

## VALORACIÓN SUSTITUTIVA DE BIOFERTILIZANTES EN EL CULTIVO DE MAÍZ EN CINCO REGIONES DEL ESTADO DE OAXACA

### [SUBSTITUTE ASSESSMENT OF BIOFERTILIZERS IN CORN CULTURE IN FIVE REGIONS OF THE STATE OF OAXACA]

**Ernesto Castañeda-Hidalgo<sup>2</sup>, Marco Antonio Vásquez-Cruz<sup>1</sup>, Gisela Margarita Santiago-Martínez<sup>2§</sup>, Celerino Robles-Perez<sup>3</sup>, Salvador Lozano-Trejo<sup>2</sup> y Yuri Villegas-Aparicio<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Programa de Maestría en Ciencias en Productividad en Agroecosistemas. Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca (ITVO). Tecnológico Nacional de México. <sup>2</sup>Profesor investigador del ITVO. Tecnológico Nacional de México. Ex Hacienda de Nazareno, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. C.P. 71230. Tel. 9515170788. <sup>3</sup>Profesor Titular del Instituto Politécnico Nacional. CIDIIR-Unidad Oaxaca. Calle Hornos No 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, C.P. 71230 Oaxaca, México. <sup>§</sup>Autor para correspondencia: (gissant68@hotmail.com).

#### RESUMEN

El estudio se realizó con el objetivo de evaluar el potencial productivo de cuatro biofertilizantes comerciales a base de hongos micorrízicos y bacterias que actúan en los procesos de fijación simbiótica, como solubilizadores y mejoradores de suelo; en el cultivo de maíz. El estudio se realizó durante 2017 en distintas regiones del estado de Oaxaca: Valles Centrales, Mixteca, Sierra Juárez, Istmo y Tuxtepec, en suelos con bajo potencial productivo y diferentes condiciones de clima y manejo. Cada biofertilizante se aplicó en combinación con fertilizantes químicos sintéticos en dos niveles 50 y 100% bajo el manejo tradicional del productor. Se generaron ocho tratamientos y un testigo. Los datos se sometieron al análisis de la varianza con procedimiento GLM (SAS versión 9.0), considerando los criterios de clasificación: tratamiento y región. Se realizó un análisis de covarianza para las variables fitoproductivas: variedad de maíz, número de plantas por metro cuadrado y para las variables económicas precio unitario de venta del grano de maíz; se realizó un análisis *Cluster* con las variables fitoproductivas para denotar la agrupación de los tratamientos según el efecto de los biofertilizantes. Los tratamientos con biofertilizantes para el rendimiento de grano resultaron ser superiores al tratamiento testigo. Una vez consideradas las variables económicas se proponen alternativas de uso a los agricultores dependiendo de las necesidades de cada uno de ellos.

**Palabras clave:** bacterias, hongos, microorganismos.

#### ABSTRACT

The study was carried out with the objective of evaluating the productive potential of four commercial biofertilizers based on mycorrhizal fungi and bacteria that act in symbiotic fixation processes, as solubilizers and soil improvers; in growing corn. The study was carried out during 2017 in different regions of the state of Oaxaca: Valles Centrales, Mixteca, Sierra Juárez, Istmo and Tuxtepec, in soils with low productive potential and different climate and management conditions. Each biofertilizer was applied in combination with synthetic chemical fertilizers at two levels 50 and 100% under the traditional management of the producer. Eight treatments and one control were generated. The data were subjected to the analysis of variance with the GLM procedure (SAS version 9.0), considering the classification criteria: treatment and region. An analysis of covariance was carried out for the phytoproductive variables: variety of corn, number of plants per square meter and for the economic variables, unit sale price of the corn grain; A Cluster analysis was performed with the phytoproductive variables to denote the grouping of the treatments according to the effect of biofertilizers. Biofertilizer treatments for grain yield were superior to the control treatment. Once the economic variables have been considered, alternatives for use are proposed to farmers depending on the needs of each one of them.

**Keywords:** bacteria, fungi, microorganisms.

## INTRODUCCIÓN

El maíz en México es de gran importancia para la alimentación. Se siembra anualmente en una superficie de 7.5 millones de ha y se obtiene una producción aproximada de 22.7 millones de t de grano (SIAP-SAGARPA, 2014). El país es deficitario en la producción del grano, ya que se importan anualmente 10 millones de t (Alcántar *et al.*, 2013). Para alcanzar la autosuficiencia nacional en la producción de maíz se requiere incrementar el rendimiento sin aumentar la superficie de cultivo. México optó a partir de la década de los 50`s, por la aplicación del modelo conocido como revolución verde, que consiste en el uso de paquetes tecnológicos, con los que se logró la autosuficiencia alimentaria y durante algunos años se exportaron granos. Sin embargo, el crecimiento poblacional ha incrementado la demanda a niveles que la producción no logra cubrir, aun con el uso intensivo y progresivo de agroquímicos, causando efectos indeseables e irreversibles al ambiente (Armenta *et al.*, 2010).

