

## EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA PRODUCTIVA DE TRES SISTEMAS AGRÍCOLAS EN EL TRÓPICO HÚMEDO

J.A. Blanco, J.M. Torres, A. Arroyo<sup>1</sup>, J. Arce

*Universidad EARTH*

*Las Mercedes de Guácimo, Limón, Costa Rica*

Recibido 10 de febrero 2010. Aceptado 27 de octubre 2010.

### RESUMEN

Se realizó una investigación en el campus la Universidad EARTH para comparar la eficiencia productiva en tres sistemas diferentes de producción de maíz (*Zea mays*), evaluando las condiciones de planta y calidad del fruto. El estudio se realizó con tres tratamientos (orgánico, biodinámico y convencional) y cuatro repeticiones para cada uno. Se contó con un diseño experimental de bloques completos al azar. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p>0,05$ ) para los descriptores cuantitativos de la planta y del fruto evaluados. En cuanto a los costos de producción se observó que el tratamiento con mayores costos fue el biodinámico.

**Palabras clave:** biodinámica, descriptores cuantitativos, eficiencia productiva, maíz, *Zea mays*.

### ABSTRACT

An investigation was carried out at EARTH University campus to compare the production efficiency in three different production systems of maize (*Zea mays*), evaluating the plant conditions and fruit quality. The study was carried out with three treatments (organic, biodynamic and conventional), with four repetitions in a completely randomized block design. No statistically significant differences were found between the treatments ( $p>0.05$ ) for quantitative descriptors of the plants and fruits evaluated. In regards to the production costs, the biodynamic treatment had higher costs.

**Key words:** biodynamic, quantitative descriptors, productive efficiency, corn, *Zea mays*.

### INTRODUCCIÓN

La principal problemática de la agricultura moderna, o de altos insumos, podría ser la falta de eficiencia, calidad y sostenibilidad productiva. Las causas principales serían: el desconocimiento de los factores influyentes en la producción; la falta de conciencia ambiental y social por parte de los productores, principalmente de monocultivos a grandes escalas; y la falta de exigencia por parte de los consumidores de productos agrícolas de alta calidad. Estos problemas a su vez podrían ser causados por una serie de factores tanto económicos, políticos y sociales que pueden romper el lazo entre las prácticas agrícolas de la antigüedad con las actuales (Lesur, 2005).

Como una alternativa a la problemática de la agricultura de altos insumos, se han retomado algunos sistemas de producción orgánicos, los cuales evitan, e incluso excluyen los fertilizantes y pesticidas sintéticos de la producción agrícola. En lo posible reemplazan las fuentes externas, tales como sustancias químicas y combustibles adquiridos comercialmente, por recursos que se

---

<sup>1</sup> Contacto: Alejandra Arroyo ([aarroyo@earth.ac.cr](mailto:aarroyo@earth.ac.cr))

obtienen dentro del mismo predio o alrededores. Las técnicas específicas que fundamentan la agricultura orgánica son las siguientes: rotación de cultivos, uso de rastrojos vegetales, abono animal, abonos verdes, uso de desechos orgánicos externos al predio, cultivo mecanizado, roca fosfórica y aspectos del control biológico de plagas con miras al mantenimiento de la fertilidad del suelo y su estructura (Restrepo *et al.*, 2000).

Es necesaria la generación de información que colabore en la búsqueda de soluciones a la problemática actual de los sistemas productivos, los cuales contribuyen a la degradación de los recursos naturales no renovables y que además no han podido solventar la escasez de alimentos que actualmente existe en el mundo. Para encontrar soluciones prácticas y eficientes la información debe generarse a partir de estudios experimentales comparativos. En Suiza, el *Research Institute of Organic Agriculture* (Instituto de Investigación de Agricultura Orgánica) ha manejado un proyecto de investigación a largo plazo desde 1974, del cual se ha generado información sobre sistemas de producción orgánicos, biodinámicos y convencionales que han sido mejorados a través del tiempo. Investigaciones en este sentido deben ser impulsadas y apoyadas para construir nuevos caminos hacia la eficiencia, calidad y sostenibilidad de los sistemas productivos actuales.

Un antecesor de la agricultura orgánica moderna es la agricultura biodinámica, la cual se basa en los pensamientos del Dr. Rudolph Steiner (1861-1925), filósofo austriaco fundador de la Sociedad Antroposófica, cuyas prácticas todavía son aplicadas fielmente por muchos agricultores. El método Steiner comprende las ciencias espirituales relacionadas con las fuerzas vitales y los efectos físicos de los cuerpos celestes sobre el crecimiento de las plantas y los animales (Restrepo *et al.*, 2000).

