

# Alternativas para el manejo sostenible del agroecosistema caña de azúcar (*Saccharum* spp.), en el Soconusco, Chiapas

**Ernesto Toledo Toledo<sup>1</sup>, H. Alfred Jürgen Pohlan<sup>2</sup>, Jörg Borgman<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas, Entronque Carretera Costera y Estación Huehuetán, Huehuetan, Chiapas; Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV; E-mail: [datpaic@msn.com](mailto:datpaic@msn.com)

<sup>2</sup>ECOSUR, El Colegio de la Frontera Sur, Carretera Antigua Aeropuerto km. 2,5; Apdo. Postal 36, CP 30700 Tapachula, Chiapas – México, E-mail: [drjpohlan@excite.com](mailto:drjpohlan@excite.com); [pohlan@tap-ecosur.edu.mx](mailto:pohlan@tap-ecosur.edu.mx)

<sup>3</sup> Humboldt-Universität zu Berlin; E-mail: [Joerg\\_borgman@arcor.de](mailto:Joerg_borgman@arcor.de)

## INTRODUCCIÓN

La caña de azúcar *Saccharum* spp., es cultivada en México en una superficie de 600,792 ha distribuida en 15 Estados de la República Mexicana. Con un rendimiento promedio de 73.15 ton/ha, las 42'547,235 ton de caña que se obtienen anualmente en México producen 4'927574,000 de ton de azúcar con la participación global de 118,533 productores. En el Estado de Chiapas, se cosecharon 2'277,386 ton de caña de azúcar en una superficie de 25,619 ha, de las cuales 10,372 se encuentran en la región del Soconusco y que produjeron 803,800 ton de caña en esta zafra (Anónimo, 2003).

Las prácticas agronómicas para el cultivo de la caña de azúcar en la región del Soconusco se caracterizan por el uso intensivo de agroquímicos y por la incineración de follaje y residuos de cosecha. Alrededor de 36,000 litros de herbicida, 80,000 litros de insecticida, 72,000 kilogramos de rodenticida y 6,300 toneladas de fertilizantes químicos son usados anualmente en la región cañera del Soconusco, según información obtenida de funcionarios del Ingenio Huixtla. La práctica de la incineración se realiza en dos o tres ocasiones durante cada ciclo, para quemar el follaje antes de la cosecha, y después para eliminar los residuos de la misma (Toledo, 2000).

Es obvio que el uso de agroquímicos para el cultivo de la caña de azúcar contamina cuerpos acuíferos, dado que la superficie cañera de la región se encuentra adyacente a arroyos que desembocan en esteros. Asimismo pueden afectar a organismos de poca importancia económica, pero esenciales para la formación de redes alimenticias complejas que contribuyen a la biodiversidad y estabilidad del ecosistema. Muchos de estos organismos tienen como hábitat al suelo, por lo que además pueden ser afectados por la práctica de incineración.

## OBJETIVOS

1. Analizar la influencia de los tratamientos sobre el crecimiento y rendimiento agrícola e industrial de la caña de azúcar.
2. Determinar la influencia de diferentes métodos de cosecha en los componentes físicos, químicos y biológicos del suelo.

3. Determinar la dinámica y el comportamiento de las arvenses en tres agroecosistemas de caña de azúcar.
4. Evaluar el efecto que causa el fuego en la abundancia y diversidad de macroorganismos del suelo.
5. Valorar la influencia de los tratamientos en la dinámica poblacional de las principales plagas de la caña de azúcar.
6. Determinar las diferencias entre los métodos de cosecha sobre los flujos energéticos en los tres agroecosistemas de caña de azúcar estudiada.

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para dar a la agricultura azucarera mexicana otra visión, fueron realizados en Huixtla, Chiapas, a partir del Mayo de 1998 a Diciembre del 2003 experimentos a largo plazo en una plantación de caña de azúcar de la variedad MEX 69-290, donde se estudió el efecto que causa al utilizar el fuego como una práctica más de cosecha sobre el suelo, crecimiento y rendimiento de la caña de azúcar, y en el comportamiento de las arvenses y plagas, es decir para evaluar el potencial de cosechar caña de azúcar en verde como una estrategia de sostenibilidad (Toledo, 2000).

El experimento esta ubicado cerca del Ingenio Huixtla, municipio de Huixtla y tiene las coordenadas 15° 08' latitud Norte y 92° 09' longitud Oeste (Pohlan y Borgman, 2000). Se estableció un diseño en franjas con tres tratamientos, cuyos bloques al azar internos incluyen 20 repeticiones para cada unidad experimental. El área total del experimento es de 9,750 m<sup>2</sup>.

Factor A: Efectos de diferentes sistemas de manejo de la caña de azúcar.

A1 Caña verde = no quema del follaje de la caña y no quema de residuos de cosecha de la misma.

