

Respuesta del maíz (*Zea mays* L.) a la aplicación foliar de abonos orgánicos líquidos

Response of maize (*Zea mays* L.) to foliar application of liquid organic fertilizers

Percy Díaz-Chuquizuta^{1a}, Edison Hidalgo-Melendez^{1b}, Cynthia Cabrejo-Sánchez² y Ofelia Andrea Valdés-Rodríguez^{3*}

^{1a} Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario, Estación Experimental Agraria El Porvenir, Tarapoto, San Martín, Perú
<https://orcid.org/0000-0002-9893-5482>

^{1b} Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario, Estación Experimental Agraria El Porvenir, Tarapoto, San Martín, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-4345-6668>

² Universidad Nacional de Tumbes, Facultad de Ciencias Agrarias. Av. Universitaria S/N, Pampa Grande, Tumbes, Perú
<https://orcid.org/0000-0003-3594-4629>

³ El Colegio de Veracruz, Col. Centro, Xalapa, Veracruz, México
<https://orcid.org/0000-0002-3702-6920>

* Autor para correspondencia E-mail: dra.valdes.colver@gmail.com

RESUMEN

El maíz (*Zea mays* L.) es un insumo básico en la alimentación a nivel mundial que se cultiva empleando principalmente fertilizantes minerales y prácticas que contribuyen a la degradación de los suelos. Los abonos orgánicos son una alternativa que contribuye a limitar la degradación de los suelos y a mejorar la productividad de los cultivos. El objetivo de la investigación fue determinar la respuesta del maíz a la aplicación de abonos foliares orgánicos líquidos y estimar la rentabilidad económica de cada tratamiento. Se usó un diseño de bloques completamente al azar con cinco tratamientos: pescado hidrolizado (T1), aceite de Neem (T2), estiércol líquido bovino digerido al 60% (T3), fertilización NPK (T4) y testigo (T5). Los resultados indicaron que las plantas de maíz con fertilización NPK alcanzaron el menor número de días a la floración masculina (51,50) y femenina (53,50), y la mayor altura de mazorca (101,25 cm). Las que recibieron fertilización NPK y las que recibieron estiércol líquido de bovino alcanzaron los valores más altos en longitud de mazorca (18,17 y 16,44 cm, respectivamente), cantidad de granos por hilera (32 y 29 unidades, respectivamente) y rendimiento de grano (7,32 y 6,95 t·ha⁻¹, respectivamente). No se presentaron diferencias significativas en el número de hileras en mazorca. La mayor rentabilidad se obtuvo con estiércol líquido bovino (54,01%), seguido de NPK (52,61%). Se concluye que el estiércol líquido de bovino aplicado de manera foliar permite alcanzar rendimientos cercanos y rentabilidad superior a los obtenidos con fertilización convencional NPK.

Palabras clave: estiércol bovino, mazorca, productividad de maíz, agricultura tropical, agricultura sostenible.

ABSTRACT

Maize (*Zea mays* L.) is a worldwide staple food, cultivated using mainly mineral fertilizers and other soil degradation practices. Biofertilizers are an alternative to help limit soil degradation and improve crop productivity. This research aims to determine maize response to foliar applications of liquid organic fertilizers. A completely randomized block design with five treatments was used: hydrolyzed fish (T1), Neem oil (T2), digested liquid bovine manure (T3), NPK fertilization (T4), and the control (T5). The results show that maize plants with conventional fertilization reached the lowest number of days to male (51.50) and female flowering (53.50), and the highest ear height (101.25 cm). Maize plants with NPK fertilization and those receiving liquid bovine manure recorded the highest values in extended ear length (18.17 and 16.44 cm, respectively); number of grains per row (32 and 29 units, respectively); and grain yield (7.32 and 6.95 t·ha⁻¹ respectively). There were no significant differences in the number of rows per ear. The highest cost-effectiveness was obtained with liquid bovine manure (54.01%), followed by NPK (52.61%). In conclusion, foliar applications of digested liquid bovine manure result in similar yields and higher cost-effectiveness to those obtained by conventional NPK fertilization.

Keywords: bovine manure, biofertilizers, maize ear, maize productivity, sustainable agriculture

INTRODUCCIÓN

El maíz (*Zea mays* L.) es uno de los cereales más importantes en la alimentación mundial. En la actualidad, es el cultivo más extendido a nivel global, con 170 países y más de 200 millones de hectáreas cosechadas en el 2018 (FAO, 2020). El maíz es un cultivo muy importante porque se utiliza ampliamente para la elaboración de alimentos balanceados en la industria avícola y porcina y para alimentación humana; así mismo, también es fuente de empleo permanente para muchos pequeños productores (García, 2019; Guzmán et al., 2017).

En Perú, el maíz amarillo duro tiene una superficie sembrada de 254.743 ha y una producción de 1.271.825 t (DDTA, 2020), con alrededor del 20% producido en la Amazonía peruana (MINAGRI, 2018). Sin embargo, esta producción aun no logra abastecer la demanda nacional, incrementando la dependencia en las importaciones y poniendo en riesgo la seguridad y soberanía alimentaria.