La agricultura es una forma de vida que requiere del mantenimiento del suelo para conservar la capacidad productiva y la armonía con el ambiente, lo que hace necesarias las prácticas agroecológicas (Álvarez *et al.*, 2010; Pérez *et al.*, 2012); para implementar sistemas agrícolas sostenibles (Röder *et al.*, 2015). Una opción agroecológica para la nutrición de los cultivos es la incorporación de biofertilizantes (BF), elaborados a base de microorganismos como hongos y bacterias, útiles para el crecimiento, protección fitosanitaria, rendimiento y mejoramiento de la fertilidad del suelo (Grageda *et al.*, 2012; Spagnoletti *et al.*, 2013; Faisal *et al.*, 2015). Mondal *et al.* (2015) proponen como alternativa la reducción de fertilizantes químicos sintéticos (FQS) en los cultivos, mediante una combinación con BF para optimizar la eficiencia de uso de los nutrientes contenidos en los FQS y el suelo. Córdova *et al.* (2009) afirman que los BF son los únicos productos orgánicos que contienen microorganismos vivos, que al aplicarse colonizan la rizósfera, el suelo y la raíz, generando una gran disponibilidad de sustancias nutritivas para las plantas. Estos microorganismos, viven en simbiosis con las plantas mejorando la disponibilidad de nutrientes del suelo (Grageda *et al.*, 2012). González (2008), menciona que el incremento en los costos de la agricultura es un problema al que hay que dar soluciones, una alternativa sería mejorar la agricultura tradicional con el uso de insumos orgánicos y BF; ya que su aplicación reduce costos y dependencia de insumos externos, además de que mantiene una armonía con el ambiente (López *et al.*, 2008; Mendoza *et al.*, 2014; Aguilar *et al.*, 2015a).

El uso de los BF en países de América Latina como México, Colombia, Brasil, Cuba, Venezuela, Nicaragua y Costa Rica, han tenido buenos resultados con productores de pequeña y mediana escala, lográndose una disminución de los FQS (Noh *et al.*, 2014). Cuba es uno de los países que ha dedicado gran parte de sus esfuerzos tecnológicos a desarrollar productos orgánicos y BF con buenos resultados (Lara *et al.*, 2011). En México, se han logrado incrementos en el rendimiento de maíz entre el 30 y 70% en comparación con la parcela testigo (Grageda *et al.*, 2012). De acuerdo con Santillana (2006) la aplicación de los BF en los cultivos de maíz, frijol, papa y tomate es eficiente y reduce el costo de inversión del cultivo en comparación con los FQS. La aplicación de los BF en los sistemas de cultivo en Cuba, son utilizados ampliamente para ofrecer ventajas económicas, sociales y ambientales siendo estos los tres ejes de desarrollo, para lograr un desarrollo agrícola ecológicamente sostenible (Terry *et al.*, 2002). Una vez aplicado, el proceso de inoculación de los BF es efectivo, ya que más de un 80% de las plantas terrestres forman micorrizas arbusculares que favorecen el crecimiento de las plantas (Terry *et al.*, 2002), y contribuyen a la recuperación de poblaciones microbianas mejorando las condiciones químicas y biológicas del suelo (Santillana, 2006). Como resultado de la aplicación de los BF se mejora la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas, siendo el fósforo el segundo macronutriente más importante después del nitrógeno (Hong-Yuan *et al.*, 2015).

China es otro de los países en el que sus agricultores realizan la aplicación de BF en sus cultivos, reconociendo los efectos positivos del mismo en el incremento del volumen de la raíz, mejoramiento de la fertilidad del suelo generando y aumento en la producción (Shen *et al.*, 2015). Acorde a lo antes expuesto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de diferentes BF en el desarrollo, rendimiento e ingresos en el cultivo de maíz bajo diferentes condiciones agroecológicas en distintas regiones del estado de Oaxaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación de las parcelas

Las comunidades donde se realizaron las pruebas de los BF en el cultivo de maíz son localidades con un bajo potencial productivo, que generalmente no superan la media estatal ( $1.3 \text{ t ha}^{-1}$ ) bajo condiciones de temporal, aunque se pueden superar las  $2.0 \text{ t ha}^{-1}$  bajo riego (SIAP-SAGARPA, 2014). A través de talleres participativos con productores de maíz para inducir el uso de los BF en el cultivo, se propusieron los ensayos con agricultores cooperantes en cada una de las regiones, seleccionando de manera directa a aquellos dispuestos a evaluar el uso de los BF y constatar los beneficios que aporta, bajo condiciones propias y locales de cultivo. Las regiones del estado de Oaxaca donde se realizaron las pruebas fueron Valles Centrales [Zaachila (Z), paraje al CBETA (CBETA), Cuilapam de Guerrero (CG) y Rancho Quemado (RQ)]; Sierra Juárez [(Santa Martha Latuvi (SML), Talea de Castro (TC) y San Juan Chicomezuchil (SJC)], Mixteca (Santiago Tillo (ST), Istmo [(El Espinal (EE) y Santa Rita Juchitán (SRJ)] y Papaloapan [(San Martín Jacatepec (SMJ) y Loma del Carmen (LC)]. La producción de maíz se destina de manera general para autoconsumo, a excepción de EE, SRJ y ST, quienes producen para la venta en el mercado local.

### Biofertilizantes evaluados

Se evaluaron cuatro BF comerciales a nivel experimental: Naturabono, Agribest, Biofábrica y CEFO. Tienen diferentes características, contenidos y formas de aplicación (Cuadro 1). La aplicación de los productos fue acorde a las instrucciones indicadas por cada casa comercial. Cada uno de ellos se probó en combinación con dos niveles de FQS, 50 y 100% de la dosis utilizada localmente. Con ello se generaron nueve tratamientos, ocho con los bioproductos y sus combinaciones (50 y 100% de FQS) más un testigo (solo FQS a la dosis utilizada localmente). El tamaño de las parcelas fue de 1.0 ha para cada producto, donde 0.5 ha fue para cada nivel de tratamiento con FQS. Estas mismas parcelas fueron utilizadas como demostrativas en el proceso de capacitación y transferencia de tecnología.

