

RENDIMIENTO DE MAIZ (*Zea mays* L.) Y RESPUESTA A FUENTES Y DOSIS DE FERTILIZANTES, Y BIOFERTILIZANTES, EN GUERRERO, MÉXICO

MAIZE YIELD (*Zea mays* L.) AND RESPONSE TO SOURCES AND DOSES OF FERTILIZERS AND BIOFERTILIZERS IN GUERRERO, MEXICO

González-Mateos, R.¹, Noriega-Cantú, D. H.², Volke-Haller, V. H.³, Pereyda-Hernández, J.⁴, Domínguez-Márquez, V. M.⁵, Garrido-Ramírez E. R.⁶

^{1,4,5}Profesores-Investigadores Titulares. Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales. Periférico Pte. S/N, Col. Villa de Guadalupe, Iguala, Guerrero, México; C.P. 40010. Maestría en Competitividad y Sustentabilidad, Calle Pino s/n Col. El Roble, Acapulco, Gro.; ²Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria. Centro de Investigación Pacífico Sur. Campo Experimental Iguala. Km. 2.5 Carr. Iguala-Tuxpan, Col. Centro, Tuxpan, Guerrero, México. C.P. 40000. ³Profesor-Investigador Titular, Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km. 36.5 Carr. Fed. México-Texcoco, Montecillos, Edo. de México, México. C.P. 56230. ⁶Investigador del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuaria. Centro de Investigación Pacífico Sur. Campo Experimental Centro de Chiapas, km 3.0 Carr. Ocozocoautla-Cintalapa, Ocozocoautla de Espinosa, Chiapas, C.P. 29140.

*Autor de correspondencia: ricardoglezm@yahoo.com.mx

RESUMEN

En Guerrero, el rendimiento medio de maíz (*Zea mays* L.) en 2014 fue de 2.79 t ha⁻¹, con variedades criollas, híbridos nacionales y de empresas transnacionales en diferentes condiciones edáficas y climáticas, a altitudes desde el nivel del mar hasta 2880 m, principalmente en régimen de temporal (95%). En 1994 se creó el Programa Estatal de Fertilizantes como respuesta a los bajos rendimientos del maíz, que proporcionó a los productores sulfato de amonio, y en 2006 este programa introdujo otras fuentes de fertilizantes, control de plagas y malezas, mayor densidad de población y biofertilizantes. En 2009, se establecieron 116 parcelas demostrativas en terrenos de productores, en las seis regiones geo-económicas del Estado de Guerrero, con el objetivo de evaluar materiales genéticos comerciales de maíz de temporal y la respuesta a fuentes y dosis de fertilización nitrogenada, fosfórica y biofertilizantes; adicionalmente, fue posible considerar también la respuesta a la forma de aplicación del fertilizante y el efecto de la fecha de siembra y la altitud. Los materiales genéticos y sus respuestas a estos factores, presentan similitudes y diferencias entre las regiones y condiciones de producción, obteniendo rendimientos en función de la posición fisiográfica y tipo de clima, oscilando entre 5000 y 9700 kg ha⁻¹ así como a las fuentes de fertilizantes, aunque no entre las dosis de 60–30 (kg N–P₂O₅ ha⁻¹) y 90–60, a la forma de fertilización (mateado y en banda) y a la densidad de población.

Palabras clave: Región geo-económica, maíces, nutrición

Agroproductividad: Vol. 11, Núm. 1, enero. 2018, pp. 22-31.

Recibido: diciembre, 2016. **Aceptado:** septiembre, 2017.

ABSTRACT

In Guerrero, the mean maize yield (*Zea mays* L.) in 2014 was 2.79 t ha⁻¹, with Creole varieties, national hybrids and from transnational companies, under different soil and climate conditions, at altitudes from sea level to 2880 m, mainly under a rainfed regime (95%). In 1994, the State Fertilizer Program was created as a response to the low maize yields, providing producers with ammonium sulfate, and in 2006 this program introduced other sources of fertilizers, pest and weed control, higher population density and biofertilizers. In 2009, 116 demonstrative plots were established in producers' lands, in the six geo-economic regions of the state of Guerrero, with the objective of evaluating commercial genetic materials of rainfed maize and the response to sources and doses of nitrogenous fertilization, phosphorus and biofertilizers; in addition, it was also possible to consider the response to the form of application of the fertilizer, and the effect from the sowing date and altitude. The genetic materials and their responses to these factors show similarities and differences between production regions and conditions, obtaining yields in function of the physiographic position and type of climate, ranging between 5000 and 9700 kg ha⁻¹.

Keywords: geo-economic region, maize varieties, nutrition.

INTRODUCCIÓN

En México, el maíz (*Zea mays* L.) constituye el principal cultivo, con una superficie sembrada anualmente que varía alrededor de ocho millones de hectáreas (Turrent *et al.*, 2012; FAO 2012) y una producción anual promedio, de 2011 a 2013, de 21 millones de t (CEDRSSA, 2014). En el Estado de Guerrero, en el ciclo primavera-verano de 2014 se sembraron 446 794 ha, con un rendimiento medio estatal de 2.79 t ha⁻¹, y variaciones entre los Distritos de Desarrollo Rural, de 3.78 t ha⁻¹ en Altamirano (región Tierra Caliente), 2.25 t ha⁻¹ en Atoyac (región Costa Grande), 2.73 t ha⁻¹ en Chilpancingo (región Centro), 2.84 t ha⁻¹ en Iguala (región Norte), 3.20 t ha⁻¹ en Las Vigas (región Costa Chica) y 1.29 t ha⁻¹ en Tlapa (región Montaña) (SIAP, 2014). En esta entidad, el maíz se