El maíz presenta problemas en la producción, atribuidos al inadecuado uso de fertilizantes sintéticos que comúnmente no superan el 33% de eficiencia (Sosa et al., 2019). La baja eficiencia de los fertilizantes minerales es causada por prácticas agronómicas inadecuadas, como la fertilización excesiva, la compactación del suelo y el riego por gravedad, que favorecen la alteración microbiológica del suelo, la pérdida de nutrientes, la lixiviación y la volatilización; y, con ello, contribuyen a la degradación y disminución de la productividad de los cultivos (Álvarez-Solís et al., 2010; Sosa et al., 2019). Los fertilizantes sintéticos también se han convertido en un problema ambiental, debido a que su

uso contamina el suelo y los recursos hídricos. Actualmente, el difícil acceso a los fertilizantes químicos y sus altos costos han conducido a la búsqueda de fuentes alternativas de fertilización (Barrios y Pérez, 2018; Aguilar et al., 2015).

En este sentido, el uso de abonos foliares orgánicos es una alternativa que aporta nutrientes a las plantas (Díaz-Chuchizuta y Valdés-Rodríguez, 2020). Los abonos orgánicos favorecen la fertilidad y la nutrición de las plantas al tener una relación baja de C:N (menor a 20) y además pueden prevenir, controlar e influir en la severidad de enfermedades provocadas por patógenos del suelo (Ávalos de la Cruz et al., 2018; Álvarez-Solís et al., 2010). Por lo tanto, el uso de fuentes orgánicas con el fin de disminuir las dosis de fertilizantes químicos (NPK) propicia un impacto positivo sobre la conservación del suelo y una mayor eficiencia en el uso de nutrientes por el cultivo, permitiendo el desarrollo de una agricultura sostenible (Barrios y Pérez, 2018).

Una estrategia de fertilización consiste en considerar el uso de fuentes orgánicas de nutrientes por aspersión foliar. Esto se fundamenta en el concepto de la hoja como el órgano de la planta más importante para el aprovechamiento de los nutrientes, siendo éstos absorbidos con mayor rapidez debido al tamaño de partícula, lo que permite una aplicación más uniforme, y corrige de manera más rápida las deficiencias de nutrientes en momentos críticos para el desarrollo de los cultivos (Borges et al., 2014; Terry et al., 2017). En el cultivo de maíz, la fertilización foliar como complemento de la fertilización edáfica en etapas fenológicas en V6 (cuando la planta posee seis hojas que ya completaron su crecimiento (Barandiarán, 2020)) influye significativamente en los componentes de

rendimiento del maíz amarillo duro (Cedeño et al., 2018), pero aún no se han probado métodos de fertilización foliar con abonos orgánicos líquidos, tales como el pescado hidrolizado, el estiércol líquido de bovino y el aceite de Neem.

Por ello, el objetivo del presente estudio fue determinar la respuesta en la productividad y estimar la rentabilidad del maíz a la aplicación foliar de diferentes abonos orgánicos líquidos en comparación con un abonado químico convencional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de estudio y condiciones ambientales

El estudio se realizó en la Estación Experimental Agraria El Porvenir (EEA El Porvenir) localizada en el km 14,5 carretera Fernando Belaunde Terry, en el distrito de Juan Guerra, provincia y departamento San Martín; cuyas coordenadas son 76°18'46" W y 6°35'28" S, a una altitud de 230 msnm (metros sobre el nivel del mar), con características de bosque seco tropical, de acuerdo con las zonas de vida de Holdridge (Aybar-Camacho et al., 2017). Los datos climáticos fueron obtenidos de la estación meteorológica automática El Porvenir (Código 4723013A), localizada en el distrito de Juan Guerra (SENAMHI, 2020). Durante el periodo de estudio la temperatura media fue de 26,7 °C, la precipitación acumulada de 496,1 mm y la humedad promedio de 72,8%.

Antes de la siembra, una muestra compuesta de suelo fue extraída en el área de estudio para su análisis en el Laboratorio de Suelo y Agua de la EEA El Porvenir, donde se determinó: pH del suelo, conductividad eléctrica, P disponible, K intercambiable, materia orgánica (MO), N, y textura del suelo. De acuerdo con la interpretación del Laboratorio, los resultados de los análisis se muestran en la Tabla 1.

Material experimental y diseño del experimento

Las semillas de maíz amarillo duro utilizadas pertenecen al cultivar Marginal 28-T (registro N°036 INIPA) generado en la EEA El Porvenir. La siembra se realizó durante los meses de enero a junio del año 2020, época de campaña grande por tener mayor presencia de lluvias y tuvo una duración de 150 días. Se realizó manualmente con tres semillas por punto de siembra a una profundidad de 5 cm. El distanciamiento entre líneas y plantas fue de 0,8 m y 0,4 m, respectivamente. Las plantas excedentes se eliminaron a los 20 días después de la siembra, manteniendo dos plantas por punto de siembra, para obtener una densidad poblacional de 62.500 plantas·ha⁻¹. El área de cada parcela fue de 16 m² (5,0 m de largo y 3,2 m de ancho).