A2 Sistema convencional = (dos quemas) quema del follaje de la caña y quema de los residuos de cosecha.

A3 Una quema = quema del follaje de la caña antes de la cosecha y no quema de residuos de cosecha.

Los parámetros que se midieron son expresados en el siguiente esquema:

Complejo	Parámetros	Unidad de medida	Método y/o Cita
Cultivo	Altura de la planta	cm	Regla
	Diámetro del tallo	cm	Vernier
	Número de tallos	cantidad /m lineal	Conteo
	Sacarosa	%	Cálculo
	Pureza	%	Pol-ratio
	Rendimiento agrícola	ton/ha	Balanza
Suelo	Materia Orgánica	%	Walkley y Black
	Nitrógeno	%	Micro Kjeldall
	Fósforo	ppm	Olsen-Bray 1 y 2
	Potasio	cmol/kg.	Acetato de amonio

	pH Macroorganismos	Individuos/m <sup>2</sup>	Pasta saturada Muestreo directo
Arvenses	Cobertura Abundancia Diversidad Biomasa	% No. de individuos/m <sup>2</sup> No. de especies/m <sup>2</sup> g/m <sup>2</sup>	Estimación Conteo Conteo Materia seca (horno)
Plagas	Complejo Mosca Pinta  Barrenador del tallo Rata cañera	Ninfas/m lineal Adultos/m lineal Huevecillos/m <sup>2</sup> Larvas/m lineal Individuos/ha	Conteo Conteo Conteo Conteo Conteo
Agroecosistema	Ganancia energética Relación costo– beneficio	MJ \$/ha kg./ha	Cálculo Cálculo Cálculo

Para la toma de datos de los parámetros durante el crecimiento: presencia de arvenses, cosecha de caña, toma de muestras de suelos, macroorganismos y plagas, se definió al azar cinco puntos fijos en cada bloque experimental, cada punto consistió en un área de 1 m<sup>2</sup>, en el cual quedó comprendido el surco de caña al centro. Mensualmente se tomaron y se registraron los datos correspondientes de los parámetros de crecimiento de plantas, malezas y plagas; para el registro de variables edafológicas, se tomaron muestras de suelo de 0 a 0.10 m y de 0 a 0.30 m, al igual que muestras de caña antes y después de la cosecha en los mismos puntos para su posterior análisis en laboratorio; en el caso del análisis edafológico se consideró otro muestreo cuando el promedio de plantas en estudio midieron 2 m de altura. Cabe mencionar que para la toma de datos de los parámetros altura, diámetro y análisis químico de la caña, se seleccionaron 10 plantas al azar en cada punto de muestreo.

Los datos obtenidos de los cinco puntos en cada unidad experimental, se promediaron y se obtuvo un dato correspondiente a cada unidad experimental; y mediante el método gráfico se determinó si existe variación en las variables de estudio a través del tiempo. Algunas variables fueron sometidas a una transformación de datos mediante la fórmula  $\sqrt{x+1}$  y posteriormente se llevó a cabo el análisis de varianza, y cuando existió significancia se procedió a la comparación de medias utilizando las pruebas de rango múltiple de Tukey con  $\alpha=0.05$ , considerando el paquete de análisis estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León (Olivares, 1994).

## RESULTADOS

Resultados para diferentes parámetros de crecimiento y rendimiento de la caña de azúcar no son abundantes en cuanto a observaciones a largo plazo. Su estimación y conocimiento sin embargo son esenciales para la interpretación de efectos económicos y ecológicos en agroecosistemas con la caña de azúcar como cultivo principal (Reynoso, 1963; Leyva y Pohlan, 1987; Pohlan y Borgman, 2002).

Las figuras 1, y 2, presentan resultados sobre los efectos que tuvieron los tratamientos en estudio en altura y diámetro del tallo de la caña de azúcar. Se puede apreciar que de

acuerdo como se manejó este experimento, sobresale la cosechada en verde, debido a que inmediatamente después del corte, se distribuyó de manera uniforme los residuos de cosecha, en cambio donde se estableció el tratamiento convencional, se observa una reducción de estas dos variables, la cual se debe a que después de la cosecha, se realizó la labor de quema de los residuos eliminando la población emergida de caña. Aunado a esto las arvenses se establecieron con anticipación en este sistema y aprovecharon los nutrientes y espacio de dicha área.

