Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica

Página principal: www.riiit.com.mx

Microorganismos benéficos y nitrógeno: su efecto en la rentabilidad y rendimiento de grano en genotipos de maíz

Beneficial microorganisms and nitrogen: its effect on profitability and grain yield in corn genotypes

Aguilar-Carpio, C.[a], Escalante-Estrada, J.A.S.[a*], Rodríguez-González, M.T.[a], Aguilar-Mariscal, I.[b], Pérez-Ramírez, A.[b], Cervantes-Adame, Y.F.[c]

[a] Posgrado de Botánica. Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Carretera México-Texcoco Km 36.5. Montecillo, Estado de México. C.P. 56230.
[b] IDAGRO S de RL de CV. Carretera Yautepec-Tlayacapan SN. Colonia. Puente Pantitlán. Tlayacapan, Morelos. C.P. 62545.
[c] Escuela de Estudios Superiores de Xalostoc, Universidad Autónoma del Estado de Morelos (UAEM).
aguilar.cid@colpos.mx; jasee@colpos.mx*; mate@colpos.mx; immerweed@hotmail.com; pera1283@yahoo.com.mx; yessica.cervantes@uaem.mx

Innovación tecnológica: Microorganismos del suelo capaces de incrementar la producción.

Área de aplicación industrial: Empresas agrícolas.

Recibido: 06 julio 2022
Aceptado: 24 febrero 2023

Abstract

Corn (*Zea mays* L.) is the main crop in Mexico, both for its production level and for its importance in human nutrition, so fertilization is essential in production, however, it represents a high production cost. The use of microorganisms constitutes an alternative that can efficiently complement the use of chemical fertilizers. Therefore, the objective of the research was to evaluate the effect in different corn genotype of nitrogen and biofertilizer on profitability, dry biomass, grain yield and its components. The research was conducted in Iguala, Guerrero in a rainy season, where the Vandeño, VS-535 and H-562 corn genotypes, were sown with and without biofertilizers (*Rhizophagus irregularis* and *Azospirillum brasilense*) and 0, 80 and 160 kg ha^{-1} of nitrogen. The experimental design was in four randomized complete blocks in subdivided plots. At harvest, the dry biomass, grain yield, its components were recorded, in addition to performing the financial analysis. The most important results were that the maximum dry biomass production was reached

in Vandeño and H-562 with the application of nitrogen at 160 kg ha^{-1}, which showed significant differences with respect to VS-535 and the applied nitrogen levels. In relation to grain yield, it was found that H-562 and VS-535 at 160 kg ha^{-1} of nitrogen shows the maximum production, which in turn increased with the yield components. It should be noted that in the Vandeño genotype, the dry biomass and grain yield productivity was favored with the nitrogen and biofertilizer. In the economic analysis, corn H-562 generated the best profitability with the incorporation of nitrogen at 160 kg ha^{-1}, indistinctly of the microorganism inoculation.

Key words: fertilization, grain, biofertilizer, production.

Resumen

El maíz (*Zea mays* L.) es el principal cultivo de México, por su nivel de producción e importancia en la alimentación humana, por lo que la fertilización es fundamental en su producción, sin embargo, representa un alto costo. El uso de microorganismos constituye una alternativa que puede complementar de manera eficiente el uso de los fertilizantes químicos. Por consecuencia, el objetivo del presente estudio fue evaluar en diferentes genotipos de maíz el efecto de nitrógeno y biofertilizante en la rentabilidad, biomasa seca, rendimiento de grano y sus componentes. La investigación se realizó en Iguala, Guerrero en siembra de régimen de lluvia, en donde se sembraron los genotipos de maíz Vandeño, VS-535 y H-562, con y sin biofertilizantes (*Rhizophagus irregularis* y *Azospirillum brasilense*) y 0, 80 y 160 kg ha^{-1} de nitrógeno. El diseño experimental fue en cuatro bloques completos al azar en parcelas subdivididas. En la cosecha se registró la biomasa seca, rendimiento de grano, sus componentes, además de realizar el análisis financiero. Los resultados más importantes fueron, que la máxima producción de biomasa seca se alcanzó en Vandeño y H-562 con nitrógeno a 160 kg ha^{-1}, el cual mostró diferencias significativas respecto a VS-535 y a los niveles de nitrógeno aplicados. En relación con el rendimiento de grano, se encontró que H-562 y VS-535 a 160 kg ha^{-1} de nitrógeno mostró la máxima producción, que a su vez está relacionada con el aumentó en los componentes del rendimiento. Cabe señalar, que en el genotipo Vandeño la productividad de biomasa seca y rendimiento grano se vio favorecido al utilizar el nitrógeno y biofertilizante. En el análisis económico, el maíz H-562 generó la mejor rentabilidad con la incorporación nitrógeno a 160 kg ha^{-1}, indistintamente de la inoculación de los microorganismos.

