamente diferente. El grupo de Calvin obtuvo resultados promisorios con la transferencia fotoelectrónica del *n*-alquilporfirina (C_{10}) en (o sobre) la micela de aceite a, 2-sulfonato de quinona en la capa acuosa. Sin embargo, con la porfirina incorporada en una vesícula fosfolípida (fosfatidilcolina), la transferencia de electrones desde la porfirina excitada hasta el aceptador de quinona es 100.000 veces más grande en la fase de la frontera que en una solución homogénea. Calvin intuye que con el oxidante en una fase y el reductor en la otra debería ser posible separar las fases, almacenarlas separadamente y más tarde hacerlas regresar juntas para recuperar la energía de la reacción contraria, consiguiendo así los requerimientos básicos para un artefacto útil de energía solar.

Cosechando la luz. En el Reino Unido, el grupo de Porter ha estado estudiando los otros aspectos de la fotosíntesis, uno de los cuales es el mecanismo para cosechar la luz, usando particularmente la fotólisis repentina (flash). Aunque el grupo tiene una buena comprensión de cómo funciona esto y puede especificar lo que se requiere, los intentos de hacer un sistema artificial han fracasado hasta ahora. Sin embargo, después de mejorar su comprensión de la transferencia de electrones de la clorofila a la quinona, los investigadores británicos parecen estar aun más cerca que Calvin en obtener con éxito la reacción FS II.

Siguiendo el trabajo de Calvin con complejos de manganeso en los comienzos de los novecientos sesenta, Porter y Anthony Harriman están usando porfirinas y ftalocianinas de manganeso porque en la naturaleza el manganeso parece estar involucrado en el paso de dividir el agua en la fotosíntesis de las plantas verdes que ellos recientemente consiguieron. Mientras que subrayan la naturaleza preliminar de su trabajo, creen que tienen *in vivo* la reacción general de la FS II, que genera oxígeno e hidroquinona a partir de agua y quinona. Desafortunadamente, la cantidad de oxígeno fue pequeña, pero Porter cree que una razón importante es que el oxígeno emitido "envenena" la reacción. Los que trabajan en el laboratorio de Calvin acaban de resolver ambos problemas, y, en realidad, han generado oxígeno usando un catalizador completamente diferente que opera sobre el mismo principio.

La baja solubilidad del complejo de manganeso es otro problema. Sin desanimarse, Porter y Harriman incorporaron sus reactivos en micelas y vesículas, para que el manganeso se disuelva mucho más. Porter ha dicho que este sistema es "merecedor de estudio intensivo como una posible ruta al almacenamiento económico de la energía solar".

Parece como si estos grupos de investigadores están en la última vuelta de una de las más importantes carreras en la química: ambos están acelerando hacia la meta.

Toros de probeta

Una colección de toros reproductores de Montana, Estados Unidos, han alcanzado cierta forma de inmortalidad, debido a que su semen preservado ha probado ser una herramienta excelente y de bajo costo para medir el éxito de un programa de mejoramiento (*Agricultural Research*, Vol. 26, N° 12).

En Miles City, Montana, en la US Range Livestock Experiment Station, Ray R. Woodward y Joseph J. Urlick, del Departamento de Agricultura, reconocieron que los efectos del mejoramiento selectivo podrían ser determinados almacenando semen de reproductores por un número de años y

comparando después su progenie (obtenida por inseminación artificial) con la progenie de reproductores contemporáneos.

El medir las tendencias de la producción en un hato de ganado después de años de selección es una tarea difícil debido a que las técnicas de manejo generalmente también mejoran la producción, y la productividad aumentada del ganado puede o no ser el resultado del programa de crianza.

El método estándar de evaluar el éxito de un programa de mejoramiento ha sido mantener un hato testigo, esto es, una población de ganado que no ha sido criado selectivamente. Este método es muy caro porque puede inmovilizar hasta el 50 por ciento del ganado e instalaciones de un programa durante toda la duración del proyecto.

El uso de semen conservado para estimar el progreso de un programa de mejoramiento es no sólo considerablemente menos costoso que mantener un hato testigo, sino también es más exacto en sus evaluaciones. Los hatos testigo a menudo sufren una "deriva genética", lo que hace difícil o imposible comparar exactamente los productos del programa de mejoramiento con el ganado original, o con ganado muy similar. Por supuesto, no hay deriva genética con el semen almacenado.

Al comienzo de un programa de mejoramiento, el semen es colectado de un grupo de reproductores y después almacenado indefinidamente mediante el congelamiento. Para una ulterior verificación del progreso obtenido, el semen de la primera generación de toros se descongela y se usa en un grupo de vacas no relacionadas escogidas al azar. Estas vacas son tan iguales como sea posible en producción potencial a otro grupo de vacas que son apareadas con la última generación de toros. La progenie de toros de ambas generaciones se compararon entonces mediante evaluaciones de corral de engorde y de la canal. Las progenies de vacas son comparadas en su crecimiento y comportamiento maternal después de producir terneros.

Lo técnica del semen almacenado fue usada por primera vez en la Estación de Miles City para evaluar el progreso de dos líneas endocriadas de Herefords. El semen fue colectado de varios reproductores de las Líneas 1 y 10 en 1955 y 1966. Después que se habían sucedido dos generaciones, el semen de esos toros se probó contra el semen de toros nacidos en los novecientos sesenta. En ambas líneas, todos los pesos de la progenie de los toros de la generación más joven sobrepasan los pesos de la progenie de los toros de la generación más antigua, lo que indicaba que se habían obtenido mejoras en las líneas.

Urlick y Woodward proyectan comparar dos toros nacidos en 1953 y uno nacido en 1955 con varios reproductores de la línea 1 nacidos recientemente. Esta comparación representa aproximadamente un intervalo de cinco generaciones entre reproductores, una imposibilidad sin el uso de semen almacenado.

Se puede afirmar que en los programas de mejoramiento de ganado, lechero o no, donde se pueda congelar el semen, la técnica descrita puede usarse para evaluar el progreso del programa.

Publicaciones

Third World Agriculture. Con fecha de abril de 1979, ha comenzado a circular una nueva revista mensual, *Third World Agriculture*. Dedicada a divulgar nuevos productos, técnicas y esquemas, así como también a señalar obstáculos y debilidades que afecten a la agricultura de los países en desarrollo. El estilo es similar a *World Crops*, *La Hacienda*, y otras revistas comerciales. El primer número contiene artículos, noticias, datos estadísticos de producción y comercio. Tiene cuatro páginas en castellano para lectores de América Latina, incluso un artículo en que Jacques Chonchol insiste en su viejo dogma de que la modernización es inútil sin reforma agraria (las cifras que presenta tratan sólo del tamaño de la tenencia pero no de producción). Los otros artículos principales tratan de la langosta migratoria, la cebada en zonas semiáridas, veterinarios móviles en África, y la cría de abejas. El editor es Jerry Orme, y la dirección es: 10 Park Road, Turnbridge Wells, Kent, England.