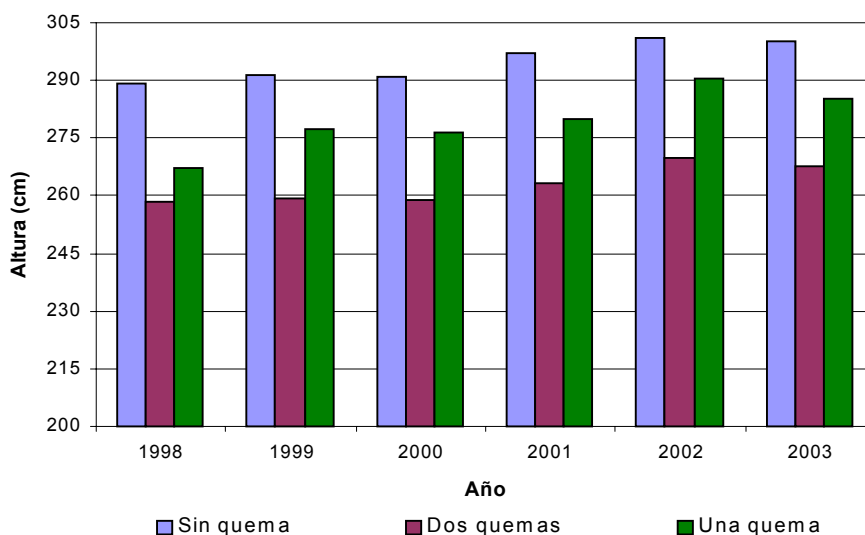


Figura 1. Altura de caña de azúcar al momento de la cosecha (Huixtla, Chiapas. 1998-2003).

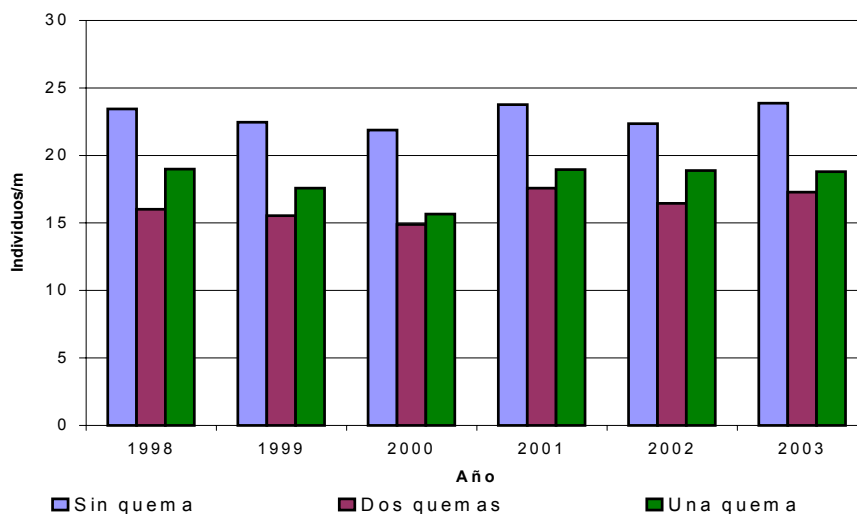


Figura 2. Diámetro de caña de azúcar al momento de la cosecha (Huixtla, Chiapas. 1998-2003).

En la variable número de tallos (figura 3), existe el mismo comportamiento a favor del sistema caña verde, como para altura y diámetro del tallo. Esta diferencia se atribuye a

que el fuego al incrementar la temperatura del suelo y al afectar los hijuelos emergidos, provoca el debilitamiento de la cepa y por ende la reducción de la población de este cultivo.

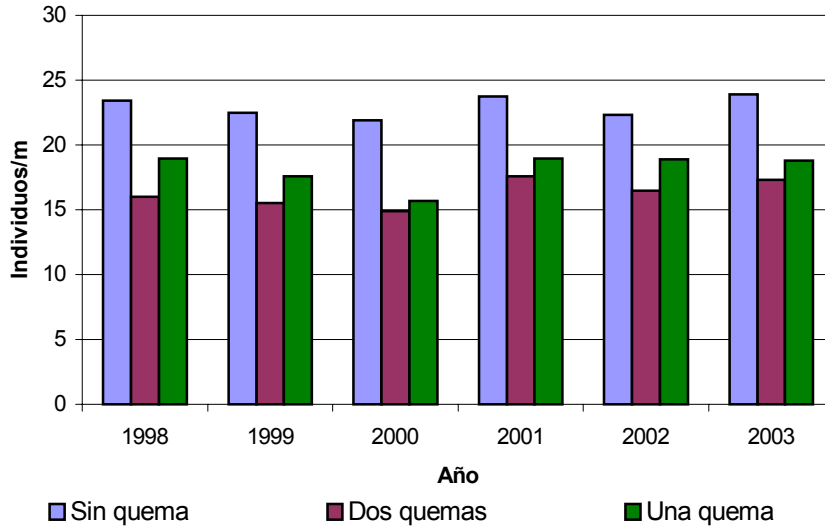


Figura 3. Número promedio de tallos de caña de azúcar por metro lineal en los tres sistemas de cultivo (Huixtla, Chiapas. 1998-2003).