Los tratamientos evaluados fueron: pescado hidrolizado (T1), a dosis de 8 L·ha⁻¹ (dosis comercial); estiércol líquido de bovino digerido (T2) al 60 % (García-Gonzales et al., 2020), a dosis de 160 L·ha⁻¹ (dosis comercial); aceite de Neem

Tabla 1. Análisis del suelo del sitio experimental

Table 1. Soil analysis of the experimental site

Prueba	Método	Resultado	Interpretación
pH	Potenciómetro en suspensión suelo agua relación 1:2	5,95	Ligeramente ácido
Conductividad eléctrica	Conductímetro suspensión suelo-agua 1:2,5	0,304 dS m ⁻¹	Salinidad despreciable
P disponible	Método de Olsen modificado, solución extractora NaHCO ₃ =0,5 M, pH 8.5 Esp.Vis	10,8 ppm	Contenido medio
K intercambiable	Método de (NH ₄)CH ₃ -COOH=1N, pH7 absorción Atómica	56,7 ppm	Contenido bajo
Materia orgánica	Método de Walkley y Black	0,12 %	Contenido medio
N inorgánico	Método de micro-Kjeldahl	2,37 %	Contenido medio
Textura	Método del hidrómetro	Arena: 29,81%, limo: 14,29%, Arcilla: 55,9%	Franco-arcillosa

Resultados e interpretación proporcionados por el Laboratorio de Suelo y Agua de la Estación Experimental Agraria El Porvenir.

(T3), a dosis de 300 cc·ha⁻¹ (dosis comercial); una fórmula química de fertilización (T4), con 150 kg·ha⁻¹ de N, 120 kg·ha⁻¹ de P (Superfosfato triple) y 100 kg·ha⁻¹ de K (Cloruro de Potasio), que se determinó con base en los nutrientes presentes de acuerdo con el análisis de suelo realizado antes del experimento; y un tratamiento testigo (T5) que no tuvo ninguna aplicación.

La aplicación del T4 se realizó de forma manual, aplicando la mitad de la dosis de N más toda la dosis de P y K cuando el maíz estuvo en estado de crecimiento V3, es decir cuando la planta posee tres hojas que ya completaron su crecimiento, normalmente 10 días después de siembra (d.d.s.), y la otra mitad de N se aplicó en estado V7 (con siete hojas que han completado su crecimiento, lo que ocurre normalmente 30 d.d.s (Barandiarán, 2020)), haciendo un hoyo de 10 cm de profundidad en el suelo y a 10 cm de la base de la planta. El contenido de N, P y K, la dosis, el lugar y el momento de aplicación de los tratamientos se detalla en la Tabla 2. La aplicación de los T1, T2 y T3 fue foliar.

El control de malezas se realizó con el herbicida glifosato a una dosis de 2 L·ha⁻¹. Se realizaron dos deshierbes manuales antes de la cosecha. El control del gusano cogollero *Spodoptera frugiperda* se realizó mediante la aplicación del insecticida Chlorpyrifos (Farmagro®) a los 15 días después de la siembra, usando una dosis de 1,5 L·ha⁻¹, solo en los tratamientos con fertilizante (T4) y el testigo (T5). La aplicación del insecticida se hizo como parte de las actividades habituales del cultivo de maíz. No se aplicó en los tratamientos T1, T2 ni T3 para evaluar la respuesta de las plantas ante estos tratamientos en condiciones naturales.

Variables de estudio

La evaluación de las variables se hizo en las dos líneas internas de la parcela, a los 120 días, al momento de la cosecha, cuando el cultivo completó la madurez fisiológica. Se evaluaron las siguientes variables biométricas: días a la floración masculina y femenina, desde la siembra hasta alcanzar el 50% de plantas en floración; altura de planta, medida en la fase de llenado de granos, desde el suelo hasta la hoja bandera; la altura de mazorca, desde el suelo hasta la base de inserción de la mazorca superior, ambas con flexómetro Gripper (precisión 1 mm). También, se evaluó la longitud y diámetro de la mazorca (con cinta métrica, precisión 1mm), así como el número de hileras, granos por hilera, peso de 100 granos y rendimiento de grano. El peso se registró utilizando una balanza digital (BOECO®, BSP 52 PLUS).

Para calcular el rendimiento de grano (RG) en t·ha⁻¹, se aplicó la fórmula usada por Espinosa-Calderón et al (2014): $RG = (PC \times \%MS \times \%G) \times FC \cdot 8600^{-1}$. El peso en campo (kg) del total de las mazorcas cosechadas en la parcela neta está representado por PC; %MS es el porcentaje de materia seca calculado a partir de una muestra de grano de cinco mazorcas recién cosechadas (este valor se estima mediante cinco mazorcas por tratamiento, llevadas a 75° C por 48 horas y su posterior peso); %G es el porcentaje de grano obtenido como el cociente entre el peso de grano y el de mazorca; y FC es el factor de conversión a rendimiento por hectárea que se obtiene de dividir 10.000 m² entre el tamaño de la parcela neta determinado en m² (7,68 m²), y 8.600 es una constante empleada para estimar el rendimiento con una humedad del grano del 14%.

Tabla 2. Principales componentes, dosis, momento y lugar de aplicación de los tratamientos.
Table 2. Main components, doses, time and place of application per treatment.

Tratamientos	Contenidos NPK indicados por el fabricante	Dosis	Lugar de aplicación	Momento de aplicación
Pescado hidrolizado (T1) ^a	3% N, 3% P, 3% K	8 L·ha ⁻¹	Hoja	15 y 25 d.d.s.
Estiércol líquido de bovino (T2) ^b	0,01% N, 39,4% P, 0,15% K	160 L·ha ⁻¹	Hoja	15, 25 y 35 d.d.s.
Aceite de Neem ^a (T3)	1,05% N, 0,01% P, 0,01% K	300 cc·ha ⁻¹	Hoja	20 y 35 d.d.s.
Fertilizante (T4)	Urea 46% N, Superfosfato 46% P, Cloruro de Potasio 60% K	150 N·ha ⁻¹ , 120 P·ha ⁻¹ 100 K·ha ⁻¹	Suelo	50% N, 100% P, 100% K a los 10 d.d.s., 50% N a los 30 d.d.s.
Testigo (T5)	Sin aplicación	Ninguno	Ninguno	Ninguno

d.d.s.: días después de siembra; Fuentes: ^aOrganic International Perú SAC (2020); ^banálisis reportados por García-Gonzales et al. (2020).