Palabras clave: fertilización, grano, biofertilizante, producción.

1. Introducción

Gran parte de la producción de maíz a nivel mundial es destinada para el consumo de los animales, además de que actualmente se usa en la fabricación de biocombustibles y muy poco (20%) es para consumo humano. En México la tendencia difiere a lo antes mencionado, ya que más del 60% del maíz se utiliza en la alimentación humana por su aportación nutrimental, en donde el consumo *per cápita* es de 127 kg año^{-1} [1, 2, 3]. En el año 2020 los estados que reportaron la mayor producción de maíz fueron Sinaloa, Jalisco, Michoacán, México, Guanajuato y Guerrero,

donde se sembraron 495,771 ha, que produjeron 1,419,308 t, con un promedio del rendimiento en grano de 2.8 t ha^{-1} [4]. Por lo cual, es importante evaluar cultivares de maíz altamente productivos, que ayuden a incrementar la producción y ganancia en beneficio de los agricultores [5].

No obstante, para cubrir los requerimientos nutricionales e incrementar la productividad, es necesario emplear fertilizantes de origen inorgánicos [6]; sin embargo, la escasa información sobre el apropiado uso de los fertilizantes ha sido una limitante en el manejo productivo [7], además de representar la mayor proporción (50%) de los costos de producción del maíz [8].

Por ende, es necesario impulsar prácticas agronómicas que estén dirigidas a incrementar el rendimiento y rentabilidad del cultivo, como la aplicación de fertilizantes biológicos, que además ayuden a preservar el ambiente. El uso de biofertilizantes son alternativas viables capaces de elevar la producción del cultivo y mejorar las condiciones del suelo, ya que son productos elaborados a base de bacterias y hongos promotoras del crecimiento vegetal, donde el efecto benéfico se observa en la productividad de las plantas [9]. Por consecuencia, el objetivo del presente estudio fue evaluar en los genotipos de maíz Vandeño, VS-535 y H-562 el efecto de nitrógeno y biofertilizante en la rentabilidad, biomasa seca, rendimiento de grano y sus componentes.

2. Materiales y equipo

El establecimiento del estudio se efectuó en condiciones de régimen de lluvia en el municipio de Iguala, Guerrero, que presenta un clima cálido subhúmedo y una precipitación de 1100 mm durante el año y altitud de 635 m (Aw_0) [10]. En el estudio se sembró el maíz criollo Vandeño, una variedad sintética VS-535 y el hibrido H-562, materiales proporcionados por el Campo Experimental Iguala (INIFAP), los cuales fueron inoculados previo a la siembra con los microorganismos *Rhizophagus irregularis* (30,000 esporas por kg) y *Azospirillum brasilense* (5×10^8 UFC g^{-1}) que fueron obtenidos del producto comercial Micorrizafer y Azofer Plus de la Biofabrica Siglo XXI; así también se fertilizó con diferentes niveles de nitrógeno (N) a base de urea (0, 80, 160 kg ha^{-1}), aplicados en dos tiempos, el 50% de nitrógeno 20 días después de la siembra (dds) y 40 dds la otra mitad. La densidad de siembra fue de 6.25 plantas m^{-2}. Para conocer las características del suelo se realizó un análisis fisicoquímico en el Laboratorio de Nutrición Vegetal S. C., Fertilab. Como resultado se obtuvo que el suelo es de textura arcillosa, densidad aparente de 1.07 g cm^{-3}, pH 7.8, conductividad eléctrica 0.83 dS m^{-1}, materia orgánica de 1.57% y nitrógeno inorgánico 5.54 ppm.

En cuanto al manejo agronómico, dos dds se aplicó el herbicida Primagram Gold (Syngenta®) para inhibir la germinación de las malezas. Con respecto al control de plagas como el gusano cogollero [*Spodoptera frugiperda* (J. E. Smith)], se realizaron tres aplicaciones cada 20 días del insecticida bifentrina (Adama®).

3. Métodos experimentales

La distribución de los tratamientos fue en un diseño de cuatro bloques completos al azar en parcelas subdivididas. El tamaño de la unidad experimental estuvo conformado de cuatro surcos de 80 cm por 4 m de largo.