siembra en diferentes condiciones edáficas y climáticas, a altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 2880 m, principalmente en régimen de temporal (95%) y por productores con pequeña superficie que utilizan variedades criollas adaptadas a sus diversas condiciones de suelo y clima (Noriega *et al.*, 2010); sin embargo, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) ha desarrollado tanto híbridos como variedades mejoradas, de amplia adaptación a diferentes condiciones de suelo y clima y mayores potenciales de rendimiento, como alternativa a maíces criollos, enfocados a la agricultura comercial, aunque algunas empresas transnacionales están introduciendo materiales mejorados con la misma finalidad. Los rendimientos del maíz en Guerrero han sido bajos, debido al escaso uso de fertilizantes, además de otras prácticas, tales como el uso de semillas criollas, deficiente uso y manejo de agroquímicos para el control de plagas del suelo, gusano cogollero, y de las malezas. Como respuesta al problema, en 1994 se creó el Programa Gubernamental de Fertilizantes destinado a apoyar a los productores de bajos recursos socioeconómicos (Méndez, 2012). Los productores beneficiados con el programa recibieron sulfato de amonio (20.5 % de N); sin embargo, no se consideraron las condiciones de suelo, como el pH, y actualmente se reportan problemas de acidificación por el uso continuo del fertilizante. Si bien el suelo y clima determinan un potencial físico de producción para un cultivo, el clima en cuanto a su aporte de agua puede ser modificado mediante el riego. Dentro de este potencial físico la producción depende del potencial biológico de la planta y la tecnología en cuanto a prácticas y distintos insumos, de los cuales destacan los fertilizantes, especialmente nitrogenados y fosfóricos, así como aquellos abocados al control de plagas, enfermedades y malezas, a la vez que las variedades de maíces. Por este motivo, en 2006 se continuó con el Programa Estatal de Fertilizantes, introduciendo otros componentes tecnológicos, ante la acidificación de los suelos por el uso de sulfato de amonio, otras fuentes de fertilizantes, el control de plagas y malezas, y mayor densidad de población del cultivo, a la vez que el uso de biofertilizante a base de hongo *Glomus intraradices* y la bacteria *Azospirillum brasilense*. El interés en el uso de biofertilizantes tuvo su base en que en diversos trabajos se ha demostrado el efecto positivo de ciertos hongos y bacterias sobre la producción de biomasa de las plantas tanto en follaje como en grano (García *et al.*, 2012; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000), sustituye hasta 50% del fertilizante nitrogenado (Agua-do-Santacruz, 2012). Con estos antecedentes se evaluó

el rendimiento de materiales genéticos comerciales de maíz de temporal y la respuesta a fuentes y dosis de fertilizantes y biofertilizantes en diferentes condiciones ambientales en Guerrero, México.

MATERIALES Y MÉTODOS

El Estado de Guerrero (16° 18' y 18° 48' N y 98° 03' y 102° 12' O), tiene una extensión territorial de 63 794 km². El relieve predominante en la región es accidentado, con pendientes mayores a 15% en 5 569 985 ha (86.30%), entre 4% y 15% en 630 427 ha (9.77%), y menos de 4% en 253 963 ha (3.93%) (Noriega *et al.*, 2010). Los tipos de clima presentes son los cálidos subhúmedos Aw (63.94%), semicálidos subhúmedos (A)C(w) (20.99%), semiáridos cálidos BS (8.90%), y templado subhúmedos C(w) (6.11%), así, otros que ocupan pequeñas superficies como el templado húmedo (C)m, semicálido húmedo (A)C(m) y el semifrío húmedo Cb(w₂) (0.07%), cuya distribución se presenta en la Figura 1 (García, 2004; INEGI, 2007).

La precipitación registrada en el periodo de 1981-2010 fue de: 2754.5 mm en Pueblo Hidalgo (San Luis Acatlán), región Costa Chica; 2564.5 mm Zitlatepec (Metlatonoc) y 2061.2 mm en Malinaltepec (Malinaltepec), región Montaña Alta; 521.7 mm en Tonalapa del Sur y 645.0 mm en San Juan Tetelcingo (Tepecoacuilco de Trujano) región Norte; 696.8 mm en Mezcala (Eduardo Neri), región Centro; y, 689.5 mm en Arantichanguio (Zirándaro), región Tierra Caliente (SMN, 2014). La precipitación se distribuye en los meses de junio a septiembre de manera errática, con sequía intraestival o canícula, que en

las últimas décadas han sido cada vez más frecuentes y prolongadas, como la registrada en el ciclo primavera-verano de 2015, con impactos significativos y pérdidas aun no cuantificables de grano de maíz. Las temperaturas medias más bajas y más altas son de 19.1 °C a 31.5 °C, respectivamente, con una media anual de 25.3 °C (SMN, 2014). Los suelos presentes son Regosoles (RG) (33.5%), Leptosoles (LP) (29.9%), Luvisoles (LV) (15.9%), Feozem (PH) (8.3%), Cambisoles (CM) (7.9%), Fluvisoles (FL) (1.0%) y otros con porcentajes menores a 1.0%, cuya distribución se presenta en la Figura 2 (INEGI, 2007).

La SEMARNAT-CP (2002) reporta 48.8% de suelos con degradación, de la cual 31.3% es por erosión hídrica, (25.9% con afectación superficial y 5% con presencia de cárcavas), y 14.5% de degradación química, que conlleva a la pérdida de extensas superficies de suelos (González *et al.*, 2003, 2007), declinación de la calidad de la tierra y la capacidad productiva (Baumann, 2000). Los suelos más erosionados y poco profundos se encuentran en posiciones fisiográficas de ladera, los más profundos en las planicies y los de lomeríos presentan profundidades intermedias (Noriega *et al.*, 2010). Considerando el suelo, clima y altitud, y aspectos económicos, el Estado de Guerrero se ha dividido en seis regiones geo-económicas: Norte, Tierra Caliente, Centro, Montaña, Costa Chica y Costa Grande. En la Figura 3 se presenta la ubicación de las regiones geo-económicas en el Estado de Guerrero y (INEGI, 2007).