Estimación de la rentabilidad del cultivo

Para determinar la rentabilidad de cada tratamiento se realizó una conversión de moneda nacional (soles peruanos) a dólares estadounidenses (USD), por ser moneda de cambio universal, y se utilizaron las expresiones algebraicas aplicadas por Ayvar-Serna et al. (2020), basados en la teoría económica, donde el Costo total (CT) se obtuvo de sumar los costos fijos (CF) más costos variables (CV), ($CT = CF + CV$). Para estimar el ingreso total (IT) se calculó el ingreso obtenido por la venta de la producción, empleando la fórmula: $IT = Py * Y$, donde: P_y es el precio del producto, y Y es la producción por hectárea. El ingreso neto (IN) resultó de restar el ingreso total menos el costo total ($IN = IT - CT$). La relación Beneficio-Costo⁻¹ o Ganancia por dólar invertido (GPI) se obtuvo dividiendo el ingreso neto entre el costo total ($GPI = IN/CT$).

Diseño y análisis estadístico

Para el análisis estadístico se consideró el diseño en bloques completamente al azar con cinco tratamientos (tres abonos foliares orgánicos, un tratamiento con fertilización NPK y un testigo sin fertilización), con cuatro parcelas como bloques por tratamiento. Se realizó un análisis de varianza y prueba de medias Tukey con un nivel de significación de 0,05. Se utilizó el programa estadístico SAS 9.4 (SAS Institute Inc., 2013) para todos los análisis.

RESULTADOS

Las variables biométricas del cultivo en campo (Tabla 3) presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($P < 0,01$). La aplicación de fertilizante NPK alcanzó el menor número de días a la floración masculina y femenina, pero no hubo diferencias entre los otros tratamientos ($P > 0,05$). Los abonos foliares orgánicos (T1, T2 y T3), la fertilización (T4) y el testigo (T5) obtuvieron alturas diferentes de planta. El tratamiento con fertilizante NPK (T4) alcanzó la mayor altura de mazorca, quedando en segundo sitio el estiércol líquido de bovino (T3) y el testigo (T5), que fueron similares estadísticamente ($P > 0,05$).

Las variables de la mazorca (Tabla 4) presentaron diferencias altamente significativas entre tratamientos, excepto en el número de hileras por mazorca. Los tratamientos con fertilizante NPK y estiércol líquido de bovino alcanzaron longitudes de mazorca en promedio 20% superiores a las alcanzadas por el testigo, siendo estadísticamente similares entre ellos ($P > 0,05$). Los tratamientos tuvieron diferencias significativas en diámetro de mazorca. Los diámetros de mazorca obtenidos con los tratamientos NPK y estiércol líquido de bovino digerido fueron superiores en casi 10 % al compararse contra el testigo, siendo estos dos estadísticamente similares entre sí. De forma similar, el NPK y el estiércol líquido lograron casi 20% más granos que el testigo. Mientras que

Tabla 3. Promedios de las variables biométricas del cultivo de maíz amarillo duro en campo en respuesta a la aplicación de abonos foliares orgánicos y un fertilizante convencional.

Table 3. Average bibliometric data from hard yellow corn under field conditions as a response to foliar organic fertilizers.

Tratamiento	DFM (días)	DFF (días)	AP (cm)	AM (cm)
Pescado hidrolizado (T1)	53,50 ± 0,58 a	59,00 ± 1,15 a	163,00 ± 10,89 c	56,50 ± 5,20 c
Estiércol líquido de bovino (T2)	53,50 ± 1,29 a	58,00 ± 2,83 a	182,50 ± 11,47 ab	83,00 ± 10,30 b
Aceite de Neem (T3)	53,75 ± 0,96 a	57,25 ± 0,96 a	169,00 ± 7,75 bc	63,00 ± 4,69 c
Fertilizante NPK (T4)	51,50 ± 1,00 b	53,50 ± 1,00 b	191,50 ± 1,00 a	101,25 ± 7,37 a
Testigo (T5)	53,50 ± 0,58 a	57,00 ± 0,82 a	169,50 ± 5,47 bc	71,50 ± 5,74 bc
<i>P</i> -valor	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
CV (%)	1.31	2.40	4.16	9.17

DFM: Días a la floración masculina, DFF: Días a la floración femenina, AP: Altura de planta, AM: Altura de mazorca, CV: Coeficiente de Variación. ^{abc} Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$)

en el peso en 100 granos se obtuvo un 7% más con NPK en relación con el testigo. Sin embargo, con el pescado hidrolizado y el aceite de Neem se obtuvieron las respuestas más bajas de peso en 100 granos, siendo incluso similares al testigo (Tabla 4).

En el análisis económico (Tabla 5) se encontró que el tratamiento que generó mayor rentabilidad fue el estiércol líquido de bovino (20.6% en comparación con el testigo y 1,3% en relación con el NPK). La segunda rentabilidad más alta la obtuvo el tratamiento con fertilizante NPK, mientras que la menor se obtuvo con el aceite de Neem, que solo superó al testigo en 2,26%.