Durante el crecimiento del cultivo se midió cada 10 días las temperaturas máximas (Tmáx) y mínimas (Tmín), así como la precipitación (PP, mm), valores obtenidos de las Estaciones Meteorológicas Automáticas

de CONAGUA. La aparición de las etapas fenológicas de los genotipos de maíz también fue registrada; emergencia (E), floración (FL) y madurez fisiológica (MF), con base en la descripción de Ritchie y Hanway (1982) [11].

En la cosecha se evaluó el peso de biomasa seca de la planta (BS, g m^{-2}), el cual se obtuvo con una báscula digital (OHAUS®). Las muestras se secaron en un horno de circulación de aire forzado, a 70 °C durante 72 h.

Además, se determinó el índice de cosecha (IC, %), calculado mediante la siguiente Ecuación (1):

IC = Rendimiento de grano / Rendimiento biológico **(Ec. 1)**

En donde el rendimiento biológico es el peso seco total de las estructuras de la planta.

También se obtuvo el rendimiento de grano (RG, g m^{-2}) que presentó un 10% de humedad, del cual se contabilizó el peso de 100 granos (P100G, g), número de hileras (NH), número de granos por hilera (NGH) de la mazorca y número de granos (NG, m^2). Las variables evaluadas fueron sometidas a un análisis de varianza (ANDEVA), mediante la paquetería de SAS (Statistical Analysis System) Ver. 9.00 y la prueba de medias de Tukey (α = 0.05). Asimismo, se realizó un análisis de regresión en las combinaciones genotipo x nitrógeno (G x N), genotipo x biofertilizante (G x Bio) y biofertilizante x nitrógeno (Bio x N) en donde se obtuvo la ecuación cuadrática oportuna, con las hojas de cálculo de Excel ®, Microsoft Office para Windows. En adición, se realizó un análisis económico, con las fórmulas de rentabilidad presentadas en Bueno *et al*. (2005) [12] para estimar el costo total (CT), ingreso total (IT) y ganancia por peso invertido (GPI).

4. Discusión de resultados

4.1 Fenología y condiciones climáticas

En la Figura 1, se presentan los valores graficados de la Tmáx y Tmín durante el crecimiento del maíz que variaron entre 34 y 18 ºC, respectivamente. En el periodo de siembra a FL, la Tmáx y Tmín promedio fue de 34 y 20 ºC y de FL a MF fue de 34 y 18 ºC, respectivamente. Por lo que, las temperaturas presentadas no afectaron el crecimiento y productividad del cultivo de maíz como lo sugiere Rodríguez-Montalvo *et al*. (2021) [3]. La PP total durante el crecimiento del cultivo fue de 692 mm. Esto indica que el cultivo se vio favorecido por la adecuada disponibilidad y distribución del agua, en las diferentes etapas fenológicas, siendo la floración el periodo de mayor relevancia [13]. En relación con las etapas fenológicas, la E se registró a los 5 dds en los tres genotipos. Para Vandeño la FL aconteció a los 75 dds, en el caso de VS-535 y H-562 a los 63 y 73 dds, respectivamente. La MF ocurrió en Vandeño a los 115 dds, en H-562 a los 112 dds y para VS-535 a los 109 dds. Al respecto, Aguilar-Carpio *et al*. (2015) [14] reportaron apariciones semejantes de las etapas fenológicas en los mismos maíces, pero en diferente época de siembra.