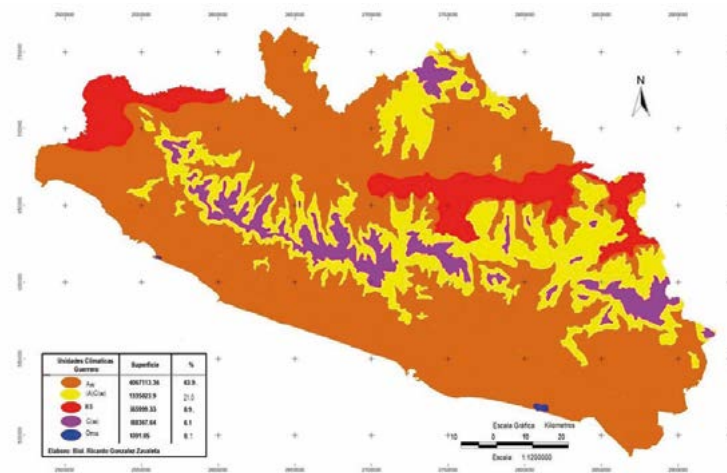


Figura 1. Climas del Estado de Guerrero, México.

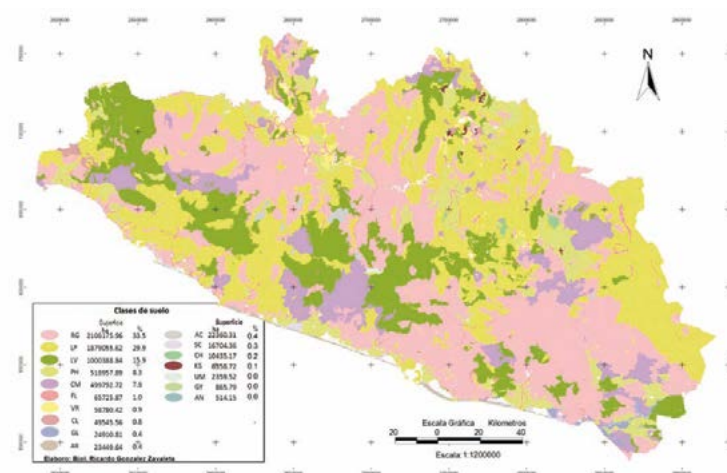


Figura 2. Suelos del Estado de Guerrero, México.

Como parte de la preocupación por la acidificación de los suelos debido al uso de fertilizantes amoniacales (sulfato de amonio) por los productores, en 2009, 2012 y 2013 se realizó un muestreo de suelo en el estado de Guerrero (993 muestras) para determinar el pH. El Cuadro 1 presenta la distribución de pH del suelo en las distintas regiones del Estado de Guerrero.

En la región Tierra Caliente se observan pH ácidos, neutros y alcalinos; en la Norte predominan los pH alcalinos; en la Centro se observan pH ácidos y alcalinos; en la Montaña tienden a predominar los pH ácidos; y en la Costa Chica y la Costa Grande, los pH ácidos.



Figura 3. Regiones geo-económicas del Estado de Guerrero, México.

En el ciclo agrícola primavera-verano 2009 se establecieron parcelas demostrativas (PADEM) con maíz blanco en las seis regiones del Estado de Guerrero: 15 en Tierra Caliente, 34 en Norte, 22 en Centro, 13 en Montaña, 25 en Costa Chica y 5 en Costa Grande. Las PADEM incluyeron genotipos de maíz, fuentes de fertilización, dosis de nitrógeno-fósforo y aplicación de biofertilizante. Los genotipos probados fueron: en la región Tierra Caliente, H-516 y H-563; en la Norte, VS-535, VS-559, VS-235, H-516 y Tornado; en la Centro, H-516, H-563 y VS-235; en la Montaña, H-516, H-563, VS-235 y VS-234; en la Costa Chica, H-563 y H-516; y en la Costa Grande, H-562. Las fuentes de fertilizantes fueron: fosfonitrato-fósforo diamónico (FN-FDA) para suelos ácidos, y sulfato de amonio-fósforo diamónico (SA-FDA) para suelos alcalinos. Sin embargo, el uso de una u otra fuente de fertilizantes en las regiones dependió de la disponibilidad y de la preferencia del productor, de tal modo que no en todas las regiones se probaron ambas fuentes y su distribución fue variable, según se indica en el Cuadro 2. Las dosis de nitrógeno-fósforo probadas fueron 60-30 y 90-60 kg de N-P₂O₅ ha⁻¹. El biofertilizante aplicado correspondió al hongo *Glomus intraradices*, producido por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), en dosis de 1.0 kg ha⁻¹, y bacteria *Azospirillum brasilense*, producido por Biosustenta, en dosis de 350 g ha⁻¹, ambos aplicados a la semilla. Según la fertilización y la aplicación de biofertilizante, los tratamientos probados son los que se indican en el Cuadro 3.

Cuadro 1. Distribución de pH del suelo en las regiones del Estado de Guerrero.

Región	pH					
	<5.5	5.6-6.0	6.1-6.5	6.6-7.3	7.4-8.3	>8.3
	(%)					
Tierra Caliente	16.9	13.1	10.4	22.4	25.7	11.5
Norte	11.7	4.3	0.0	9.0	68.0	6.0
Centro	33.1	12.7	5.7	8.9	35.0	4.5
Montaña	45.6	7.4	17.6	5.9	22.0	1.5
Costa Chica	46.5	20.2	24.2	8.1	1.0	0.0
Costa Grande	28.2	31.0	26.6	12.1	1.1	0.0

Cuadro 2. Distribución del uso de las fuentes de fertilizantes en las regiones del Estado de Guerrero, México.

Región	Fuente ¹	
	FN-FDA	SA-FDA
	(%)	
Tierra Caliente	40.0	60.0
Norte	26.5	73.5
Centro	4.5	95.5
Montaña	0.0	100.0
Costa Chica	85.2	14.8
Costa Grande	100.0	0.0

¹FN-FDA=fosfonitrato (33 % N, 3 % P₂O₅)-fósforo diamónico (18 % N, 46 % P₂O₅);

SA-FDA=sulfato de amonio (21 % N)-fósforo diamónico (18 % N, 46 % P₂O₅)

El nitrógeno se aplicó la mitad y todo el fósforo en la siembra, y el resto del nitrógeno a los 40 días de la germinación de la semilla.