DISCUSIÓN

De acuerdo con las variables biométricas del cultivo en campo (Tabla 3), las diferencias significativas entre los tratamientos foliares (T1, T2 y T3) y el testigo con respecto al T4 (fertilizante NPK) en los días a la floración masculina y a la floración femenina indican que la fertilización con NPK influyó en la reducción de los días para floración; ya que esta variable, además de depender de las características genéticas del material sembrado, el ambiente y fotoperiodo, también depende del manejo de la fertilización (Barrios y Basso, 2018). Fabián et al. (2020), en su ensayo comparativo con híbridos de maíz tuvo como testigo a la variedad marginal 28-T, reportando mayor número de días a la floración en condiciones de manejo en la costa peruana para la variedad marginal 28-T. Por lo que se

considera que esta variable obedece a dos factores: en primer lugar, a las variaciones de las condiciones climáticas que causan alteraciones en las características morfo-fisiológicas y en el metabolismo de las plantas (Tirado-Lara et al., 2020), y, en segundo lugar, al estímulo de la fertilización con NPK (T4). La información de los tratamientos testigo (T5) y abonos orgánicos (T1, T2, T3) indica que los días de la floración masculina y femenina (53 a 59, respectivamente) son los que caracterizan a la variedad Marginal-28T en las condiciones de selva húmeda de la región.

En relación con las alturas de las plantas, el rango de todos los tratamientos en este trabajo se encontró entre 153 (T1) y 192 (T4) cm. Dichas alturas se encuentran por debajo del rango reportado por Fabián et al. (2020), quienes indican que la variedad Marginal 28-T alcanzó una altura de planta de 235,13 cm, mientras que la altura de mazorca fue de 124,5 cm, ambas alturas superiores a las medidas alcanzadas en este experimento. Por lo que se considera que estos resultados se pueden deber a las condiciones agroclimáticas, ya que Fabián et al. (2020) no reportan utilización de fertilizantes en sus cultivos. Los resultados obtenidos entre el testigo y los fertilizantes demuestran que el crecimiento de la planta de maíz respondió a niveles de P más altos (39% o más). Por su parte, el pescado hidrolizado fue el tratamiento que generó las alturas más bajas, a pesar de poseer más nutrientes que el aceite de Neem (Tabla 2). Estos resultados son congruentes con los obtenidos por Aguirre y Alegre (2015) en el

Tabla 4. Promedios de las variables de mazorca del cultivo de maíz amarillo duro en campo en respuesta a la aplicación de abonos foliares orgánicos y un fertilizante convencional.

Table 4. Average cob data from hard yellow corn under field conditions as a response to the application of foliar organic fertilizers and one conventional fertilizer.

Tratamiento	LM (cm)	DM (cm)	NGH	P100 granos (g)	RG (t·ha ⁻¹)
Pescado hidrolizado (T1)	10,66 ± 0,67 b	3,66 ± 0,35 b	20,75 ± 2,06 c	23,51 ± 1,46 c	4,66 ± 0,33 b
Estiércol líquido de bovino (T2)	16,44 ± 1,17 a	3,98 ± 0,34 ab	29,00 ± 0,82 a	28,42 ± 2,05 ab	6,95 ± 0,24 a
Aceite de Neem (T3)	11,44 ± 0,49 b	3,81 ± 0,36 b	24,25 ± 1,71 b	23,97 ± 2,40 c	5,44 ± 0,13 b
Fertilizante NPK (T4)	18,17 ± 1,03 a	4,54 ± 0,18 a	32,00 ± 0,82 a	29,81 ± 1,10 a	7,32 ± 0,4 a
Testigo (T5)	11,00 ± 0,53 b	3,75 ± 0,24 b	21,75 ± 2,22 bc	25,82 ± 1,01 bc	3,78 ± 0,39 c
P -valor	<0,01	0,01	0,17	<0,01	<0,01
CV (%)	6,44	7,85	9,11	5,86	6,42

LM: Longitud de mazorca, DM: Diámetro de mazorca, NGH: Número de granos por hilera, P100: Peso de 100 granos, RG: Rendimiento de grano; abc: Letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0,05$).

Tabla 5. Rentabilidad de los tratamientos en el cultivo de maíz amarillo Marginal 28-T.**Table 5. Cost-effectiveness of the treatments used to cultivate hard yellow corn of the variety Marginal 28-T.**

Tratamiento	Y (t·ha)	Costo=kg· Py	IT = Py*Y	CT=CF+CV	IN=IT-CT	GPI=IN·CT ⁻¹	Rentabilidad (%)=GPI*100
Pescado hidrolizado (T1)	4,66	0,263	1226,32	880,87	345,45	1,39	39,22
Estiércol líquido de bovino (T2)	6,95	0,263	1828,95	1187,56	641,38	1,54	54,01
Aceite de Neem (T3)	5,44	0,26	1431,58	1038,88	392,70	1,38	37,80
Fertilizante NPK (T4)	7,32	0,263	1926,32	1262,24	664,08	1,53	52,61
Testigo (T5)	3,78	0,263	994,74	733,77	260,97	1,36	35,57

Y: producción en t·ha; Py: precio del producto por kg; IT: ingreso total; CT: costo total; CF: costos fijos; CV: costos variables; IN: ingreso neto; GPI: relación beneficio·costo⁻¹; todos los costos se convirtieron a USD.

cultivo de maíz variedad Santa Elena 5070, donde la aplicación foliar de residuos hidrolizados de pescado no mostró efectos favorables, ni cuando fue aplicado como complemento a la fertilización completa ni cuando fue aplicado solo, mostrando resultados bajos y semejantes a los controles, tanto en producción de biomasa como en rendimiento de grano. Por lo que se puede considerar que el maíz no logra asimilar adecuadamente los nutrientes contenidos en el pescado hidrolizado. Por su parte, el estiércol líquido de bovino fue el tratamiento que produjo las mayores alturas, después del tratamiento con fertilizante NPK, lo que indica una buena asimilación de nutrientes por parte del maíz con este tipo de abono.