Steiner propone una serie de prácticas agrarias concretas para realizar en la finca, de tal forma que ninguna acción se oponga al todo (cosmos), esto con el objetivo de evitar la degeneración de los alimentos y su pérdida nutricional. Para Steiner, el organismo-granja comprende tres partes bien diferenciadas e inseparables: el ser humano, el polo suelo y el polo cosmos. Estos polos deben estar en equilibrio y sus influencias benéficas deben ser potenciadas, empleándose para ello preparados específicos que se aplican al suelo o a la planta en cantidades muy pequeñas, aunque potenciadoras de influencias positivas (Martínez, 2004).

La fertilización, desde el punto de vista biodinámico, debe consistir en una vitalización de la tierra, es decir, otorgar al suelo elementos que permitan el estímulo creciente de su complejo biótico. Un suelo adquirirá entonces la tendencia a convertirse en un organismo enteramente vivo. Las principales prácticas agrícolas para obtener tal vivificación del suelo son: el abonado con materia orgánica (compost, estiércol, abonos verdes), uso de minerales suplementarios, fosfato natural, polvo de rocas y arcillas que estimulan las interacciones biológicas del suelo. Además los preparados biodinámicos le confieren no sólo elementos nutritivos sino fuerzas que estimulan una mayor producción cuantitativa y cualitativa (Piamonte, 2004).

Ambos sistemas, orgánico y biodinámico, ofrecen alternativas para una agricultura más sostenible. En este sentido, se realizó una investigación con el propósito de generar información sobre el efecto que tienen estos dos sistemas productivos, comparados con un sistema convencional, sobre el crecimiento y producción de las plantas así como de la calidad de los frutos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el campus de la Universidad EARTH, ubicado a 10°12'45'' latitud N y longitud 83°35'39'' O. El campus se encuentra ubicado a una altitud promedio de 35 msnm. Según Holdridge (1997), la universidad se ubica en la zona de vida del bosque tropical húmedo.

Se realizó un diseño en bloques completos al azar, en donde fueron evaluados tres sistemas de producción con cuatro repeticiones. Los sistemas de producción evaluados fueron: convencional, orgánico y biodinámico. Se contó con 12 unidades experimentales de 195 m<sup>2</sup> cada una. La preparación mecánica de la cama de siembra fue la misma en todas las parcelas, realizando dos pasadas de rastra. Se utilizó el híbrido de maíz HS-5. La siembra se realizó con un distanciamiento de 0,5 m entre plantas y 1,0 m entre surcos. Las semillas germinaron cuatro días después de la siembra. El experimento se llevó a cabo en un terreno en el que anteriormente se sembró papaya (*Carica papaya*). Se cosechó el maíz nueve semanas después de la siembra, estando los frutos en un estado inmaduro conocido como chilote.

Para el sistema orgánico, previo a la segunda pasada de rastra, se aplicaron 50 kg de compost en cada repetición, distribuyéndolos de forma homogénea en la parcela, con el objetivo de incorporar el material en el suelo e iniciar su proceso de descomposición. Un mes después fueron realizadas las labores de siembra. El compost utilizado en este tratamiento fue elaborado en la Finca Integrada Orgánica de la Universidad EARTH. Los insumos utilizados fueron: residuos vegetales, aserrín y estiércol de cerdo y búfalo. La temperatura de la pila de compost se mantuvo entre 50 °C a 60 °C mediante volteos semanales y aplicaciones de microorganismos eficientes (EM) en una proporción del 50 % con agua. El periodo de maduración de la cama de compost fue de ocho semanas.

Dos semanas después de la germinación de las semillas se realizó una aplicación foliar de lixiviados de lombricompost en una proporción del 10 %, haciendo uso de una bomba de aspersión manual. Una segunda aplicación de compost se realizó 19 días después de germinadas las semillas, utilizando la misma dosis descrita anteriormente. Se realizó una aplicación de biofertilizante, a base de mantillo de bosque y cabezas de pescado en la sexta semana después de la germinación. El biofertilizante se aplicó en una proporción del 10 % con la ayuda de una bomba de aspersión manual.

En el sistema biodinámico, se aplicaron 50 kg de compost en cada repetición antes de realizar la segunda pasada de rastra, con el objetivo de incorporar el material al suelo e iniciar su proceso de descomposición. Después de la segunda pasada de rastra, se realizó una aplicación de Fladen (nombre dado a la combinación de preparados biodinámicos) (Piamonte, 2004) en forma de aspersión en el suelo, con el objetivo de prepararlo para la siembra. El Fladen utilizado en esta aplicación fue elaborado en la Finca Integrada Orgánica (FIO) de la Universidad EARTH.