Cuadro 3. Tratamientos de fertilización y biofertilizante aplicados en las parcelas demostrativas.

Tratamiento	Fertilización N-P ₂ O ₅ (kg ha ⁻¹)	Biofertilizante
1	60-30	sin
2	60-30	con
3	90-60	sin
4	90-60	con

Como parte del Programa de Fertilizante se contrataron Prestadores de Servicios Profesionales para apoyar a los productores en aplicación del paquete tecnológico para el maíz, por lo que algunos productores de la región Norte aplicaron 2 L ha⁻¹ de fertilizante foliar (concentración y formulación: Mg, 1.00%, S, 4.00%; B, 0.04%; Co, 0.002%; Cu, 0.04%; Fe, 3.00%; Mn, 0.25%; Mo, 0.005%; Zn, 4.00%), producto líquido concentrado de alta solubilidad. En la región Centro y Montaña también algunos productores aplicaron preparados de lixiviados de lombricompost y soluciones madres concentradas, preparadas por personal de la Universidad Autónoma Chapingo. El uso de los fertilizantes foliares dependió de la disponibilidad y habilidad del Prestador de Servicios Profesional en sensibilizar al productor respecto a estos productos. Posteriormente se observó que los productores variaban la forma de aplicación del fertilizante, según se presenta en el Cuadro 4, por lo que este factor se consideró en el análisis de la información.

Las PADEM en terrenos de productores se establecieron en una superficie de 1.0 ha, la cual se dividió en cuatro bloques correspondientes a los tratamientos de dosis de nitrógeno y fósforo y aplicación de biofertilizante, que se distribuyeron al azar. El terreno se preparó: a) en pendientes menores a 8%, con maquinaria, y comprendió un barbecho, rastra y surcado, y en algunos casos solo barbecho y surcado; y, b) en pendientes mayores a 8%, con tracción animal y, donde esto no era posible por lo escarpado del terreno, con espeque (palo puntiagudo usado para abrir hoyos para sembrar), como fue en algunas áreas de la región Costa Chica. La distancia entre surcos fue de 0.80 m, pero en terrenos con pendiente muy escarpada podía ser de hasta 1.0 m y la distancia entre matas

varió de 0.20 a 0.25 m en las siembras con maquinaria y tracción animal, y de 0.40 m a 0.50 m en las siembras con espeque; para la siembra manual se consideraron dos plantas por mata, y para la siembra con maquinaria, 20 kg de semilla por hectárea. De esta manera, la densidad de población podía variar entre 57 500 y 62 500 plantas por hectárea. Previo a la siembra, la tarde anterior se inoculó la semilla con el biofertilizante: 300 g de *Azospirillum brasilense* y 1000 g de *Glomus intraradices*, más adherente, y dejó secar durante la noche.

La maleza se controló con Gesaprim Combi, aplicando 2 L ha⁻¹; las plagas como gusano de alambre (*Agrotis ssp.*) y gallina ciega (*Phyllophaga spp.*) se controlaron con Counter 20 % G, aplicando 7 kg ha⁻¹; para la región de Tierra Caliente a la semilla se le aplicó Furadán 300 TS, en 1.0 L ha⁻¹; el gusano cogollero (*Spodopera frugiperda*) se controló con Disparo CE con 2 a 3 mL L⁻¹ de agua, Carbarilo, 10 kg ha⁻¹ o Lorsban 480E, con 1 L ha⁻¹, Decis con 0.25 L ha⁻¹, o Pounce Gr, con 5 kg ha⁻¹; además de control químico se aplicó un control biológico, con 16 pulg de *Trichogramma ssp.*, con cuatro liberaciones en cada 10 a 12 días, la primera a los 20 días después de la siembra. La cosecha se realizó de manera manual, cuando el grano estaba en madurez fisiológica. El rendimiento de grano se estimó mediante un muestreo en "cinco de oro" por bloque y en dos surcos de 5 m de longitud, y se contó el número de plantas y mazorcas;

se midió la distancia entre surcos y la distancia entre matas, con lo cual se calculó la densidad de población. Después se tomó una muestra de grano de maíz para determinar el porcentaje de humedad a la cosecha y se determinó el porcentaje de olote, con la cual se estimó el peso de grano por planta y por hectárea,

Cuadro 4. Distribución de la forma de aplicación del fertilizante en las regiones del Estado de Guerrero, México.

Región	Forma de aplicación	
	mateado	en banda
	%	
Tierra Caliente	20.0	80.0
Norte	20.6	79.4
Centro	81.8	18.2
Montaña	46.2	53.8
Costa Chica	100.0	0.0
Costa Grande	100.0	0.0

expresando el grano a 14% de humedad. En cada PADEM se tomó nota de la forma de terreno, en términos de su posición fisiográfica (terrenos planos, de lomeríos y de ladera), y se consideró la información climática (Figura 1), la altitud y la fecha de siembra. El siguiente paso consistió en estimar una función de producción para el rendimiento de maíz para las seis regiones en conjunto, como una función de los factores: clima, posición fisiográfica, genotipos, fertilización y biofertilizan-

te, a los cuales se les adicionó la altitud y la fecha de siembra, a la vez que la fuente de fertilizantes y la forma de aplicación. Para la estimación de la función de producción se siguió el procedimiento propuesto por Volke (2008) para información derivada del muestreo. Con la función de producción se calcularon los rendimientos en las regiones, para los correspondientes valores de los factores incluidos en ella.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Función de producción