En la calidad del jugo de caña de azúcar, la sacarosa tiene importancia primordial. El tratamiento de caña verde demuestra en todos los años valores significativamente más altos (figura 4). Esto significa que la planta no deja de crecer debido a que los residuos

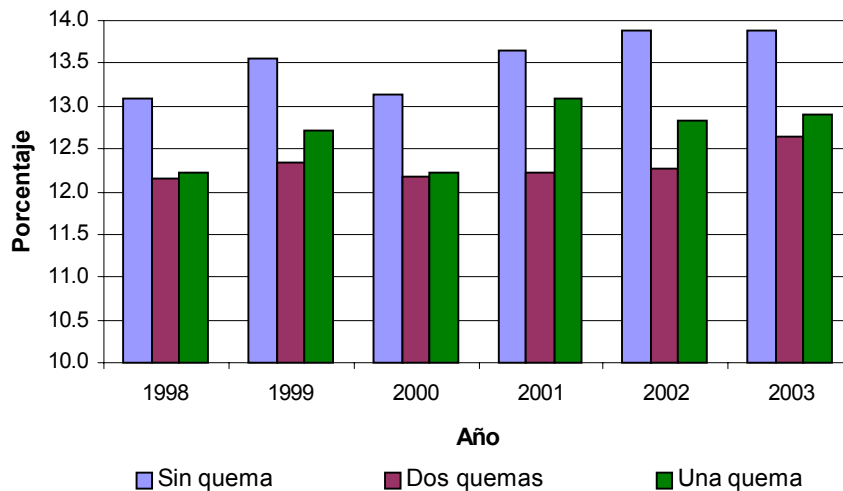


Figura 4. Efecto de diferentes sistemas sobre el contenido de Sacarosa (%) en el jugo de caña de azúcar (Huixtla, Chiapas. 1998-2003).

de cosecha que se encuentran distribuidos sobre el suelo reducen la evaporación por lo que la planta no detiene proporcionalmente la producción de compuestos orgánicos. La pureza del jugo de la caña de azúcar es mayor en el tratamiento sin quema (figura 5), por lo que se considera que al quemar la planta antes del corte, se incrementa la temperatura en el tallo dando como resultado que la cantidad de sólidos se incremente, aunado a esto, al depositar la caña en el suelo las partículas de este se adhieren a ella provocando mayor cantidad de sólidos en el jugo en el momento de la molienda (Chávez y Alfaro, 1996).

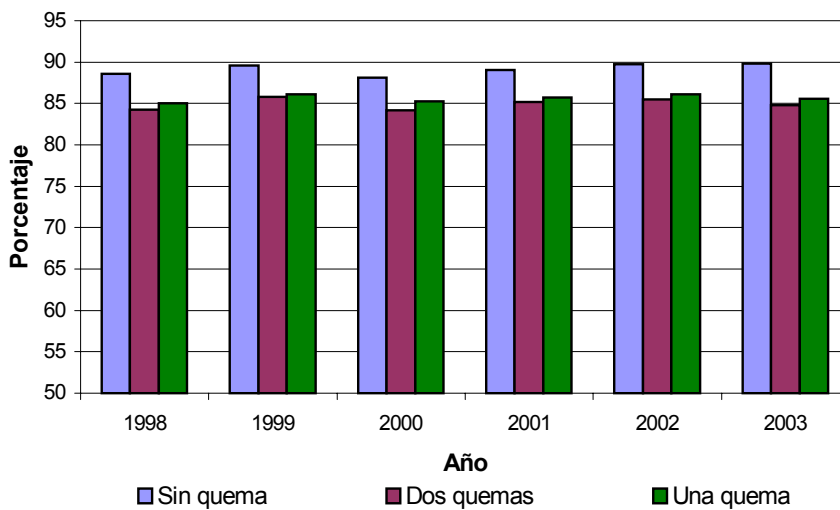


Figura 5. Pureza del jugo de la caña de azúcar en los diferentes tratamientos (Huixtla, Chiapas. 1998-2003).

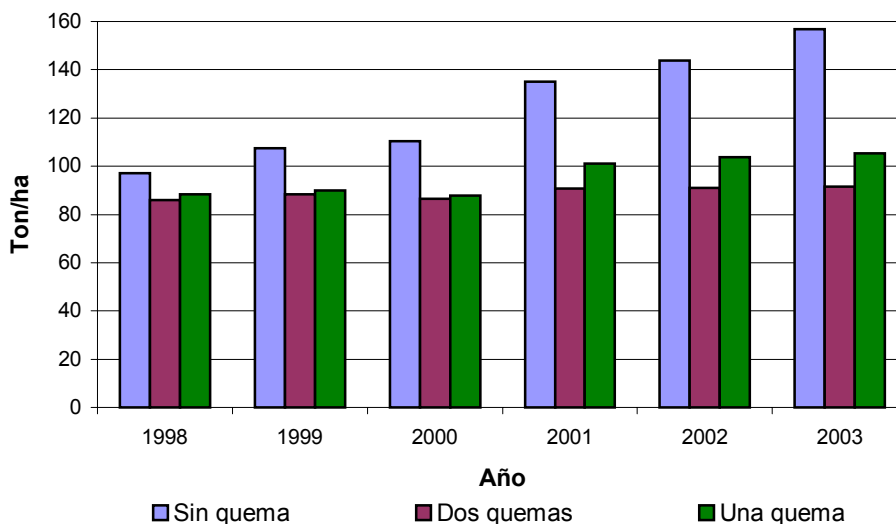


Figura 6. Rendimiento agrícola de caña de azúcar en los tres sistemas (Huixtla, Chiapas. 1998-2003).