### Manejo del cultivo

Las parcelas se establecieron en el ciclo otoño-invierno, meses de enero a febrero bajo condiciones de riego. Para la siembra se utilizaron semillas que cada productor cooperante aportó, por lo que fueron materiales nativos o criollos. La preferencia de los campesinos por usar materiales nativos o criollos está basada en su adaptación a las condiciones agroecológicas y a las preferencias de consumo en la alimentación familiar (Cuadro 2).

**Cuadro 1.** Características de los BF evaluados en el cultivo de maíz.

Producto comercial	Naturabono	Agribest	CEFO	Biofábrica
Empresa	Distribuidora Orgánica Bioevolución S.A. de C.V.	Tecnología Agribest SA de C.V.	Consejo Estatal de Fertilizantes Orgánicos	Biofábrica Siglo XXI S.A. de C.V.
	2	3	3	1
Aplicaciones		Siembra Ia. labor		
		Cuando la planta alcanzó 1.0 m de altura		
Forma de aplicación	Manual (fondo del surco)		Inoculando la semilla	
	Manual (pie de mata)		Foliar	
			Foliar	
Dosis de aplicación	1.0 t ha <sup>-1</sup>			Kit para 1.0 ha o 20 kg de semilla

**Cuadro 2.** Variedades de maíz utilizadas en las localidades de las cinco regiones del estado de Oaxaca.

Región	Parcela	Variedad de maíz	Ciclo (días)	Cantidad (kg h <sup>-1</sup> )
Valles Centrales	Z	Criollo bolita	120	20
	CBTA	Criollo bolita	120	20
	CG	Criollo bolita	120	20
	RQ	Criollo bolita	120	20
Mixteca	ST	Criollo mejorado	130	25
Papaloapan	SMJ	Criollo tepalcintle tuxpeño	110	20
	LC	Criollo tepalcintle tuxpeño	110	20
Sierra Juárez	SML	Criollo tuxpeño	150	18
	TC	Criollo tuxpeño	140	18
	SJC	Criollo cónico	130	20
Istmo	EE	Criollo zapolote chico	90	20
	SRJ	Criollo zapolote chico	90	20

En las parcelas CBTA, CG, RQ, SMJ, LC y SJC utilizaron la yunta para la siembra; mientras que en ST, EE y SRJ utilizaron el tractor. En las parcelas de SML y TC realizaron la siembra mediante espeque y las labores de cultivo fueron manuales, mientras que en la parcela de Z la siembra fue con tractor y las labores con yunta. En la región del Papaloapan fueron necesarios solo dos riegos, en TC tres y en el resto de las parcelas seis. El riego fue por gravedad a excepción de TC y SJC, que fue por aspersión. Se realizaron dos labores de cultivo con la yunta, a excepción de EE y SRJ, donde utilizaron el tractor, y para el caso de TC y SML las labores fueron manuales para el control de las arvenses y el arrime de tierra. En la parcela de ST las labores fueron mediante tractor. La aplicación de los FQS fue variable entre parcelas, así como las

fuentes utilizadas, respetando el manejo de cada productor. En el cuadro 3 se indican los FQS y cantidades que fueron utilizados por los productores para el cultivo de maíz. La cosecha se realizó de forma manual en las parcelas, a excepción de EE, SRJ y ST, que se realizó con cosechadora mecánica.

**Cuadro 3.** Tipos de FQS utilizados en las diferentes parcelas de validación.

Región	Localidad	FQS	Tratamiento	Forma de aplicación	Dosis
Valles Centrales	Z	SA+18-46-00	60-46-00	Manual	Siembra: Ia. labor
	CBTA	U+18-46-00	82-82-00		
	CG	U+18-46-00			
	RQ	U+18-46-00			
Mixteca	ST	U +18-46-00			
Papaloapan	SMJ	U+T 17			
	LC	U+T 17			
Sierra Norte	SML	U+18-46-00	64-46-00		
	TC	SA+18-46-00	58-46-00		
	SJC	U+18-46-00	64-46-00		
Istmo	EE	U+18-46-00			
	SRJ	SA+18-46-00			

Urea (U); sulfato de amonio (SA), triple 17 (T 17).

### Variables de respuesta

Se tomaron muestras de suelo y se determinó pH, contenido materia orgánica (MO, %) , nitrógeno (N, %) y fosforo (P, %) antes y después del cultivo, en el laboratorio de suelos del Instituto Tecnológico del Valle de Oaxaca. Las variables fitoproductivas fueron días a la emergencia (De), días a la floración (Df), altura de planta (Ap, m), grosor de tallo (Gt, cm), cantidad de plantas por metro cuadrado (Cp, número), producción por metro cuadrado (Pr, kg) y rendimiento de grano (Rg, t ha<sup>-1</sup>). Los días a la emergencia de las plantas se registraron entre los 5 y 6 días posteriores a la siembra y la floración a los 75 días. La medición de las variables Ap, Gt y Cp se realizaron a los dos 75 días después de la siembra, y el Rg se evaluó al final del ciclo, entre los tres y seis meses, ya que los ciclos fueron distintos. Para ello se cosecharon muestras de mazorcas en tres transectos de 20 m de longitud en tres diferentes sitios de cada parcela, se desgranaron y pesaron en una báscula para calcular el rendimiento total. Para el análisis económico se consideraron las variables costo del biofertilizante y FQS (C, \$), costo total del cultivo (Ct, \$), valor total de la producción (Vp, \$), ingreso neto (In, \$) y relación beneficio costo (RB/C). El In se calculó restando al Vp el Ct del cultivo de maíz. Para la B/C, se dividió el valor total de la producción entre el costo total.