Se obtuvo para las seis regiones en conjunto, misma que fue la siguiente:

$$Y = -3168.429 + 2542.174 C - 834.889 C^2 + 3141.635 R_3C - 1743.063R_3C^2 - 1873.365 P + 817.660 P^2 + 845.483 R_6 P + 273.890 D - 2.125 D^2 - 600.192 F_f - 661.513 R_2F_f + 1205.801 R_5F_f + 754.726 Fa - 1756.811 R_2Fa - 1580.690 R_3Fa - 1401.143 R_4Fa + 292.940 R_2T + 279.706 R_4T + 229.463 R_6T + 10.517 S - 4.956S^2 + 0.1774 S^3 - 0.001710 S^4 + 11.095 R_2S + 15.997 R_4S + 1204.729 R_5 S^{0.5} - 69.337 R_5S + 3.142 A - 0.003750 A^2 + 0.000001070 A^3 + 3.034 R_2A - 0.001350 R_2A^2 + 43.499 R_3A^{0.5} + 0.5745 R_4A - 779.488 R_5 A^{0.5} + 30.668 R_5A - 0.01020 R_5A^2$$

(Pr.F = 0.0001, CME = 522 406, CV = 15.11 %, R² = 0.757)

Donde: Y es el rendimiento de grano (kg ha⁻¹); R₂, R₃, R₄ R₅ y R₆ son variables auxiliares para las regiones Norte, Centro, Montaña, Costa Chica y Costa Grande, respectivamente, en comparación a la región Tierra Caliente; C es el tipo de clima; P es la posición fisiográfica; D es la densidad de población (plantas ha⁻¹); F_f es la fuente de fertilizantes; Fa es la forma de aplicación del fertilizante; T es la aplicación de biofertilizante; S es la fecha de siembra (días a partir del 01/06); A es la altitud (m). Con la función de producción se calcularon los rendimientos en las regiones, para los climas y posiciones fisiográficas, los materiales genéticos, la densidad de plantas, la

fuerza del fertilizante, la forma de aplicación del fertilizante, la dosis de nitrógeno-fósforo, la aplicación de biofertilizante, a valores medios o más frecuentes de fecha de siembra y altitud. En los Cuadros 5 a 10 se presenta la información referida.

Rendimientos

A continuación se hace el análisis de los rendimientos obtenidos para los factores que quedaron incluidos en la función de producción.

Los rendimientos máximos alcanzados en las distintas regiones con 60 000 plantas ha⁻¹ en las distintas condiciones de clima y suelo fueron de 5302 a 6358 kg ha⁻¹ en la región Tierra Caliente, 5947 a 8747 kg ha⁻¹ en la Norte, 5514 a 9676 kg ha⁻¹ en la Centro, 4943 a 7794 kg ha⁻¹ en la Montaña, 4991 a 6047 kg ha⁻¹ en la Costa Chica, y 5386 a 6601 kg ha⁻¹ en la Costa Grande. Estos rendimientos fueron muy superiores a los que obtiene la mayoría de los productores en las distintas regiones, si los comparamos con los rendimientos medios obtenidos en 2010, de 3.84 t ha⁻¹ en la región Tierra Caliente, 2.83 t ha⁻¹ en la Norte, 2.73 t ha⁻¹ en la Centro, 1.35 t ha⁻¹ en la Montaña, 3.20 t ha⁻¹ en la Costa Chica y 2.25 t ha⁻¹ en la Costa Grande (SIAP, 2014).

Algunos de los genotipos se probaron en una sola PA-DEM, por lo que no se pudo obtener información suficiente para su comparación, como fue para las variedades V-559, sintética VS-535 y Tornado; en otro caso, en la región Costa Grande se probó solo el híbrido H-562, por lo que pudo existir cierto grado de confusión en el efecto y no se consideró en la comparación. En la función de producción se consideró como material genético de comparación el híbrido H-516 y no quedaron incluidos los materiales híbrido H-563, variedad sintética VS-234 y variedad sintética Vs-235, de tal modo que ellos habrían presentado un rendimiento similar al híbrido H-516. Sin

Cuadro 5. Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) (kg ha⁻¹) en función de clima, posición fisiográfica y densidad de población, en la región Tierra Caliente, Guerrero, México.

Clima	Posición fisiográfica	Densidad (plantas ha ⁻¹)					
		30 000	40 000	50 000	55 000	60 000	65 000
Aw	Plano	3879	5130	5957	6211	6358	6399
	Ladera	2823	4075	4901	5155	5302	5344
	Lomerío	3403	4654	5481	5734	5882	5923

Los híbridos H-516 y H-563 dieron igual rendimiento. La fuente de fertilizante sulfato de amonio-fosfato diamónico rindió 600 kg ha⁻¹ menos que la fuente fosfonitrato-fosfato diamónico. La aplicación en banda del fertilizante rindió 754 kg ha⁻¹ más que la aplicación mateada. Altitud: 260-510 m. Fecha de siembra: 25/06-10/07.

Cuadro 6. Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) (kg ha⁻¹) en función de clima, posición fisiográfica y densidad de población, en la región Norte, Guerrero, México.

Clima	Posición fisiográfica	Densidad (plantas ha ⁻¹)					
		30 000	40 000	50 000	55 000	60 000	65 000
Aw	Plano	4523	5774	6601	6855	7002	7044
	Ladera	3467	4719	5545	5799	5947	5988
	Lomerío	4047	5298	6125	6379	6526	6568
C(w)	Plano	6230	7482	8308	8562	8710	8751
	Ladera	5175	6426	7252	7506	7654	7695
	Lomerío	5754	7006	7832	8086	8234	8275
(A)C(w)	Plano	6268	7519	8346	8599	8747	8788
	Ladera	5212	6464	7290	7544	7691	7733
	Lomerío	5792	7043	7870	8123	8271	8312

La variedad sintética VS-235 rindió 534 kg ha⁻¹ más que el híbrido H-516. La fuente de fertilizante sulfato de amonio-fosfato diamónico rindió 1261 kg ha⁻¹ menos que la fuente fosfonitrato-fosfato diamónico. La aplicación en banda del fertilizante rindió 1002 kg ha⁻¹ menos que la aplicación mateada. La aplicación de biofertilizante rindió 292 kg ha⁻¹ más. Altitud: 625-1585 m. Fecha de siembra: 07/06-07/07.

Cuadro 7. Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) (kg ha⁻¹) en función de clima, posición fisiográfica y densidad de población, en la región Centro, de Guerrero, México.