Dos semanas después de la germinación de las semillas se realizó una segunda aplicación de compost utilizando la misma dosis de la primera aplicación. Al compost utilizado en esta ocasión, se le incorporó previamente preparados biodinámicos (preparados del 502<sup>2</sup> al 507<sup>3</sup>) (Piamonte, 2004), cuando este se encontraba en una etapa de semi-descomposición, rotándolo semanalmente e incorporándole nuevamente los mismos hasta que el compost se encontró lo suficientemente descompuesto para ser aplicado en el cultivo. Los preparados biodinámicos

---

<sup>2</sup> Se elabora el preparado 502 con flor de milenrama (*Achillea millefolium*).

<sup>3</sup> Se elabora el preparado 507 con flor de valeriana (*Valeriana officinallis*).

utilizados en la preparación del compost se obtuvieron del Instituto Josephine Porter ubicado en Woolwine, Virginia, US dedica a la preparación de preparados biodinámicos y a la realización investigaciones en este tipo de agricultura.

Cuatro semanas después de la germinación, se realizó una aplicación, en forma de aspersión, del preparado biodinámico número 500 a base de estiércol de bovino y cuerno de vaca (Piamonte, 2004), durante las primeras horas de la mañana. Este preparado se obtuvo de la finca biodinámica Luna Nueva ubicada en San Carlos, Costa Rica. De la misma forma que en el sistema orgánico, en este sistema se realizaron las mismas aplicaciones de lixiviados y biofertilizantes descritas anteriormente.

La fertilización para el sistema convencional fue la comúnmente utilizada por los agricultores de la zona. Dos semanas después de la germinación se aplicó el fertilizante químico 10-30-10 a razón de 3 g por golpe. Una segunda aplicación se realizó tres semanas después de la primera, utilizando urea en una dosis de 5 g por golpe.

En los tres sistemas de producción el control de arvenses (plantas ajenas al cultivo) se realizó en forma mecánica y manualmente, haciendo uso de moto guadaña (chapeadora mecánica). Un primer control se realizó dos semanas después de la germinación de las semillas. El segundo y último control se realizó tres semanas después del primero. En ninguno de los tratamientos fue necesario realizar algún tipo de control de plagas ya que su incidencia no superó más de un 5 %, por lo que los daños no fueron significativos.

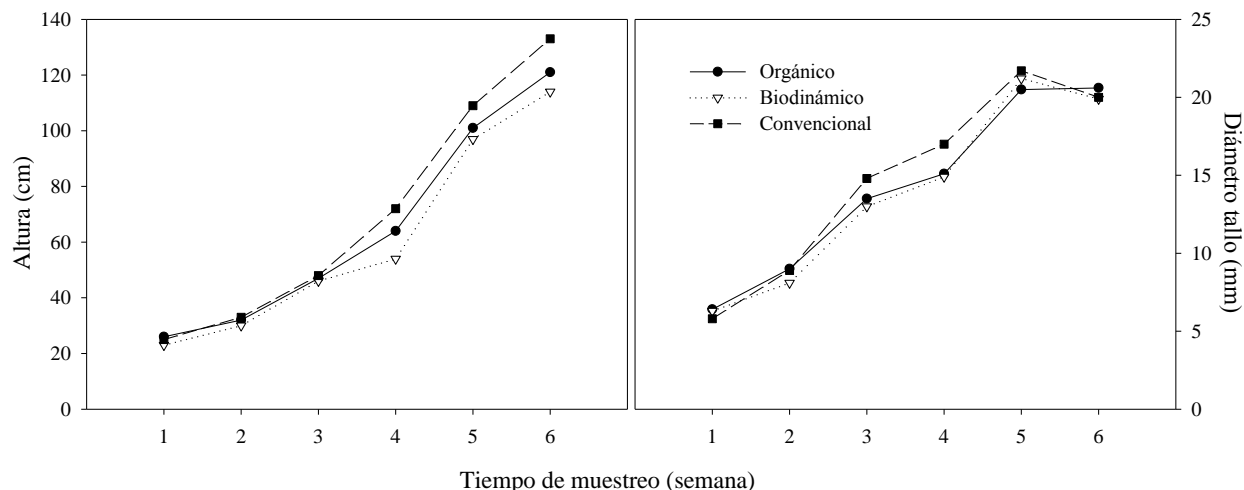
Las variables de la planta evaluadas fueron las siguientes: altura, diámetro del tallo y número de entrenudos. Para las variables de crecimiento se seleccionaron al azar 10 plantas de cada unidad experimental, dejando 3 m de borde, estas plantas fueron identificadas para ser evaluadas semanalmente. En el momento de la cosecha se seleccionaron 15 plantas de cada parcela para estimar biomasa aérea, radicular y biomasa total.