### Análisis estadísticos

A todos los datos se le sometió a la prueba de homogeneidad de varianza para corroborar su comportamiento normalizado. Sin embargo, todas las variables se reportan en su escala original. Posteriormente se sometieron al análisis de la varianza con procedimiento GLM (SAS versión 9.0), considerando los criterios de clasificación: tratamiento y región. Se realizó un análisis de covarianza para las variables fitoproductivas con las variables variedad de maíz, número de plantas por metro cuadrado y para las variables económicas precio unitario de venta del grano de maíz; se realizó un análisis *Cluster* con las variables fitoproductivas para denotar la agrupación de los tratamientos según el efecto de los BF.

## RESULTADOS

El rendimiento de maíz en grano muestra diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, el menor rendimiento de grano lo presentó el testigo con 2.58 t ha<sup>-1</sup> en comparación con el tratamiento 2 y 3 que incluyen el Naturabono con 50 y 100% de FQS (Cuadro 4).

**Cuadro 4.** Variables fitoproductivas ajustadas por efecto de covariable número de plantas por m<sup>2</sup> (NP), bajo el efecto de tratamientos para el cultivo de maíz en el estado de Oaxaca.

t	Ap	Error estándar	pr >  t *	Gdt	Error estándar	pr >  t	Rg	Error estándar	pr >  t
T1	2.128 d	0.050	<.0001	1.927 d	0.066	<.0001	2.586 b	0.183	<.0001
T2	2.430 b	0.062	<.0001	2.231 b	0.080	<.0001	3.441 a	0.224	<.0001
T3	2.564 a	0.050	<.0001	2.348 a	0.066	<.0001	3.592 a	0.183	<.0001
T4	2.388 c	0.050	<.0001	2.110 c	0.066	<.0001	3.257 a	0.183	<.0001
T5	2.476 b	0.050	<.0001	2.297 b	0.066	<.0001	3.419 a	0.183	<.0001
T6	2.437 b	0.050	<.0001	2.250 b	0.066	<.0001	3.195 a	0.183	<.0001
T7	2.581 a	0.050	<.0001	2.355 a	0.066	<.0001	3.426 a	0.183	<.0001
T8	2.372 c	0.073	<.0001	2.148 c	0.095	<.0001	2.865 b	0.266	<.0001
T9	2.379 c	0.073	<.0001	2.165 c	0.095	<.0001	3.098 b	0.266	<.0001

\*Significancia de la prueba del efecto de covariable NP.

Altura de planta (Ap); Grosor de tallo (Gdt); Rendimiento de grano (Rg).

T1: Testigo; T2: Naturabono+50% FQS; T3: Naturabono+100% FQS; T4: Agribest+50% FQS; T5: Agribest+100% FQS; T6: CEFO+50% FQS; T7: CEFO+100% FQS; T8: Biofábrica+ 50% FQS; T9: Biofábrica+100% FQS.

Las diferencias numéricas para el rendimiento arrojaron un valor de 855 y 1,006 kg por encima del tratamiento testigo, lo cual denota que fueron los mejores tratamientos para la variable rendimiento de grano, si se busca incrementar el rendimiento, estos dos productos son buenas opciones para la aplicación. En la racionalidad ambiental disminuir un 50% de FQS con el tratamiento 2, reducirá el efecto contaminante; además de que Naturabono se considera un producto mejorador del suelo. En cuanto a los Rg para cada una de las regiones, en la Mixteca se presentó el mayor Rg con 4.92 t ha<sup>-1</sup> ± 0.210 seguido de Valles Centrales con 3.84 t ha<sup>-1</sup> ± 0.130. La región con menor Rg fue el Istmo (1.739 t ha<sup>-1</sup> ± 0.176) (P<0.0001) (Cuadro 5).

**Cuadro 5.** Variables fitoproductivas ajustadas por efecto de covariable número de plantas por m<sup>2</sup> (NP) bajo el efecto de tratamientos para el cultivo de maíz en diferentes regiones del estado de Oaxaca.

Región	Df	Error estándar	Ap	Error estándar	Gt	Error estándar	Rg	Error estándar
Istmo	61.335 b	1.728	1.843 b	0.049	1.636 c	0.063	1.739 c	0.176
Mixteca	79.054 a	2.065	2.529 a	0.058	2.115 c	0.075	4.921 a	0.210
Papaloapan	65.621 b	1.728	2.658 a	0.049	2.369 b	0.063	2.722 b	0.176
Sierra Norte	103.70 a	1.347	2.730 a	0.038	2.545 a	0.049	2.821 b	0.137
Valles Centrales	69.693 b	1.273	2.327 b	0.036	2.352 b	0.047	3.840 a	0.130

Días a floración (Df); Altura de planta (Ap); Grosor de tallo (Gdt); Rendimiento de grano (Rg).

Para las variables económicas el tratamiento con mejor In fue el 7 (CEFO+100% FQS) versus el tratamiento 1 (Testigo) con el menor In. Para el tratamiento 6 (CEFO+50% FQS) significa un ligero aumento en los costos de producción (110 pesos) con respecto al testigo; sin embargo, el tratamiento seis incrementa la producción 609 kg más que el testigo siendo un aumento del 23.5%, generando una ganancia extra de 3,676 pesos (Cuadro 6).

**Cuadro 6.** Variables económicas ajustadas por efecto de covariable “precio unitario de venta” a través de tratamientos para el cultivo de maíz en el estado de Oaxaca.