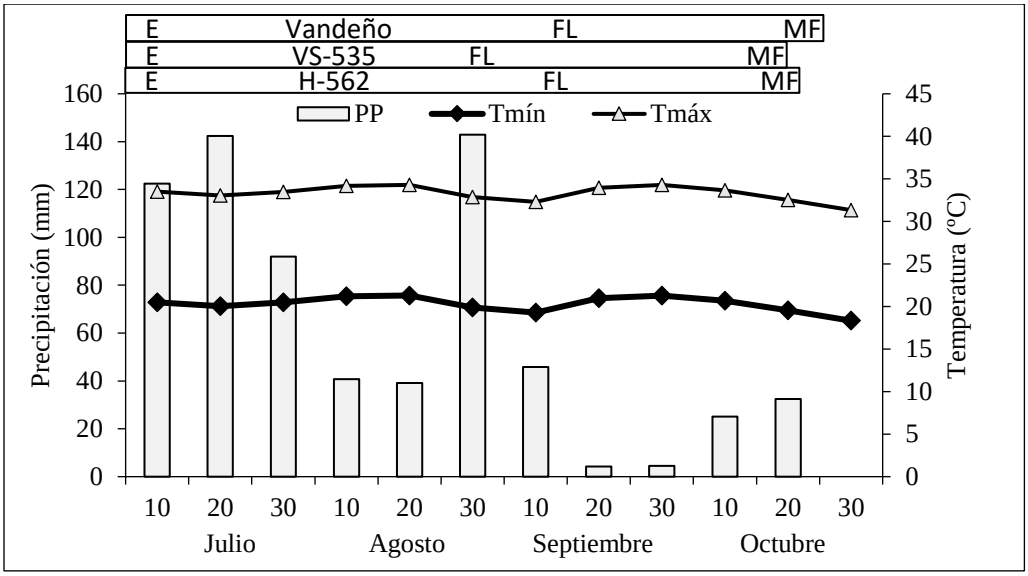


Figura 1. Valores medios de la temperatura máxima (Tmáx), mínima (Tmín) y suma decenal de la precipitación (PP) durante el crecimiento de los genotipos de maíz Vandeño, VS-535 y H-562.

4.2 Genotipos

En la Tabla 1, se observa que el genotipo Vandeño por sus características genéticas presentó un 17.8 y 16.4 % más de BS respecto a los maíces H-562 y VS-535, respectivamente. Contrario a lo observado por Aguilar-Carpio *et al*. (2015) [14] quienes reportaron una mayor BS con los genotipos VS-535 y H-562 en comparación a Vandeño, en condiciones de riego. En relación con el IC los genotipos H-562 y VS-535 presentaron la más alta distribución de BS hacia el grano, los cuales estadísticamente fueron diferentes a Vandeño. Esto indica que los genotipos mejorados mostraron mejor eficiencia en la acumulación y distribución de fotoasimilados para la formación y crecimiento del grano, respecto al maíz criollo. Por su parte Aguilar *et al*. (2022) [15] no observaron respuesta en el IC a evaluar un mejorado (Promesa) vs criollo (Michoacan-21). Con respecto al RG, H-562 y VS-535 presentaron el más alto, lo cual está vinculado con el mayor P100G y NGH. Este comportamiento es resultado de las características genéticas de los genotipos y condiciones nutriciones en las que se desarrollaron. Cabe señalar, que el rendimiento más bajo se registró en Vandeño, por su escaso potencial productivo respecto a los mejorados [16].

4.3 Biofertilizante

En cuanto a la aplicación del biofertilizante el ANDEVA mostró diferencias significativas en la BS (Tabla 1). Con el Bio la producción de BS total en el maíz aumentó un 8.2% respecto a la nula biofertilización. Esto indica que, la interacción entre el Bio y las raíces promovió el desarrollo de la planta, ocasionado por una mayor adquisición de agua y nutrimentos (N, P y K) del suelo [17, 18]. Sin embargo, al observar el IC, RG y sus componentes, estos no fueron afectado de manera positiva por los microorganismos, al no favorecer el aumento en la producción del grano. Efectos similares fueron registrados por Aguilar-Carpio *et al*. (2022) [19] en diferentes genotipos de maíz para el Estado de México, quienes no encontraron diferencias en el rendimiento y sus componentes con el uso de biofertilizante (*R. intraradices* y *A. brasilense*). Opuesto a lo mencionado por Ayvar-Serna et al. (2020) [20] quienes reportaron un efectivo significativo con el uso de *Glomus intraradices* y *A. brasilense* en híbridos de

maíz para el estado de Guerrero. Lo anterior, posiblemente se deba a la adaptabilidad de la micorriza para sobrevivir en suelos con condiciones adversas (ácidos y deficientes en nutrientes). Asimismo, se ha observado que los hongos micorrícicos arbusculares pueden presentar preferencia sobre ciertos genotipos de maíz [21].

4.4 Nitrógeno

Hubo diferencias significativas por efecto del nitrógeno para las variables evaluadas (Tabla 1). La mayor producción de BS, RG y P100G se obtuvo con la dosis de N de 160 kg ha^{-1}, seguido de 80 kg ha^{-1}, los cuales fueron superiores en 83, 91 y 65 %, respecto al testigo sin fertilización, respectivamente. Esto indica, que el suministro N en el suelo estimula la formación de los diversos órganos de la planta (vegetativos y reproductivos), por ser un componente esencial en las células vegetales [22]. En relación con lo anterior, Rodríguez-Montalvo *et al*. (2021) [3] encontraron en maíz, que al aplicar entre 207 a 263 kg ha^{-1} de nitrógeno estadísticamente no fue significativo en la producción de biomasa seca (forraje seco). En diversos estudios se han reportado incrementos de más del 50% en el RG con la fertilización de 160 kg ha^{-1} de nitrógeno en relación con el testigo, para el Estado de México [8].