El rendimiento agronómico es el resultado de la interacción de factores bióticos y abióticos que se encuentran en un agroecosistema y que se correlacionan entre sí (Altieri, 1983; Gliessman *et al.*, 1981). El tratamiento sin quema registra un sentido ascendente en este rubro y es el que sobresale en todos los años de los otros tratamientos en manera significativa (figura 6). Esto indica que la planta encuentra en el sistema caña verde, las condiciones propicias de humedad, espacio, nutrientes y luz para su desarrollo y crecimiento y en el caso del tratamiento con dos quemas parte de la energía destinada para el aprovechamiento de la misma se desvió hacia las arvenses como se muestra en la figura 8 (Cook y Torres, 1999).

A partir del 2001, se valoró la presencia de macroorganismos en el suelo. El resultado es bien interesante. Se puede observar que el tratamiento sin quema presenta mayor número de individuos (figura 7). Esto se atribuye a que los organismos encontraron el habitat ideal para establecerse en este lugar, y todo lo contrario en el tratamiento con dos quemas, donde el registro de individuos es muy bajo, posiblemente se deba que al quemar la caña se incrementó la temperatura del suelo afectando la población de dichos organismos.

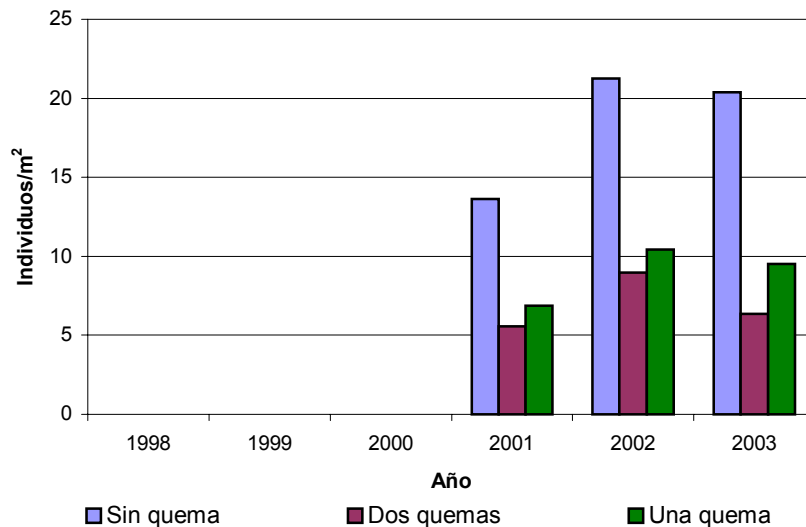


Figura 7. Población promedio de macroorganismos encontrados en el área de los tratamientos en estudio (Huixtla, Chiapas. 2001-2003).

El alto contenido de la materia orgánica, nitrógeno, fósforo y potasio en el tratamiento sin quema, se debe principalmente a que al integrar la fuente de materia orgánica al suelo se incrementa la actividad microbiana por lo se liberan estos elementos.

En el cuadro 1, el tratamiento sin quema, registra que el nivel de pH, se va reduciendo paulatinamente conforme transcurre el tiempo, posiblemente esto se debe a la alta actividad de las bacterias nitrificantes que influyen en la descomposición de la materia orgánica.

Cuadro 1. Promedio de los elementos químicos más importantes en la composición del suelo de los tratamientos incluidos en el experimento. Huixtla, Chiapas. 1998-2003.

Año	Materia Orgánica (%)			Nitrógeno (%)			Fósforo (ppm)			Potasio (Cmol/kg)			pH (nivel)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1998	1.53	1.09	1.21	0.10	0.08	0.09	34.6	19.6	19.8	0.48	0.36	0.45	6.06	5.99	5.92
1999	1.69	1.06	1.22	0.12	0.08	0.09	39.5	21.1	22.0	0.52	0.40	0.41	6.00	6.03	6.36
2000	1.98	1.03	1.23	0.12	0.07	0.08	35.8	21.0	21.4	0.44	0.32	0.33	5.82	6.00	6.48
2001	2.00	1.03	1.34	0.13	0.08	0.09	38.9	22.2	22.1	0.58	0.39	0.39	5.55	6.24	6.25
2002	2.35	1.00	1.31	0.13	0.08	0.09	39.0	22.7	22.5	0.49	0.36	0.46	5.60	6.37	6.23
2003	2.48	1.00	1.32	0.13	0.07	0.09	39.2	22.5	22.2	0.61	0.41	0.48	5.45	6.02	6.00
Prom.	2.00	1.03	1.27	0.12	0.07	0.08	37.8	18.0	21.6	0.52	0.37	0.42	5.74	6.10	6.20