Entre las variables del fruto se consideraron las siguientes: peso del fruto, longitud del fruto, diámetro del fruto, longitud del chilote (estado inmaduro del fruto), diámetro del chilote, peso del chilote y peso de la cobertura del fruto (tuza). Al momento de la cosecha se seleccionaron al azar 15 frutos de cada parcela para ser evaluados. Los análisis químicos foliares y del fruto se realizaron mediante un muestreo al azar para conformar una muestra compuesta.

La comparación entre sistemas de producción para las variables de crecimiento se realizó mediante un modelo de ANOVA para un diseño en bloques completos al azar y mediciones repetidas en el tiempo. Para las variables de producción y calidad del fruto se utilizó ANOVA para un diseño en bloques completos al azar. Los análisis estadísticos se realizaron con el programa InfoStat (InfoStat, 2009).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Al comparar las alturas promedio de las plantas de maíz en los tres tratamientos, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre ellos durante las seis semanas de evaluación (Figura 1). A partir de la semana tres de medición el tratamiento convencional mostró un crecimiento superior al orgánico y al biodinámico. Sin embargo, en el transcurso del crecimiento de las plantas los tratamientos pudieron haber tenido valores de altura parecidos o iguales.



**Figura 1.** Altura promedio, y diámetro promedio del tallo, de las plantas de maíz durante seis semanas de medición y en tres sistemas de producción.

En relación con el diámetro del tallo se observó la misma tendencia de crecimiento en los tres tratamientos evaluados (Figura 1). No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ( $p > 0,05$ ) durante las seis semanas de evaluación. No obstante, en el tratamiento convencional se observó que, a partir de la semana tercera y hasta la semana quinta de medición, el crecimiento en diámetro fue un poco mayor que en los tratamientos biodinámico y orgánico. En la semana sexta de medición los tres tratamientos tuvieron casi idénticos resultados.

Al comparar el número promedio de entrenudos entre los tres tratamientos evaluados durante las seis semanas de medición, se encontró la misma tendencia en cuanto a su comportamiento. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ).

Al analizar el peso fresco promedio de la biomasa aérea y radical no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ). Las plantas con el tratamiento biodinámico tuvo la mayor cantidad de biomasa aérea y solamente un 14 % de biomasa radical (Cuadro 1). Sin embargo, los porcentajes de biomasa aérea y de raíces fueron muy parecidos en los tres tratamientos cuando se comparó el valor del error estándar entre ellos.

**Cuadro 1.** Biomasa de las plantas en tres sistemas de producción.

Tratamiento	Biomasa					
	Aérea			Raíces		
	g			%		
Orgánico	292,3 (29,2) †	55,9 (11,3)	248,1 (40,5)	83,9	16,1	
Biodinámico	330,13 (36,7)	55,0 (11,5)	385,1 (48,1)	85,7	14,3	
Convencional	277,3 (23,8)	60,2 (11,3)	337,5 (31,1)	82,2	17,8	

† Error estándar entre paréntesis.

En relación con los descriptores peso del fruto, longitud del fruto, diámetro del fruto, longitud del chilote (estado inmaduro del fruto), diámetro del chilote, peso del chilote y peso de la cobertura del fruto (tuza), no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ( $p>0,05$ ). Con el tratamiento biodinámico el fruto presentó una longitud promedio de 26,7 cm, en tanto que los tratamientos orgánico y convencional los frutos presentaron una longitud promedio más corto, de 25,3 cm y 24,9 cm, respectivamente (Cuadro 2). En cuanto al descriptor “diámetro del fruto” se observó que con el tratamiento biodinámico presentó mayor valor promedio (3,7 cm), mientras que con los tratamientos orgánico y convencional presentaron valores promedio de 3,2 cm y 3,5 cm, respectivamente (Cuadro 2).

**Cuadro 2.** Valores promedio de los descriptores del fruto en tres sistemas de producción evaluados.

<b>Variables</b>	<b>Orgánico</b>	<b>Biodinámico</b>	<b>Convencional</b>
Longitud fruto (cm)	25,3 (1,4) †	26,7 (1,6)	24,9 (0,4)
Diámetro fruto (cm)	3,2 (0,3)	3,7 (0,2)	3,5 (0,0)
Peso fruto (g)	127,1 (20,9)	140,9 (20,6)	121,4 (4,0)
Longitud chilote (cm)	15,4 (1,0)	15,3 (0,7)	14,6 (0,3)
Diámetro chilote (cm)	2,9 (0,6)	2,4 (0,2)	2,4 (0,1)
Peso chilote (g)	53,0 (7,5)	55,9 (8,5)	47,1 (1,3)
Peso tuza (g)	74,1 (13,4)	85,0 (12,8)	74,4 (5,1)

† Error estándar entre paréntesis.