Clima	Posición fisiográfica	Densidad (plantas ha ⁻¹)					
		30 000	40 000	50 000	55 000	60 000	65 000
Aw	Plano	4091	5342	6169	6423	6570	6611
	Ladera	3035	4287	5113	5367	5514	5556
	Lomerío	3614	4866	5693	5996	6094	6135
C(w)	Plano	7197	8448	9275	9528	9676	9717
	Ladera	6141	7392	8219	8473	8620	8662
	Lomerío	6721	7972	8799	9052	9200	9241
(A)C(w)	Plano	5147	6398	7225	7478	7626	7667
	Ladera	4091	5342	6169	6423	6570	6612
	Lomerío	4671	5922	6748	7002	7150	7191

Los híbridos H-516 y H-563 dieron igual rendimiento. En esta región se usó solo la fuente de fertilizante sulfato de amonio-fosfato diamónico. La aplicación en banda del fertilizante rindió 826 kg ha⁻¹ menos que la aplicación mateada. Altitud: 213-1526 m. Fecha de siembra: 21/06-15/07.

Cuadro 8. Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) (kg ha⁻¹) en función de clima, posición fisiográfica y densidad de plantas en la región Montaña, de Guerrero, México.

Clima	Posición fisiográfica	Densidad (plantas ha ⁻¹)					
		30 000	40 000	50 000	55 000	60 000	65 000
Aw	Plano	3570	4821	5648	5901	6049	6090
	Ladera	2514	3765	4592	4846	4993	5035
	Lomerío	3094	4345	5171	5425	5573	5614
C(w)	Plano	5277	6528	7355	7609	7756	7798
	Ladera	4221	5473	6299	6553	6701	6742
	Lomerío	4801	6052	6879	7133	7280	7321
(A)C(w)	Plano	5315	6566	7392	7646	7794	7835
	Ladera	4259	5510	6337	6590	6738	6779
	Lomerío	4838	6090	6916	7170	7318	7359

La variedad sintética VS-235 dio 777 kg ha⁻¹ menos que el híbrido H-516, y la variedad sintética VS-234 dio igual rendimiento que el híbrido H-516. En esta región se usó solo la fuente de fertilizante sulfato de amonio-fosfato diamónico. La aplicación en banda del fertilizante rindió 646 kg ha⁻¹ menos que la aplicación mateada. La aplicación de biofertilizante rindió 279 kg ha⁻¹ más. Altitud: 969-2084 m. Fecha de siembra: 10/06-12/07.

Cuadro 9. Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) (kg ha⁻¹) en función de clima, de posición fisiográfica y densidad de población en la región Costa Chica de Guerrero, México.

Clima	Posición fisiográfica	Densidad de población (plantas ha ⁻¹)					
		30 000	40 000	50 000	55 000	60 000	65 000
Aw	Plano	3568	4819	5645	5899	6047	6088
	Ladera	2512	3763	4590	4844	4991	5032
	Lomerío	3092	4343	5169	5423	5571	5612

Los híbridos H-516 y H-563 dieron igual rendimiento. La fuente de fertilizante fosfonitrato-fosfato diamónico rindió 605 kg ha⁻¹ menos que la fuente sulfato de amonio-fosfato diamónico. En esta región se aplicó el fertilizante solo mateado. Altitud: 33-1182 m. Fecha de siembra: 09/06-16/07.

Cuadro 10. Rendimiento de maíz (*Zea mays* L.) (kg ha⁻¹) en función de clima posición fisiográfica y densidad de población en la región Costa Grande, Guerrero, México.

Clima	Posición fisiográfica	Densidad de población (pl. ha ⁻¹)					
		30 000	40 000	50 000	55 000	60 000	65 000
Aw	Plano	2906	4158	4984	5238	5386	5427
	Lomerío	4121	6199	5909	6453	6601	6642

Híbrido H-562. En esta región se usó solo la fuente de fertilizante fosfonitrato-fosfato diamónico. En esta región se aplicó el fertilizante sólo mateado. La aplicación de biofertilizante rindió 229 kg ha⁻¹ más. Altitud: 18-797 m. Fecha de siembra: 10/07-28/07.

embargo, a partir de la función de producción se procedió a realizar un análisis específico para los materiales genéticos probados en las distintas regiones. De esta comparación resultó que en la región Tierra Caliente los híbridos H-516 y H-563 dieron igual rendimiento; en la Norte, la variedad sintética VS-235 rindió 534 kg ha⁻¹ más que el híbrido H-516; en la Centro, el híbrido H-563 rindió 674 hg ha⁻¹ más que el H-516; en la Montaña, la variedad sintética VS-235 rindió 777 kg ha⁻¹ menos, y la VS-234, igual que el híbrido H-516; en la Costa Chica los híbridos H-516 y H-563 dieron igual rendimiento. Los rendimientos máximos obtenidos en las regiones Norte y Centro bajo condiciones de clima y suelo favorable, y 65 000 plantas ha⁻¹, de 8788 y 9717 kg ha⁻¹, respectivamente, se pueden considerar altos para una fertilización con 60-90 kg N ha⁻¹; sin embargo, Turrent *et al.* (2004) registraron rendimientos de ese orden de magnitud en Iguala, Guerrero, con valores de 10.24 t ha⁻¹ para el híbrido H-513 y 65 kg N ha⁻¹, y de 9.43 a 10.47 t ha⁻¹ para H-551C, con 60 a 65 kg N ha⁻¹, a la vez que reportan rendimientos similares e incluso más altos con esas fertilizaciones para localidades en Chiapas y Quintana Roo.