I: Sin quema; II: Dos quemas; III: Una quema

Al parecer, las diferencias en biomasa de las arvenses (figura 8), se explica por la dominancia en el desarrollo y crecimiento de la caña ó arvenses, según la condición ambiental que prevaleció en cada tratamiento. En el tratamiento sin quema, la caña llegó a dominar debido a que, a diferencia de las arvenses, la planta ya se encontraba establecida en el hábitat, incluso contaba con un sistema radicular bien desarrollado, mientras que las arvenses les tomó tiempo en su germinación y desarrollo de un sistema radicular para mantenerse viva. Sin embargo, en los tratamientos con quema, la caña estuvo en desventaja, debido a que sus tejidos que fueron expuestos al fuego cuando se incineraron los residuos de cosecha, tardaron en recuperarse y regenerar tejido nuevo, lo cual requirió de más tiempo que el de la germinación de semillas de arvenses.

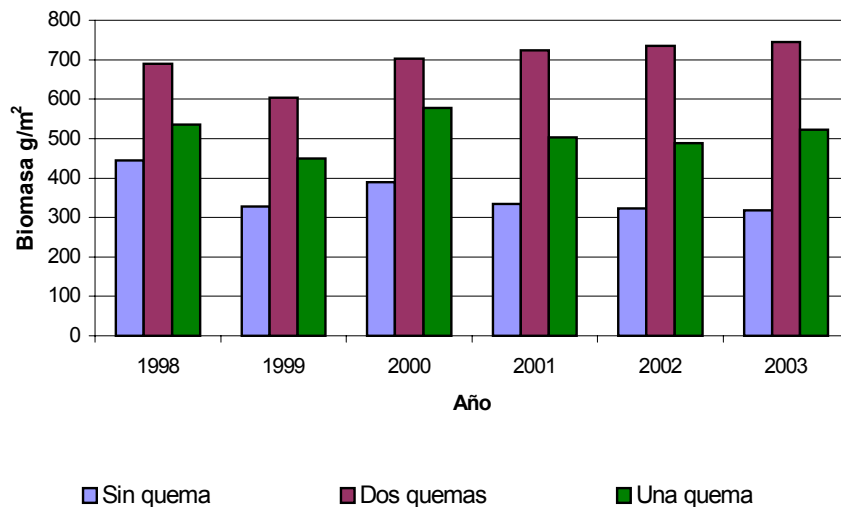


Figura 8. Efecto de los tratamientos sobre la presencia de biomasa seca de malezas (promedio de 3 muestreos por año; Huixtla, Chiapas. 1998-2003).



Esta producción de biomasa coincide con el rendimiento de caña de azúcar registrados en los tratamientos en estudio, donde el tratamiento I presenta la mayor producción de caña, y en el caso de la producción de biomasa de malezas, este mismo tratamiento presenta la menor comparado con los otros, esto se le puede atribuir a que la energía que se encuentra en este agroecosistema y la invertida, se dirigió al objetivo deseado, que es el de que la caña aproveche eficientemente dicha energía para su crecimiento y desarrollo.

Otro resultado de este estudio es, que el tratamiento de dos quemas, presentó ligeramente la mayor población del complejo de plagas que dañan a la plantación de caña de azúcar en la región del Soconusco, Chiapas. En el cuadro 2, se registra la fluctuación poblacional de estas, lo cual se atribuye a los cambios de clima que prevalecieron en los años de estudio y de las condiciones edafoclimáticas de cada tratamiento, también se observó que el tratamiento de dos quemas las plantas presentaban mayor daño, principalmente de *Aeneolamia* spp. y *Prosapia* spp.

Cuadro 2. Registro promedio de la población de las plagas de mayor importancia económica en el cultivo de la caña de azúcar en el desarrollo del experimento. Huixtla, Chiapas. 1998-2003.