Las variables de mazorca significativamente superiores con la fertilización NPK y con el estiércol líquido bovino impactaron fuertemente sobre el rendimiento del grano, con un incremento de 32% y 30%, respectivamente, con respecto al testigo. Estos resultados superaron el rendimiento promedio del maíz amarillo duro a nivel nacional, y en el departamento San Martín, que son de 4,5 y 2,1 t·ha⁻¹, respectivamente (MINAGRI, 2018). Se confirma lo hallado por Gonzales-Fuentes et al. (2021), quienes consideran que la fertilización orgánica contribuye a obtener frutos de mayor calidad, así como un crecimiento y atributos morfológicos muy semejantes a la nutrición inorgánica, como se demostró para el tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Estos autores concluyen que las dosis y las fuentes de nutrición orgánica influyen positivamente en el comportamiento del cultivo; aunque también mencionan que se obtuvo la mejor respuesta al emplear como aporte de N el hidrolizado de proteína de pescado al

100%, lo que en este experimento no fue similar. Por lo que se considera que el aprovechamiento de los nutrientes por parte del tomate y del maíz obtendrán diferentes resultados con los mismos abonos orgánicos, ya que el tomate tiene mejor respuesta a la producción de clorofila con abonos orgánicos después de un cierto periodo de aplicación (Gonzales-Fuentes et al., 2021). También se considera que la absorción de nutrientes por vía foliar depende de la superficie de la hoja, las características de la cutícula y la epidermis de cada planta (Murillo-Castillo et al., 2013), las cuales difieren entre especies.

Con lo aquí expuesto, se puede determinar que la aplicación de estiércol líquido bovino influye en el incremento de los indicadores de producción del maíz, tales como rendimiento de grano, número de granos por hilera, longitud y diámetro de mazorca, y peso de 100 granos. Por ello se puede afirmar que el uso de abonos foliares orgánicos a base de estiércol de bovino digerido, de aplicación foliar por aspersión, es tan efectivo como la aplicación en el suelo de un fertilizante mineral, como un NPK. Tal como se vio en este estudio (Tabla 2) y como lo indican García-Gonzales et al. (2020), el estiércol líquido de bovino posee altos niveles de fósforo (aproximadamente 39,4%), lo que favorece la intercepción de radiación solar y la fotosíntesis; por consiguiente, se obtiene mayor acumulación de materia seca que se traduce en mejores rendimientos y permite un aumento de la productividad (Da Silva-Gomes et al., 2019).

García-Gonzales et al. (2020) también determinaron que el maíz variedad Marginal 28-T responde positivamente a la aplicación de

abono líquido bovino, y el mayor rendimiento de grano se alcanza con la aplicación de abonos foliares orgánicos a base de estiércol de bovino a una concentración de 60%, haciendo posible compensar parcialmente la absorción insuficiente por parte de las raíces. Por lo que el área foliar de la planta es un factor importante para una mejor fertilización por este medio. En ese sentido, será necesario profundizar en el efecto del estiércol líquido de bovino a nivel de área foliar para evaluar el crecimiento de la planta de maíz, como lo realizaron Aguilar et al. (2015), quienes reportan que la utilización de biofertilizantes durante la siembra (la inoculación de la semilla con el biofertilizante en polvo, a razón de 1 kg de *Glomus* y 0.4 kg de *Azospirillum*, mezclado con agua y adherente en 20 kg de semilla de maíz) supera en área foliar y rendimiento al testigo, más aún cuando se combina con dosis de N entre 80 y 160 kg.ha⁻¹. Mientras que García-Gonzales et al. (2020) reportan que la concentración al 60% del estiércol líquido de bovino produce el mayor rendimiento en maíz en relación con concentraciones menores (20 y 40%) en un clima tropical húmedo.

En el análisis económico (Tabla 5), tanto el uso de los abonos foliares orgánicos (T1, T2 y T3), como el tratamiento con fertilizante mineral NPK (T4) y el testigo (T5) presentaron una relación beneficio – costo (B-C) positiva. Pero entre ellos, el tratamiento con estiércol líquido de bovino (T2) obtuvo el valor de relación beneficio – costo más alto, seguido del tratamiento con fertilizante NPK, por lo tanto, el abono líquido de bovino resultó ser el tratamiento más rentable. El estiércol líquido de bovino permitió un margen de ganancia 18 % superior al testigo y 1 % superior al fertilizante NPK. Al respecto, se considera que, aunque el estiércol líquido de bovino requiere una mayor cantidad de fertilizante a utilizar por hectárea (160 L), es un recurso renovable de producción continua y diaria en los sistemas integrados de ganadería y agricultura. Por ello, la cantidad requerida de estiércol líquido digerido no sería una limitante para estos sistemas. Incluso la inversión realizada en la adquisición de un biodigestor se vería compensada en el tiempo con los beneficios obtenidos en cada campaña de producción de maíz. Aunque investigadores como Abreu et al. (2018) y Ayvar-Serna et al. (2020) sugieren hacer un uso integrado de los fertilizantes minerales como NPK en combinación con abonos orgánicos, este experimento halló que el estiércol líquido de bovino al 60% puede reemplazar el uso de NPK.