Clima y posición fisiográfica

Los climas templados subhúmedos C(w) presentes en las regiones Norte, Centro y Montaña dieron mayores rendimientos que los climas cálidos subhúmedos (Aw), presentes en todas las regiones; además los semicálidos subhúmedos (A)C(w) dieron rendimientos simila-

res a los templados subhúmedos (C(w) en las regiones Norte y Montaña, pero menores que los templados subhúmedos (C(w) en la Centro. Los suelos planos presentaron mayores rendimientos, seguidos por los de lomerío y, en último lugar, los de ladera en las regiones Tierra Caliente, Norte, Centro, Montaña y Costa Chica; haciendo excepción a este comportamiento, los suelos de lomerío dieron mayores rendimientos que los planos en la Costa Grande. Los rendimientos más bajos, entre 5000 y 6500 kg ha⁻¹, según la posición fisiográfica, se obtuvieron en las regiones Tierra Caliente, Norte, Montaña, Costa Chica y Costa Grande. Para el clima Aw, los rendimientos más altos entre 7500 y 9700 kg ha⁻¹, según posición fisiográfica, para el clima C(w) y (A) C(w), es la región Norte y C(w) en la Centro, y rendimientos entre 6500 y 7800 kg ha⁻¹ según la posición fisiográfica, para el clima (A) C(w) es la Centro y C(w) y (A)C(w) en la Montaña.

Densidad de población y fuentes, forma de aplicación y dosis de fertilizantes

En las PADEM la densidad de población varió en relación con la densidad planificada, desde una menor densidad por pérdida de plantas debido a plagas y sequía, hasta una mayor densidad sembrada por los productores. Sin embargo, la respuesta a la densidad de población llegó prácticamente en todas las regiones a 60000 plantas ha⁻¹, ya que después de esta densidad el incremento de rendimiento es despreciable. La



fuentes fosfonitrato-fosfato de amonio dio mayor rendimiento que la fuente sulfato de amonio-fosfato diamónico en las regiones Tierra Caliente (600 kg ha^{-1}) y Norte (1261 kg ha^{-1}), a la vez que en la Costa Chica se observó un mayor rendimiento de la fuente sulfato de amonio-fosfato diamónico (605 kg ha^{-1}); en las regiones Centro y Montaña solo se usó la fuente sulfato de amonio-fosfato diamónico y en la Costa Grande solo la fuente fosfonitrato-fosfato diamónico. En la Tierra Caliente el pH del suelo se distribuyó en el rango de suelos ácidos (40.4%), neutros (22.4%) y alcalinos (37.2%); en la Norte hay predominios de suelos alcalinos (74.0%) y en la Costa Chica predominan los suelos ácidos (90.9%), de tal modo que no se observó alguna relación entre las fuentes de fertilizantes y el pH del suelo.

A este respecto se esperaba alguna relación entre el pH y la respuesta a la fuente de la fertilización, lo que no se observó con mayor rendimiento de la fuente fosfonitrato-fosfato diamónico que la fuente sulfato de amonio-fosfato diamónico en los suelos ácidos, y lo contrario en los suelos alcalinos, lo que no fue observado de esta manera. De esta manera no se observó alguna relación entre el pH del suelo y la fuente de fertilización en las regiones Tierra Caliente, Norte y Costa Chica, ya que se esperaba en mayor rendimiento para la fuente fosfonitrato-fosfato diamónico en suelos ácidos. La forma de aplicación del fertilizante en banda dio un mayor rendimiento que mateada en la región Tierra Caliente (754 kg ha^{-1}) y la aplicación mateada dio mayor rendimiento que en banda en las zonas Norte (2002 kg ha^{-1}), Centro (826

kg ha^{-1}) y Montaña (647 kg ha^{-1}); en la Costa Chica y la Costa Grande el fertilizante se aplicó solo mateado. Se podía esperar un mayor rendimiento de la aplicación mateada del fertilizante, como ocurrió en las regiones Norte, Centro y Montaña; sin embargo, en Tierra Caliente ocurrió lo contrario. En cuanto a la dosis de fertilización no se observaron diferencias en rendimiento entre la fertilización de $60\text{-}30$ y $60\text{-}90 \text{ kg N-P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$. Sin embargo, llama la atención los altos rendimientos obtenidos en algunas regiones con dicha fertilización. Tal es el caso de rendimientos de hasta 8747 y 9676 kg ha^{-1} alcanzados con $60\ 000$ plantas ha^{-1} en las regiones Norte y Centro, respectivamente. Al respecto, cabe señalar que Turrent *et al.* (2004) también han encontrado rendimientos de ese orden de magnitud en Iguala, Guerrero, con valores de 10.24 t ha^{-1} para el híbrido H-5134 y 65 kg N ha^{-1} , y de 9.43 a 10.47 t ha^{-1} para híbrido H-551C con 60 a 65 kg Na^{-1} , a la vez que reportan rendimientos similares e incluso más altos con esas fertilizaciones para localidades en Chiapas y Quintana Roo.

Biofertilizante, altitud y fecha de siembra

La aplicación de biofertilizante presentó una respuesta positiva de escasa magnitud en las regiones Norte (292 kg ha^{-1}), Montaña (279 kg ha^{-1}) y Costa Grande (229 kg ha^{-1}), y no se observó respuesta en las regiones Tierra Caliente, Centro y Costa Chica. Esta respuesta al biofertilizante menor a lo esperado se atribuyó a un posible manejo deficiente del mismo, por lo que no se pueden sacar conclusiones al respecto. La altitud varió entre las regiones, de: 260 a 510 m en la región Tierra Caliente, 625 a 1585 m en la región Norte; 213 a 1526 m en la región Centro; 969 a 2084 m en la región Montaña; 33 a 1182 m en la región Costa Chica; y 18 a 797 m en la región Costa Grande. En la función de producción, el efecto de la altitud sobre el rendimiento quedó expresado por variables generales (para todas las regiones) y propias de las regiones (regiones Norte, Centro, Montaña y Costa Chica) y se estimó con el valor medio de la clase modal de altura para cada región, que fue de 375 m para la región Tierra Caliente, 1250 m para la Norte, 1250 m para la Centro, 1500 m para la Montaña, 375 m para la Costa Chica y 50 m para la Costa Grande. La fecha de siembra en condiciones de temporal depende del inicio del temporal y fue variable entre las regiones, lo que también se refleja en la duración del período de siembra en las distintas regiones, de tal modo que el inicio y duración del periodo de siembra fue del 24 de junio al 19 de julio en la región Tierra Caliente, 7 de junio al 17 de julio en la región Norte, 21 de junio al 22 de julio en la región Centro, 10 de junio al 12 de julio en la región Montaña, 9 de junio al 5 de agosto en la región Costa Chica, y 10 al 28 de julio en la región Costa Grande. La fecha de siembra varió en las regiones, dependiendo del inicio de temporal, desde el 7 de junio en la región Norte hasta 10 de julio en la región Costa Grande. En la función de producción, la fecha de siembra quedó representada por variables generales (para todas las regiones) y propias de la región (Norte, Montaña y Costa Chica), según el efecto de la fecha de la siembra sobre el rendimiento. El rendimiento se estimó con el valor medio de la clase modal de las fechas de siembra de cada región, que fue del 2 de julio en Tierra Caliente, 25 de junio en la Norte, 1 de julio en la Centro, 27 de junio en la Montaña, 7 de julio en la Costa Chica y 20 de julio en la Costa Grande.