Tratamiento	In (\$)	Error estándar	Pr >  t *	Tratamiento	RBC	Error estándar	Pr >  t
T1	7911.96 f	159.88	<.0001	T1	2.50 b	0.11	<.0001
T2	9076.13 d	159.88	<.0001	T2	1.82 c	0.11	<.0001
T3	9520.29 d	159.88	<.0001	T3	1.82 c	0.11	<.0001
T4	11276.13 b	159.88	<.0001	T4	2.68 b	0.11	<.0001
T5	11835.71 b	159.88	<.0001	T5	2.65 b	0.11	<.0001
T6	11588.63 b	159.88	<.0001	T6	3.00 a	0.11	<.0001
T7	12556.96 a	159.88	<.0001	T7	3.01 a	0.11	<.0001
T8	10224.51 c	232.12	<.0001	T8	2.78 b	0.15	<.0001
T9	10951.42 c	232.12	<.0001	T9	2.73 b	0.15	<.0001

\*significancia del efecto de la covariable precio unitario de venta de maíz.

Ingreso neto (In); Relación Beneficio Costo (RBC).

T1: Testigo; T2: Naturabono+50% FQS; T3: Naturabono+100% FQS; T4: Agribest+50% FQS; T5: Agribest+100% FQS; T6: CEFO+50% FQS; T7: CEFO+100% FQS; T8: Biofábrica+ 50% FQS; T9: Biofábrica+100% FQS.

Adicionalmente el uso del biofertilizante CEFO+50% FQS, le trae un beneficio ecológico a la parcela del productor disminuyendo el uso de agroquímicos, aumentando la posibilidad de que la capacidad biológica del suelo pueda ser aumentada en el aprovechamiento de la materia orgánica y sus nutrientes. Aunque la eficiencia económica del productor (RB/C) sin BF (2.5) no es significativamente diferente a la que muestra el uso de BF ( $P>0.05$ ), las ganancias netas del productor aumentan significativamente ( $P<0.05$ ) para el caso del tratamiento seis (Cuadro 7).

**Cuadro 7.** Variables económicas ajustadas por efecto de covariable “precio unitario de venta” para el cultivo de maíz en distintas regiones del estado de Oaxaca.

Región	In	Error estándar	Pr >  t *	R BC	Error estándar	Pr >  t
Istmo	12,975.65 b	157.7036	<.0001	2.8254183 b	0.1044189	<.0001
Mixteca	4,232.37 e	216.6864	<.0001	2.0797753 c	0.1434727	<.0001
Papaloapan	9,858.50 d	157.7036	<.0001	1.7668469 c	0.1044189	<.0001
Sierra Norte	13,628.21 a	122.7611	<.0001	3.3504134 a	0.0812827	<.0001
Valles Centrales	12,050.65 c	97.3918	<.0001	2.7529078 b	0.0644852	<.0001

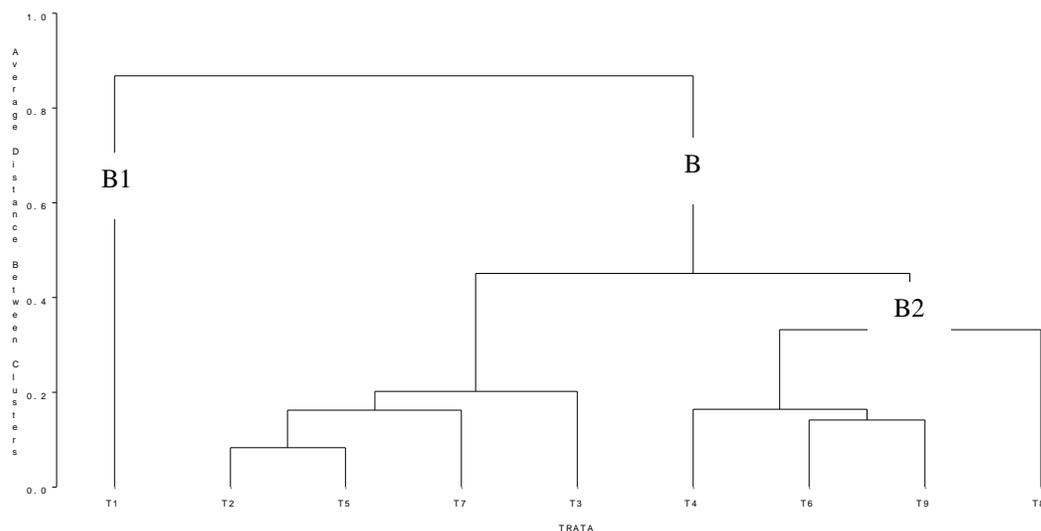
\*Significancia del efecto de la covariable precio unitario de venta de maíz.

Ingreso neto (In); Relación Beneficio Costo (R BC).

Dicho tratamiento consistente en el uso de CEFO+50% FQS, y representa la mejor alternativa económica para el campesino que cultiva maíz en las regiones mencionadas. En cuanto a los costos totales de producción, los tratamientos dos y tres fueron los más altos debido al uso de Naturabono, mientras que el tratamiento más barato fue el de Biofábrica. Los tratamientos 6 y 7, en los que se usa el biofertilizante CEFO, presentaron los mayores valores de R B/C, superando significativamente al tratamiento testigo ( $P<0.05$ ). El tratamiento 7 (CEFO+100% FQS) presentó la mayor Ap y Gt ( $P<0.05$ ). En la misma racionalidad productiva del campesino, el propósito del cultivo de maíz no es solamente obtener grano, sino también, forraje para la alimentación de su ganado de traspatio, lo que indica que con el uso de BF se producen plantas más robustas, altas y gruesas que producirán mayor volumen y materia seca. Los resultados del análisis de correlación entre la Ap, Gt y biomasa arrojan un grado de asociación mayor al 0.67 ( $P<0.05$ ),

lo cual confirma que las plantas más robustas producen más biomasa. En este sentido, con el tratamiento 7 se produce la mayor cantidad de esquilmos de maíz para el uso en la alimentación de rumiantes.