Así, se considera que la utilización de abono foliar orgánico de origen bovino mediante la fertilización por aspersión foliar permite obtener una productividad y rentabilidad superiores a las que se obtienen con otros abonos foliares

orgánicos, como el aceite de Neem y el pescado hidrolizado, siendo semejante a la fertilización mineral con NPK. Este tipo de fertilización permite también realizar una mejor gestión de los residuos de la actividad agropecuaria para incrementar la productividad e ingresos económicos de los productores a través del uso de insumos locales y de baja inversión, además de inclinar la balanza a favor del manejo alternativo con abonos como forma sostenible de producción de alimentos, coadyuvando a la soberanía alimentaria y la salud humana (Mancilla et al., 2020). Por lo que los resultados de esta investigación muestran que las tecnologías de producción orgánica son opciones viables y rentables para familias con economías de subsistencia, que además contribuyen a la reducción del uso de insumos químicos, lo que favorece la conservación del medio ambiente.

CONCLUSIONES

La productividad y rentabilidad del cultivo de maíz se incrementa en respuesta a la aplicación foliar de estiércol líquido de bovino digerido al 60% a razón de 160 L.ha⁻¹, siendo significativamente superior a la obtenida con pescado hidrolizado o aceite de Neem, y estadísticamente similar a la obtenida con fertilización química convencional, por lo que resulta ser una alternativa al uso de fertilizantes minerales para desempeñar una agricultura sostenible.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Programa Nacional de Investigación (PNI) en Maíz de la Estación Experimental Agraria (EEA) El Porvenir y al personal de campo (Tarapoto, San Martín, Perú).

LITERATURA CITADA

- Abreu C. E., C. E. Araujo, J. S. L. Rodríguez, Á. A. L. Valdivia, A. L. Fuentes, y H. Y. Pérez. 2018. Efecto de la aplicación combinada de fertilizante químico y humus de lombriz en *Capsicum annuum*. Centro Agrícola 45(1): 52-61.
- Aguilar, C., J. Escalante, y I. Aguilar. 2015. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. Terra Latinoamericana 33(1): 51-62.
- Aguirre, G. y J. Alegre. 2015. Uso de fuentes no convencionales de nitrógeno en la fertilización del maíz (*Zea mays* L.) en Cañete (Perú). I: Rendimiento y extracción de N, P y K. Ecología Aplicada 14(2): 157-162.