CONCLUSIONES

Los materiales genéticos de maíz dieron rendimientos similares y diferentes en las regiones geoeconómicas. Los distintos climas y posiciones fisiográficas en las regiones geoeconómicas originaron diferencias de rendimiento dentro y entre ellas. La respuesta a la densidad de población fue similar en todas las regiones, llegando a 60000 plantas por hectárea. La respuesta a fuentes de fertilización y a la forma de aplicación del fertilizante fue variable entre las regiones y no se observó respuesta entre las dosis de fertilización. La respuesta a la biofertilización fue escasa en tres de las regiones geoeconómicas y no se presentó en las otras tres.

LITERATURA CITADA

- Aguado-Santacruz G.A. 2012. Introducción al Uso y Manejo de los Biofertilizantes en la Agricultura. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Centro de Investigación Regional Centro-Este, Campo Experimental del Bajío. Celaya, Gto., México. 269 p.
- Alarcón A., Ferrera-Cerrato R. 2000. Biofertilizantes: importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México* 26: 191-203.
- Baumann J. 2000. La degradación de suelos: procesos, causas y su combate. En: Quintero-Lizaola, R., Reyna-Trujillo, T., Corlay-Chee, L., Ibañez-Huerta A., García-Calderón, N.E. *La Edafología y sus Perspectivas al Siglo XXI*. Tomo I. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Chapingo. Méx., México. pp: 145-154.
- CEDRESSA. 2014. Centro de Estudios para el Desarrollo Rural Sustentable y la Soberanía Alimentaria. Consumo, Distribución y Producción de Alimentos: El Caso del Complejo Maíz-Tortilla. <http://www.cedrssa.gob.mx> (consultado: 15 de enero de 2016).
- FAO. 2013. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Panorama de la Seguridad Alimentaria y Nutricional en México, 2012. www.fao.org/publications (consultado: 15 de enero de 2015)
- García E. 2004. Modificaciones al Sistema de Clasificación de Köppen. Serie Libros No. 6. Quinta Edición: corregida y aumentada. Universidad Nacional Autónoma de México. México D.F., México. 98 p.
- García-Olivares J.G., Mendoza-Herrera A., Mayek-Pérez N. 2012. Efecto de *Azospirillum brasilense* en el Rendimiento del Maíz en el Norte de Tamaulipas, México. <http://www.universidadyciencia.ujat.mx> 28:79-84.
- González-Mateos R., Volke-Haller V., Ortiz-Solorio C.A., González-Ríos J., Manzo-Ramos F. 2003. Conocimiento local de pequeños productores sobre la erosión del suelo en el ejido El Tomatal, Guerrero, México. *Terra Latinoamérica* 25: 245-258.
- González-Mateos R., Volke-Haller V., González-Ríos J., Ocampo-Portillo M., Ortiz-Solorio C.A., Manzo-Ramos F. 2007. Efecto de la erosión del suelo sobre el rendimiento de maíz de temporal. *Terra Latinoamérica* 25: 399-408.
- INEGI. 2007. Datos Vectoriales de la Base Referencial Mundial de Recurso Suelo (WRB-2006).
- Méndez L.M. 2012. Programa de Fertilizante Subsidiado en Guerrero: Transparencia y Rendición de Cuentas. Mexican Rural Development. Reporte 23. 81 p.
- Noriega C.D.H., Gómez M.N.O., Cruzaley S.R., González M.R., Domínguez M.V.M., Pereyda H.J., Ariza F.R., Gutiérrez Del V.A., González C.M., López E.M.E., Alarcón C.N., Garrido R.E., Leyva M.A., Martínez A.U., Manjarrez S.M. 2010. La Producción de Maíz de Temporal en Guerrero. Libro Técnico No. 4. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias. Iguala, Guerrero, México. 130 p.
- SEMARNAT-CP. 2002. Evaluación de la Degradación Inducida por el Hombre, escala 1:250,000. México. Pág. 68 p.
- SIAP. 2014. Producción maíz grano. [Infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap/icultivo/index.jsp](http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap/icultivo/index.jsp) (15 de enero de 2016).
- SMN. 2014. Información Climatológica. Normales Climatológicas. Guerrero. <http://smn.cna.gob.mx/es/component/content/article?id=42> (consultado: 15 de enero de 2016).
- Turrent-Fernández A., Wise T.A., Garvey E. 2012. Achieving México's Maize Potential. GDAE Working Paper No. 12-03. <http://www.ase.tufts.edu/gdae/Pubs/wp/12-03TurrentMexMaize.pdf>. (consultado: 15 de enero de 2015).
- Turrent-Fernández A., Camas-Gómez R., López-Luna A., Cantú-Almaguer M., Ramírez-Silva J., Median-Méndez J., Palafox-Caballero A. 2004. Producción de maíz bajo riego en el sur-sureste de México: II. Desempeño financiero y primera aproximación tecnológica. *Agricultura Técnica en México* 30: 205-221.
- Volke H.V. 2008. Estimación de Funciones de Respuesta para Información de Tipo no Experimental, Mediante Regresión. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 113. p.