Al analizar el descriptor “peso del chilote” en el tratamiento biodinámico, se obtuvo un peso promedio del chilote de 55,9 g, lo cual representa un rendimiento de 1,12 Mg/ha. Los tratamientos orgánico y convencional presentaron pesos promedios de chilote de 53,0 g y 47,1 g, que representan 1,06 Mg/ha y 0,942 Mg/ha, respectivamente.

En un análisis de los costos de producción para cada sistema evaluado (CRC/ha)<sup>4</sup>, el tratamiento biodinámico representó un 14 % más de los costos de producción del tratamiento orgánico y un 19 % más del convencional (Cuadro 3). En el caso del sistema convencional se aplicaron 128 kg/ha de fertilizante comercial 10-30-10 y 154 kg/ha de urea. En el sistema biodinámico los preparados utilizados en el pueden ser elaborados dentro de la misma finca, siempre y cuando se cuente con la materia prima necesaria. Caso contrario, sería necesario obtenerlos de una fuente externa teniendo un costo de 40.600 CRC/ha (Cuadro 3). Se realizaron dos controles de arvenses (el primero con motoguadaña y manual, en tanto que el segundo con motoguadaña), durante el ciclo del cultivo en los tres tratamientos, para lo cual se necesitaron 24 horas de trabajo.

<sup>4</sup> Tipo de cambio utilizado: 580 CRC = US\$ 1.00.

**Cuadro 3.** Costos de producción por hectárea en cada sistema de producción evaluado. †

Variables	Orgánico	Biodinámico	Convencional
	----- CRC/ha -----		
Preparación del terreno (2 pasos de rastra)	48.000	48.000	48.000
Semilla	42.000	42.000	42.000
Fertilización	112.820	112.820	142.843
Preparados biodinámicos	–	40.600	–
Mano de obra fertilización	90.641	90.641	36.256
Mano de obra control de arvenses	133.248	133.248	133.248
Mano de obra aplicación de preparados biodinámicos	–	27.192	–
Total	426.710	494.682	402.347

† Los costos de cosecha no fueron considerados en este estudio.

### CONCLUSIONES

No se encontraron diferencias estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tres sistemas productivos evaluados en cuanto al diámetro del tallo, número de entrenudos, longitud de la hoja, ancho de hoja, peso de biomasa aérea, peso de biomasa radical y crecimiento de las plantas de maíz. En relación a los descriptores longitud del fruto, diámetro del fruto, peso del fruto, longitud del chilote, diámetro del chilote, peso del chilote y peso de la tuza, tampoco encontraron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ( $p > 0,05$ ). El tratamiento biodinámico representa un 14 % más de los costos de producción que el tratamiento orgánico y un 19 % más que el tratamiento convencional.

### AGRADECIMIENTOS

Este estudio se pudo realizar gracias al financiamiento brindado por la Administración Académica y la Unidad de Investigación de la Universidad EARTH, Guácimo, Costa Rica.

### LITERATURA CITADA

- Holdridge, LR. 1997. *Ecología basada en las zonas de vida*. San José (CR) : IICA. 216 p. ISBN 92-9039-131-6.
- InfoStat. 2009. *InfoStat, versión 2009: software estadístico* [programa de computación]. Córdoba (AR) : Universidad Nacional de Córdoba. Disponible para descarga en <http://www.infostat.com.ar/>.
- Lesur, L. 2005. *Manual del cultivo de maíz: una guía paso a paso*. 1a. ed. México D.F. (MX) : Trillas. 80 p. ISBN 968-24-7219-9.
- Martínez, R. 2004. Análisis de los estilos de agricultura ecológica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología*, vol. 72, p. 10-21.

Piamonte, R. 2004. Agricultura biodinámica: conceptos y contribuciones para el desarrollo de una agricultura ecológica. *In Ciclo de conferencias "Aportes para el futuro de la granja" 40 años de INIA Las Brujas. Las Brujas, República de Uruguay, 24 de agosto de 2004.* Las Brujas (UY) : INIA. 7 p.

Restrepo, MJ.; Angel, DI. y Prager, M. 2000. Agroecología. 1a. ed. Santo Domingo (DO) : CEDAF. 124 p. ISBN 99934-8-002-9.