Año	<i>Aeneolamia</i> spp. <i>Prosapia</i> spp (ninfas/m)			<i>Sigmodum</i> spp. (adultos/ha)			<i>Diatraea</i> spp. (larvas/m)		
	I	II	III	I	II	III	I	II	III
1998	3.1	6.3	4.4	0.17	0.23	0.20	0.00	0.01	0.01
1999	7.3	10.2	7.8	0.15	0.15	0.11	0.01	0.02	0.01
2000	9.5	10.9	9.4	0.70	0.76	0.71	0.00	0.02	0.02
2001	12.8	13.5	11.5	0.92	1.00	0.98	0.02	0.02	0.00
2002	14.0	13.6	15.9	0.72	0.75	0.75	0.01	0.02	0.02
2003	17.1	11.2	16.1	0.17	0.14	0.22	0.02	0.03	0.01
Prom.	10.6	10.9	10.8	0.47	0.50	0.48	0.010	0.020	0.011

I: Sin quema; II: Dos quemas; III: Una quema

La figura 9, registra que en el sistema caña verde, se produjo mayor energía neta (derivada del contenido de sacarosa, melaza y fibra de la caña) por cada unidad invertida de ésta. Sin embargo el mayor gasto de energía fue en el sistema caña verde, lo cual significa que en este sistema se requiere de mayor esfuerzo para llevar a cabo la cosecha, pues existe mayor número de plantas y un rendimiento más alto que en los otros dos tratamientos con quema. Lo importante de este análisis consiste en la considerable ganancia de energía a través del cultivo de la caña de azúcar sin quema. Aunque los insumos necesarios en la cosecha de la caña verde superan los tratamientos con quema, según Stout (1990), esta tecnología, puede contribuir a una sustitución de fuentes energéticas fósiles en el proceso de la industrialización de la caña de azúcar, aprovechando el bagazo como fuente de energía en la generación de la misma para el ingenio.

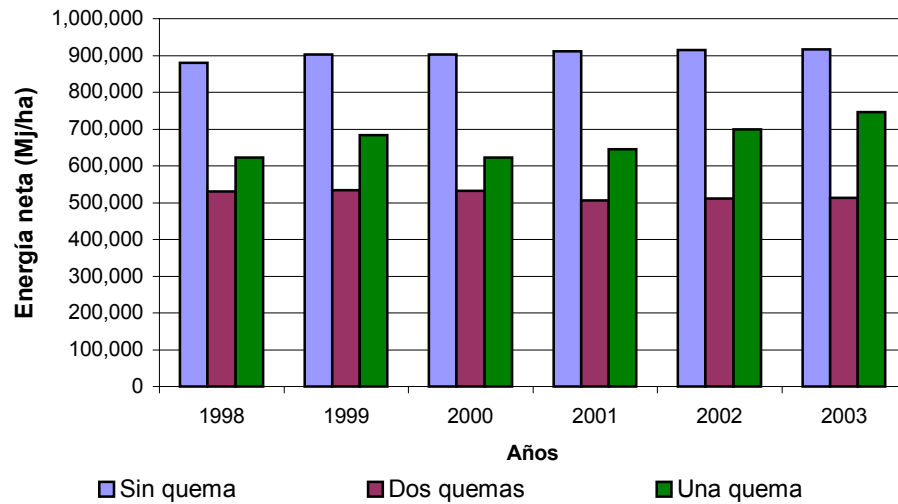


Figura 9. Energía neta generada en los sistemas en estudio (Huixtla, Chiapas. 1998-2003).

En la figura 10, se observa la diferencia que existe entre los sistemas en estudio, donde sobresale la caña sin quema con una mayor utilidad, esto se debe al rendimiento que se obtuvo por hectárea y la reducción de los costos del cultivo principalmente en las labores culturales y adquisición y aplicación de agroquímicos.

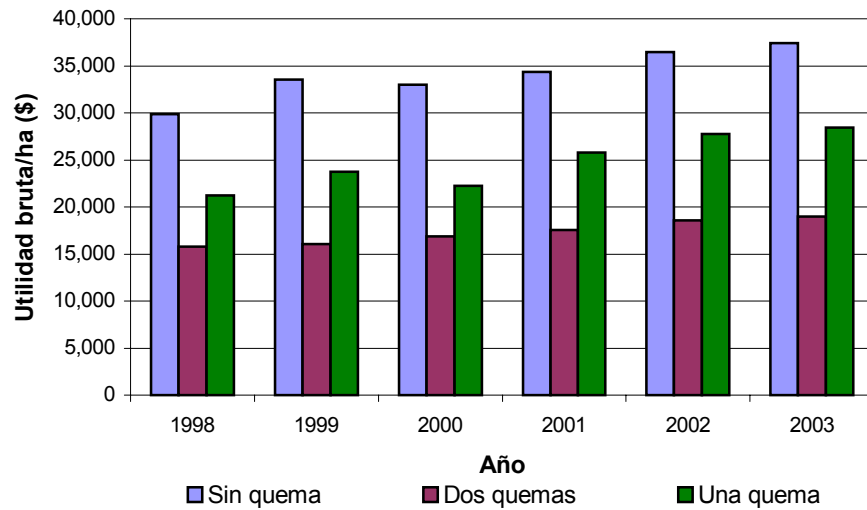


Figura 10. Utilidad bruta (Pesos Mexicanos por ha) de los sistemas de caña (Huixtla, Chiapas. 1998-2003).