Tabla 1. Biomasa seca (BS), índice de cosecha (IC), rendimiento de grano (RG), sus componentes con relación al genotipo de maíz, biofertilizante (Bio) y nitrógeno (N).

Tratamientos		BS	IC	RG	P100G	NH	NGH	NG
		g m^{-2}	%	g m^{-2}	g	--	--	m^2
Genotipo	Vandeño	1459a¶	26b	384b	30b	20a	31c	4256a
	VS-535	1253b	36a	459a	31b	14b	35b	3286b
	H-562	1238b	37a	465a	37a	14b	37a	3532b
Tukey α = 0.05		100	4	24	2.3	1.2	1.5	257
Bio	Sin Bio	1324b	31a	423a	35a	18a	35a	3476a
	Bio	1433a	28a	406b	34b	18a	35a	3407a
Tukey α = 0.05		105	3	11	0.7	1	1	299
N (kg ha^{-1})	0	951b	32b	307c	23c	16b	23b	3278b
	80	1405b	33a	464b	34b	18a	36a	4098a
	160	1740a	33a	587a	38a	18a	35a	3999a
Tukey α = 0.05		124	0.9	22	1.2	1	2	326
CV. (%)		8	13	7	5	7	7	11

¶Para las columnas de cada tratamiento, letras similares señalan no diferencias estadísticas (Tukey, α=0.05). Peso de 100 granos (P100G), número de hileras (NH), número de granos por hilera (NGH) y número de granos (NG).

4.5 Genotipo x Biofertilizante

En los genotipos Vandeño y H-562 se encontraron los valores más altos de BS en comparación a VS-535, sin embargo, al realizar la aplicación del Bio, los genotipos utilizados no presentaron respuesta en el dosel vegetal, ya que el aumento de BS fue nulo (Figura 2A). Contrario a lo señalado por Montejo-Martínez *et al*. (2018) [2] en donde la asociación de *R. intraradices* y *A. brasilense* en adición de fertilizantes químicos generó una mayor respuesta en la biomasa foliar, con relación al testigo. Con respecto al RG, al utilizar el Bio en los genotipos en estudio se encontró que Vandeño fue el único donde se fomentó un incremento significativo el cual fue del 20% (Figura 2B). Esto indica una mejor afinidad de los microorganismos sobre los maíces nativos como Vandeño, ya que se mejoró la producción de grano; esto probablemente se debió a que el biofertilizante generó un aumento en el sistema radical, lo que pudo promover un incremento en la absorción de agua y nutrimentos, que a su vez ocasionó un mayor llenado de grano [1]. En estudios realizado por García-Olivares *et al*. (2012)

[23] reportaron que con la incorporación al suelo de *A. brasilense* no se detectaron diferencias en el RG en un maíz híbrido en el primer año, sino hasta el segundo año donde encontraron incrementos de hasta el 27%.

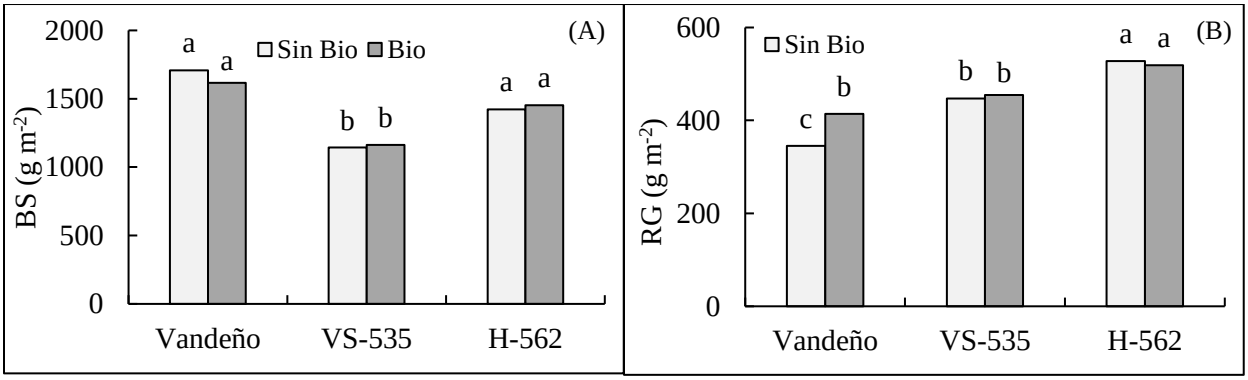


Figura 2. Biomasa seca (BS) (A) y rendimiento de grano (RG) (B) con relación al genotipo de maíz y biofertilizante (Bio).