- Álvarez-Solís, J. D., D. A. Gómez-Velasco, N. S. León-Martínez y F. A. Gutiérrez-Miceli. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia* 44(5): 575-586.
- Ávalos de la Cruz, M. A., V. U. Figueroa, H. J. L. García, V. C. Vázquez, R. M. A. Gallegos y C. I. Orona. 2018. Bioinoculantes y abonos orgánicos en la producción de maíz forrajero. *Nova Scientia* 10(20): 170-189. <https://doi.org/10.21640/ns.v10i20.1285>
- Aybar-Camacho, C., W. Lavado-Casimiro, E. Sabino, S. Ramírez, A. Huerta y O. Felipe-Obando. 2017. Atlas de zonas de vida del Perú - Guía Explicativa. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). Dirección de Hidrología. Disponible en: <http://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/259> (consulta 2 enero, 2022).
- Ayvar-Serna, S., J. F. Díaz-Nájera, M. Vargas-Hernández, A. Mena-Bahena, M. A. Tejada-Reyes y Z. Cuevas-Apresa. 2020. Rentabilidad de sistemas de producción de grano y forraje de híbridos de maíz, con fertilización biológica y química en trópico seco. *Terra Latinoamericana* 38(1): 9-16. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i1.507>
- Barandiarán, M.A. 2020. Manual Técnico del cultivo de maíz amarillo duro. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/1643>
- Barrios, M. y C. Basso. 2018. Efecto de la fertilización nitrogenada sobre componentes del rendimiento y calidad nutricional del grano de seis híbridos de maíz. *Bioagro* 30(1): 39-48. http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612018000100004&lng=es&tlng=es.
- Barrios, M. y D. Pérez. 2018. Efecto de la aplicación continua de estiércol bovino sobre el crecimiento y producción de maíz y características químicas del suelo. *Bioagro* 30(2): 117-124.
- Borges, J. A., M. Barrios, A. Chávez y R. Avendaño. 2014. Efecto de la fertilización foliar con humus líquido de lombriz durante el aviveramiento de la morera (*Morus alba* L.). *Bioagro* 26(3): 159-164.
- Cedeño S., F., Ch. J. Cargua, D. J. Cedeño, V. J. Mendoza, A. G. López y G. G. A. Cedeño. 2018. Aplicación foliar de micronutrientes y fitorreguladores como complemento de la fertilización edáfica en maíz amarillo duro. *La Técnica* 19(1): 19-30.
- Da Silva-Gomes, J.W, N. Da Silva-Dias, M. A. Moreno-Pizani, K. Fortunato de Paiva, J. L. Araujo-Rocha, E. B. Gonçalves-Araújo, and C. Dos Santos-Fernandes. 2019. Growth and mineral composition of the melon with different doses of phosphorus and organic matter. *DYNA* 86(211): 363-368.
- DDTA (Dirección de Desarrollo Tecnológico Agrario). 2020. Manual técnico del cultivo de maíz amarillo duro. Instituto Nacional de Innovación Agraria - INIA. Lima, Perú. Disponible en: <http://pgc-snia.inia.gob.pe:8080/jspui/handle/inia/1057> (consulta 2 febrero, 2022).
- Díaz-Chuquizuta, P. y O.A. Valdés-Rodríguez, 2020. Crecimiento de plántulas de caoba (*Swietenia macrophylla* King) en respuesta a extractos vegetales. *Agrociencia*, 54(5), 673-681. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v54i5.2124>
- Fabián, N.H., D.B. Luis y R.H. Tirado. 2020. Comparativo de rendimiento en híbridos nacionales e internacionales de maíz bajo condiciones del valle de Pativilca, Lima, Perú. *Peruvian Agriculture Research* 2(2):60-67. <https://doi.org/10.51431/par.v2i2.643>
- FAO. 2020. FAOSTAT Statistical Database: Cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Roma, Italia. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. (consulta 5 febrero 2022).
- García, M. 2019. Evapotranspiración y requerimientos de agua para la programación de riego de los cultivos *Saccharum officinarum* L. (Poaceae) "caña de azúcar", *Zea mays* L. (Poaceae) "maíz" y *Asparagus officinalis* L. (Asparagaceae) "espárrago" en el valle Chicama, Perú. *Arnaldoa* 26(2): 793-814. <http://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.262.26218>
- García-Gonzales, E., P. Díaz-Chuquizuta, E. Hidalgo-Meléndez y O. Aguirre. 2020. Respuesta del cultivo de maíz a concentraciones de estiércol bovino digerido en clima tropical húmedo. *Manglar* 17(3): 203-208.
- González-Fuentes, J.A., C. J. Lozano-Cavazos, P. Preciado-Rangel, E. Troyo-Diéguez, A. Rojas-Duarte y J.C. Rodríguez-Ortiz, 2021. Fertilización orgánica contra convencional en el rendimiento, atributos morfológicos y calidad de fruto de tomate uva en un sistema de subirrigación no recirculante. *Terra Latinoam.* 39, e897. <https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.897>

- Guzmán, M., D. Díaz, C. Ramis, R. Figueroa-Ruiz y R. Jiménez. 2017. Estimación de la aptitud combinatoria y heterosis en híbridos no convencionales de maíz con alto contenido de proteína. *Bioagro* 29(3):175-184.
- Organica International Perú. 2020. Productos. Disponible en: <http://www.organicinternationalperu.com/productos> (consulta 10 junio, 2021).
- Mancilla V., O. R., O. Hernández V., J. C. Manuel C., J. A. Chávez C., E. A. Castillo Á., R. D. Guevara G., J de J., Huerta O., Á. Can C., H. M. Ortega E. y E. I. Sánchez B. 2020. Rentabilidad en maíz (*Zea mays* L.) y Chile (*Capsicum annuum* L.) con manejo convencional y alternativo en Autlán, Jalisco. *Idesia* 38(3), 33-42. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292020000300033>
- MINAGRI. 2018. Calendario de siembras y cosechas. Lima, Perú. Ministerio de Agricultura y Riego, Dirección General de Seguimiento y Evaluación de Políticas. Disponible en: <https://www.minagri.gob.pe/portal/205-especiales/publicaciones-en-venta/2052-calendario-de-siembras-y-cosechas> (consulta 2 febrero, 2022).
- Murillo-Castillo, R.G., G. Piedra-Marín y R. León. 2013. Absorción de nutrientes por hoja. *Uniciencia*, 27(1): 32-244. <https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/uniciencia/article/view/4952>
- SAS. 2013. Base SAS 9.4® Procedures Guide: Statistical Procedures. Second Edition. Cary, NC: SAS Institute Inc. P- 1-556. Disponible en: <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/procstat/66703/PDF/default/procstat.pdf> (consulta 12 enero, 2022).
- SENAMHI. 2020. Datos meteorológicos. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Lima, Perú. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/?yp=estaciones> (consulta 2 febrero, 2021).
- Sosa, B., M. Sánchez de Prager, Y. García, M. Espinoza, J. Rodríguez, y G. Sosa. 2019. Dinámica de nitrógeno del suelo en agroecosistemas bajo el efecto de abonos verdes. *Acta Agron.* 68(4): 257-264. <https://doi.org/10.15446/acag.v68n4.71963>
- Terry A., E., R.A. Falcón, P.J. Ruiz, S.Y. Carrillo, y M.H. Morales. 2017. Respuesta agronómica del cultivo de tomate al bioproducto QuitoMax®. *Cultivos Tropicales* 38(1), 147-154.
- Tirado-Lara, R., R. Tirado-Malaver, E. Mayta-Huatuco, and W. Amoros-Briones. 2020. Identification of pigmented-fleshed potato clones of high marketable yield and better frying quality: Stability and multivariate analysis of genotype environment interaction. *Scientia Agropecuaria.* 11(3):323-334. <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.04>