## CONCLUSIONES

- a) Al no incinerar el follaje de la caña y no incinerar los residuos de la cosecha de la misma (caña verde), trae como resultado una ventaja en dominancia a favor del cultivo: mayor altura, mayor diámetro y mayor número tallos de caña, que influye al final en el incremento de la producción agrícola de la caña.
- b) La sucesión secundaria que se desenlaza con la cosecha toma rutas diferentes dependiendo si se usa ó no la quema. Al no usarse la quema, se favorece la dominancia de la caña pues ésta se encuentra establecida y arraigada a su hábitat. Al germinar las malezas antes que la caña se recupere de la quema, domina el flujo de energía, aventajando en este caso a la caña.
- c) En las condiciones edafo-climáticas del lugar del experimento, el mayor peso seco de las arvenses registrado fue donde se uso el fuego. Las Poaceas fueron las que registraron mayor cantidad de materia seca, seguido por las Euphorbiaceas.
- d) El análisis de costos efectuado de las labores agrícolas aplicados en cada sistema, sobresalió el sistema con caña verde, donde no se utilizó el fuego como práctica de la cosecha, aquí se reducen los costos hasta un 50% aproximadamente comparado con los sistemas con quema, sin considerar los gastos de cosecha, que éste, va en relación con el rendimiento del cultivo. Con lo referente a la utilidad en esta investigación sobresale también el sistema con caña verde, con una utilidad bruta de 195% y 145% arriba de los sistemas con una y dos quemas respectivamente. Independiente de los beneficios económicos presentados con anterioridad del tratamiento sin quema, se aprecian otras bondades del punto de vista agronómico, ecológico, social y de organización.
- e) En general, se concluye que los resultados analizados, indican la factibilidad de implementar una agricultura sostenible en agroecosistemas de caña de azúcar, basados en principios de no quemar la caña y manejar las coberturas muertas y vivas. Esto requiere prácticas agronómicas adecuadas, cuyo desarrollo debe basarse en tecnologías apropiadas y efectivas y los cuales deben cumplir todos los aspectos de la conservación del medio ambiente y los requerimientos socio – económicos.

## 4. BIBLIOGRAFÍA

- ALTIERI, M. A. 1983. Agroecología, bases científicas de la agricultura alternativa. Ediciones Letal. California, EUA. 169 p.
- ANÓNIMO 2003. Estadística de la Agroindustria de la Caña de Azúcar 1996-2003. Unión Nacional de Cañeros, A.C.-CNPR. 144 p.
- CHAVES, M. y ALFARO, R. 1996. La quema de la caña de azúcar en Costa Rica. San José, Costa Rica. 31 p.

- COCK, H. J. y TORRES, S. J. 1999. Desarrollo de un sistema de producción tropical para la caña verde. CENICAÑA. AA 9138, Vol. 101, No. 1202. Cali, Colombia. pp. 117-126.
- GLIESSMAN, S. R.; GARCÍA, E. R.; AMADOR, A. M. 1981. The ecological basis for the application of traditional agricultural technology in the management of tropical agro-ecosystems. *Agro-ecosystems*. 7:173-185.
- LEYVA, A.; POHLAN, J. 1987. Reseña. Problemática y posibilidades de utilización de la soya en áreas que se dedican a la caña de azúcar. *Revista Cultivos Tropicales*, (Boletín de Reseña), No. 1. INCA. La Habana, Cuba. 20 p.
- OLIVARES, S. E. 1994. Paquete de diseños experimentales. FAUANL. Versión 2.5, Facultad de Agronomía. UANL.
- POHLAN, J.; BORGMAN, J. 2002. Agroecosistemas Orgánicos en la Caña de azúcar (*Saccharum* spp.). En: ZÚÑIGA, O. y POHLAN, J.: *AGRICULTURA ORGANICA EN COLOMBIA – un enfoque analítico y sintético*. Universidad Cali 2002, 392 p.
- POHLAN, J.; BORGMAN, J. 2000. Traditionelle Praktiken der Unkrautbekämpfung in bedeutsamen Kulturen Mittelamerikas – Ursache von Verlust der Bodenfruchtbarkeit und Erosion. *Z. PflKrankh. PflSchutz, Sonderh.* XVII, 761-768.
- REYNOSO, A. 1963. Ensayo sobre el cultivo de la caña de azúcar. Redacción Empresa Consolidada de Artes. Gráfico. La Habana, Cuba. 462 p.
- STOUT, B. A. 1990. *Hand book of energy ford world agriculture*. Elsevier applied science. London and New York, EUA. P 594.
- TOLEDO, T. E. 2000. Alternativas sostenibles para el cultivo de caña de azúcar (*Saccharum* spp.) en el Soconusco, Chiapas. Tesis de Maestría, UNACH, Campus IV. Huehuetán, Chiapas, México. 86 p.