El análisis *Clúster* tomando en cuenta las variables de Ap, Gt y Rg, muestra dos grandes grupos denotando la separación del testigo (A) de los demás tratamientos con el uso de BF y FQS (B). Los tratamientos 2, 5, 7 y 3 presentaron características similares (Figura 1).



**Figura 1.** Agrupación de los tratamientos en el cultivo de maíz, según altura de planta, grosor de tallo y rendimiento de grano.

El subgrupo B1 solo está conformado de un solo tratamiento, el tratamiento 1 (tratamiento testigo), evidentemente hay una gran diferencia entre este tratamiento y los tratamientos donde se aplicaron los BF, los cuales se encuentran en el subgrupo B con una distancia promedio de separación de 0.45. En el subgrupo B2, con una distancia de separación de 0.33, el tratamiento 8 muestra diferencia con los demás tratamientos, con una distancia de separación de 0.16 para el T4, mientras que el T6 con el T9 a una distancia promedio de 0.14. El subgrupo B1 se encuentra a una distancia promedio de separación de 0.20, donde el tratamiento 3 muestra diferencia a los tratamientos restantes. El T7 también se agrupará de forma distinta a un promedio de separación de 0.16 y los últimos dos tratamientos que son el 2 y 5 a la distancia de 0.08, siendo estos los que tiene mayor parentesco entre las variables analizadas. Todos los tratamientos con biofertilizante tomando en cuenta las variables Ap, Gt y Rg son diferentes al tratamiento testigo.

## DISCUSIÓN

Las variables Ap, Gt y Rg, mostraron diferencias estadísticamente significativas, así como las variables económicas más importantes In y R B/C, debido a los costos de cada uno de los BF y el rendimiento de grano obtenido por cada tratamiento. La aplicación de BF en cultivos de maíz mostró diferencias favorables en el Rg para diferentes tratamientos, lo cual coincide con lo reportado por Silva *et al.* (2009); aunque en algunos experimentos agrícolas es complicado encontrar diferencias significativas a nivel estadístico para todos los tratamientos aplicando BF en el cultivo de maíz (Santillana, 2006; García *et al.*, 2007). Toro *et al.* (2008) mencionan que el uso de BF mejoró el cultivo del agricultor en comparación del tratamiento testigo y con mayor eficacia si se aplica las mismas dosis en más de tres ciclos de cultivo del maíz de forma continua.

El Rg en el cultivo de maíz es la variable más importante para los agricultores, por ello el tratamiento 3 fue el mejor aun cuando sus costos de producción generan una R B/C menor. La aplicación de BF al suelo aumenta el rendimiento y la calidad de la cosecha de diversos cultivos (García *et al.*, 2006; Zermeño *et al.*, 2015); asimismo contribuye al mejoramiento de la relación planta-suelo conectando los beneficios mutuos entre los microorganismos y las plantas (Uribe *et al.*, 2007). Según los resultados de Noh *et al.* (2014), el uso de BF muestra variaciones en el Rg de maíz debido a los efectos que pueden ser explicados por la concentración de bacterias que contengan y su especificidad, ya que estas son fijadoras de nitrógeno y solubilizadoras de fósforo. El tratamiento testigo fue el que menor impacto tuvo sobre las variables fitoproductivas, al solo contener FQS. La combinación con un biofertilizante puede mejorar las condiciones nutrimentales para el cultivo y tener mejores resultados (Zermeño *et al.*, 2015), lo que permite la sustitución de FQS convencionales. (Terry *et al.* (2002), reportan que la aplicación de BF en cultivos hortícolas y en maíz para grano muestran rendimientos mayores en comparación a los tratamientos donde no se usaron (testigos). Al mismo tiempo, la combinación de los FQS, permite evidenciar el efecto de los microorganismos (Toro *et al.*, 2008).

De los ocho tratamientos con BF, siete fueron superiores a las 3.0 t, mientras que en el rendimiento del testigo fue de 2.5 t, mostrando un buen efecto sobre la variable R, ya que un rendimiento bajo es menor a 2.2 t para el cultivo de maíz en México (Cabrera *et al.*, 2015). Definitivamente la producción y el crecimiento del cultivo de maíz depende de las condiciones ambientales a las que se enfrenta y la fertilización aplicada (Aguilar *et al.*, 2015b).

Reducir la aplicación de FQS y sustituirlo por biofertilizante, es una buena práctica agrícola para contribuir a una agricultura sostenible. La combinación de FQS con BF mejora la respuesta vegetal (Ramos *et al.*, 2013). Los tratamientos con BF y una disminución del 50% de FQS son alternativas para los cultivos de pequeños productores. La disminución en FQS se presenta como una alternativa económicamente viable y de producción limpia para el sector agrícola (Lara *et al.*, 2011), favoreciendo desde una perspectiva ecológica al agroecosistema (Terry *et al.*, 2005) y una alternativa a los FQS (Rivera *et al.*, 2010). De acuerdo con Swarnalakshmi *et al.* (2013) se contribuye a disminuir la dependencia de FQS, mejorar la solubilización de fosfatos y otros elementos los cuales se encuentran de manera insoluble en muchas parcelas de cultivo. Denotan diferencias significativas en el fosfato al final del tratamiento, dando un incremento en la calidad del cultivo (Rosatto *et al.*, 2014).

La asociación entre un FQS y un biofertilizante, ayuda en la disminución de contaminantes al suelo, agua, aire, productos comestibles y a los mismos seres humanos. Cada aplicación de los tratamientos para las diferentes comunidades, fue relativamente favorable en el incremento del cultivo para los productores de maíz. La disminución del FQS con la incorporación de los bf ha inducido a cambios morfo-fisiológicos y químicos, en cultivos en los que se le aplican, estos cambios se notan en las diferentes etapas del crecimiento del cultivo (Martínez *et al.*, 2010; Mondal *et al.*, 2015).

## CONCLUSIONES

El efecto de los cuatro diferentes bf en combinación con FQS en las dosis acostumbradas para el cultivo de maíz, resultó ser importante como alternativa para incrementar el Rg y la R BC del cultivo de maíz, pudiendo optar por el tratamiento que requieran según la racionalidad del productor y sus prioridades, ya que todos los tratamientos fueron superiores al tratamiento testigo para la variable rendimiento de grano. Para productores que requieran incrementar RG, el biofertilizante Naturabono con 50 y 100% de FQS (tratamientos 2 y 3) fueron los mejores con un Rg superior a las 3.441 t ha<sup>-1</sup>. Para productores que prefieren combinar los beneficios, mayor incremento en Ap y Gt para incrementar forraje para la alimentación de su ganado, los tratamientos Naturabono+100% FQS y CEFO+100% FQS (tratamientos 3 y 7) resultaron tener mayor efecto para estas variables.

Tomando en cuenta las variables económicas, los mejores tratamientos fueron CEFO+50 y 100% FQS (tratamientos 6 y 7), ya que presentaron el mejor In y R B/C. Los tratamientos que sobresalieron en cada una de las variables son en los que se aplicó biofertilizante con una dosis de 100% FQS, aunque los tratamientos con el 50% de FQS también son una alternativa viable que puede recomendarse para poder disminuir los contaminantes que se incorporan al suelo, con la finalidad de revertir el uso desmesurado de agroquímicos que atentan contra la salud humana y la sustentabilidad del planeta.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilar, C.C., E.J.A.S. Escalante y M.I. Aguilar. 2015a. Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. *Terra Latinoamericana*. 33: 51-62.
- Aguilar, C.C., E.J.A.S. Escalante, M.I. Aguilar, C.J.A Mejía, M.V.F. Conde y S.A. Trinidad. 2015b. Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido. 18: 151-163.
- Alcantar, L.H.J., C.A. Espinosa y R.M. Tadeo. 2013. Respuesta a la aplicación de biofertilizantes eh híbridos de maíz androesteriles y fértiles en la FESC-UNAM 59 p.
- Álvarez, S.J.D., V.D.A. Gómez, M.N.S. León y M.F.A. Gutiérrez. 2010. Manejo integrado de fertilizantes y abonos orgánicos en el cultivo de maíz. *Agrociencia* 44: 575-586.
- Armenta, B.A.D., G.C. García, B.J.R. Camacho, S.M.A. Apodaca, M.L. Gerardo y P.E. Nava. 2010. Biofertilizantes en el desarrollo agrícola de México. *Ra-Ximhai* 6: 51-56.
- Cabrera, T.J.M., C.A. Carballo y C.F. Aragón. 2015. Evaluación agronómica de maíces raza Zapalote chico en la región Istmeña de Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 11: 2075-2082.
- Córdova, B.Y., C.M.C. Rivera, C.R. Ferrera, O.J.J. Obrador y A.V. Córdova. 2009. Detección de bacterias benéficas en suelo con banano (*Musa* AAA Simmonds) cultivar “Gran enano” y su potencial para integrar un biofertilizante. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 25: 253-265.
- Faisal, A.M., D.R. Tiple and S.R. Dave. 2015. Efficiency evaluation of commercial liquid biofertilizers for growth of *Cicer arietinum* (chickpea) in pot and field study. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology* 4: 17-24.
- García, O.J.G., M.V.R. Moreno, L.I.C. Rodríguez, H.A. Mendoza y P.N. Mayek. 2006. Biofertilización con *Azospirillum brasilense* en sorgo, en el norte de México. *Agricultura Técnica en México*. 32: 135-141.
- García, O.J.G., M.V.R. Moreno, L.I.C. Rodríguez, H.A. Mendoza y P.N. Mayek. 2007. Efecto de cepas de *Azospirillum brasilense* en el crecimiento y rendimiento de grano del maíz. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 30: 305-310.
- González, J.A. 2008. El maíz: planta portentosa. *Revista de Ciencias Sociales de la Universidad Iberoamericana*. 3:1-17.
- Grageda, C.O.A., F.A. Díaz, C.J.J. Peña y N.J.A. Vera. 2012. Impacto de los biofertilizantes en la agricultura. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3:1261-1274.
- Hong-yuan, W., L. Shen, Z. Li-mei, Z. Ji-zong, R. Tian-zhin, F. Bing-quan and L. Hong-Bin. 2015. Preparation and utilization of phosphate biofertilizer using agricultural waste. *Journal of Integrative Agriculture* 14: 158-167.
- Lara, M.C., T.L.P. García y Z.L.E. Oviedo. 2011. Efecto biofertilizante del preparado: residuos vegetales-bacteria nativa diazotrofa, sobre las variedades biométricas en plántulas de *Rhapanus sativus*. *Revista Colombiana de Biotecnología* 23: 156-162.
- López, M., V.R. Martínez, F.M. Brossard, A. Bolívar, N. Alfonso, A. Alba y A.H. Pereira. 2008. Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanas. *Agronomía Tropical*. 58: 391-401.
- Martínez, V.R., B. Dibut y Y. Ríos. 2010. Efecto de la integración de aplicaciones agrícolas de biofertilizantes y fertilizantes minerales sobre las relaciones suelo-planta. *Cultivos Tropicales*. 31.
- Mendoza, E.M., R.S. Sámano, O.F. Cervantes, E.E. Andrio, L.J.A. Rangel, R.G.J. Rivera, A.L.P. Guevara y M.E. Moreno. 2014. Evaluación de la fertilización integral en la producción de semilla de triticale (*X Triticum secale* Wittmack). *Internacional Journal of Experimental Botany*. 83: 93-100.

- Mondal, T., D.J. Kumar y M.N. Kumar. 2015. Chemical fertilizer in conjunction with biofertilizer and vermicompost induced changes in morpho-physiological and bio-chemical traits of mustard crop. *Journal of the Saudi society of agricultural sciences*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jssas.2015.05.001>.
- Noh, M.J., C.C. Yam, G.L. Borges, A.J.J. Zúñiga y H.G. Godoy. 2014. Aislados bacterianos con potencial biofertilizante para plántulas de tomate. *Terra Latinoamericana*. 32: 273-281.
- Pérez, L.Y.C., S.J.D. Álvarez, V.J. Mendoza, F.J.M. Pat, A.R. Gómez y L.K. Cuevas. 2012. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en Chiapas, México. *Gayana Botánica*. 69: 46-56.
- Ramos, H.L., G.Y. Reyna, A.J. Lescaille, C.L. Telo, D.N.J. Arozarena, P.M. Ramírez y A.G.M. Martín. 2013. Hongos micorrízicos arbusculares, *Azotobacter chroococcum*, *Bacillus megatherium* y FitoMas-E: una alternativa eficaz para la reducción del consumo de fertilizantes minerales en *Psidium guajava*, L. var. Enana Roja cubana. *Cultivos Tropicales*. 34: 5-10.
- Rivera, C.M.C., N.A. Trujillo y P.D.E. Alejo. 2010. Los biofertilizantes integrados con bacterias fijadoras de N, solubilizadoras de P y sustratos orgánicos en el crecimiento de naranjo agrio (*Citrus aurantium* L.) *Interciencias*. 35: 113-119.
- Rosatto, M.L., P.R. Mello, G.L. Castellanos, H.A. Reyes, G. Caione y C.C.N. Silva. 2014. Solubilización de fuentes de fósforo asociadas a un compuesto orgánico enriquecido con biofertilizantes. *Agrociencias*. 48: 489-500.
- Röder, C., M.A. Francisco, Z.V.J. Szilagyí, F.E.G. Dos santos y G.L. Gabriel. 2015. Uso de biofertilizante na produção de mudas de repolho. *Revista Ceres*. 62: 502-505.
- Santillana, V.N. 2006. Producción de biofertilizantes utilizando *Pseudomonas sp.* *Ecología Aplicada*. 5: 87-91.
- Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera-Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SIAP-SAGARPA). 2014. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica, Análisis Sectorial y Tecnologías de la Información.
- Shen, Z., Y. Ruan, B. Wang, S. ZHong, L. Su, R. li and Q. Shen. 2015. Effect of biofertilizer for suppressing *Fusarium* wilt disease of banana as well as enhancing microbial and chemical properties of soil under greenhouse trial. *Applied Soil Ecology* 93: 111-119.
- Silva, A.G., D. Santos, S.J. Araújo, N.J.A. Madeiros, C.L. Ferreira y D.T.A. Guedes. 2009. Estado nutricional do pimentão cultivado em solo tratado com diferentes tipos de biofertilizantes. *Maringá*. 31: 661-665.
- Spagnoletti, F.N., P.A. Fernández, G.N.E. Tobar y V.M. Chiocchio. 2013. Las micorrizas arbusculares y *Rhizobium*: una simbiosis dual de interés. *Revista Argentina de Microbiología* 45: 131-132.
- Swarnalakhshmi, K., R. Prasanna, A. Kumar, S. Pattnaik, K. Chakravarty, S.Y. Singh, R. Singh and S.A. Kumar. 2013. Evaluating the influence of novel cyanobacteria biofilmed biofertilizers on soil fertility and plant nutrition in wheat. *European Journal of Soil Biology* 55: 107-116.
- Terry, A.E., A. Leyva y A. Hernández. 2005. Microorganismos benéficos como biofertilizantes eficientes para el cultivo de tomate. *Revista Colombiana Biotecnología*. 7: 47-54.
- Terry, E., Z. Terán, V.R. Martínez y M.A. Pino. 2002. Biofertilizantes, una alternativa promisoría para la producción hortícola en organopónicos. *Cultivos Tropicales*. 23: 43-46.
- Toro, T., I. Bazó y M. López. 2008. Micorrizas arbusculares y bacterias promotoras de crecimiento vegetal, biofertilizantes nativos de sistemas agrícolas bajo manejo conservacionista. *Agronomía Tropical*. 58: 215-221.
- Uribe, V.G., J. Petit y E.R. Dzib. 2007. Respuesta del cultivo de maíz a la aplicación de biofertilizantes en el sistema roza, tumba y quema en suelo alfisol chac-lu'um, nomenclatura maya, en Yucatán, México. *Agricultura Andina*. 13: 3-18.
- Zermeño, G.A., L.G. Méndez, G.R. Rodríguez, Z.M. Cadena, P.J.O. Cárdenas y V.E.A. Catalán. 2015. Biofertilización de vid en relación con fotosíntesis, rendimiento y calidad de frutos. *Agrociencias*. 49: 875-887.