4.6 Genotipo x Nitrógeno

En la interacción G x N se observó que el genotipo Vandeño fue superior a H-562 y VS-535 en la producción de BS (Figura 3A), siendo los valores más altos con dosis de N a 160 kg ha^{-1}, principalmente en Vandeño, debido a las características fisiológicas propias del genotipo. En el análisis de regresión se observó que los modelos utilizados se ajustaron a un polinomio de segundo grado, en donde Vandeño presentó la más alta BS por kilogramo de N aplicado (14 g m^{-2}), seguido de H-562 y VS-535. Esto puede deberse a la eficiencia del genotipo para asimilar el N disponible en el suelo, que a su vez repercute en la BS [19]. Tendencias opuestas señalan Aguilar-Carpio *et al*. (2015) [14] quienes reportaron una mayor eficiencia del N en los genotipos mejorados. En relación con el RG, para los genotipos en estudio se observó una respuesta evidente al N (Figura 3B). El mayor RG se obtuvo en H-562 y la incorporación al suelo de N (160 kg ha^{-1}). No obstante, en Vandeño se registró la mayor eficiencia en la producción de grano (1.8 g m^{-2}) por kilogramo de N aplicado. Por lo que, se puede señalar que los maíces híbridos mostraron una mejor producción en presencia de nitrógeno. Lo anterior indica, que el abastecimiento de nitrógeno es primordial en el cultivo de maíz, por ser uno de los elementos directamente relacionados con el rendimiento [24].

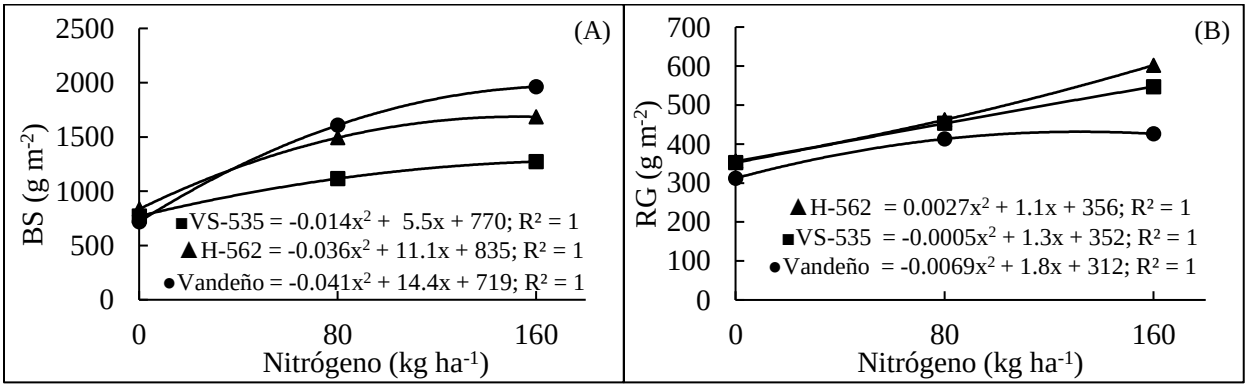


Figura 3. Biomasa seca (BS) (A) y rendimiento de grano (RG) (B) con relación al genotipo de maíz y nitrógeno.

4.7 Biofertilizante x Nitrógeno

En la Figura 4A, se encontró que la asociación de Bio y nitrógeno (160 kg ha^{-1}) generó la más alta producción de BS. Lo anterior indica, que el Bio logró producir un incremento en el área radical, lo que derivó en una mayor absorción nutrimental, para así promover la formación de BS [2]. No obstante, la ecuación polinómica indica que sin el Bio (9.9 g m^{-2}) se encontró una mayor eficiencia para producir BS por cada kilogramo de N utilizado. Por otro lado, el mayor RG se reportó con 160 kg ha^{-1} de N (Figura 4B), así también la más alta tasa de incremento (1.6 g m^{-2}) por kg de N aplicado, esto sin el uso del Bio Resultados similares encontraron Aguilar-Carpio *et al*. (2015) [14] en la BS en donde la mayor repuesta fue con el uso de Bio y N, no así para el RG.

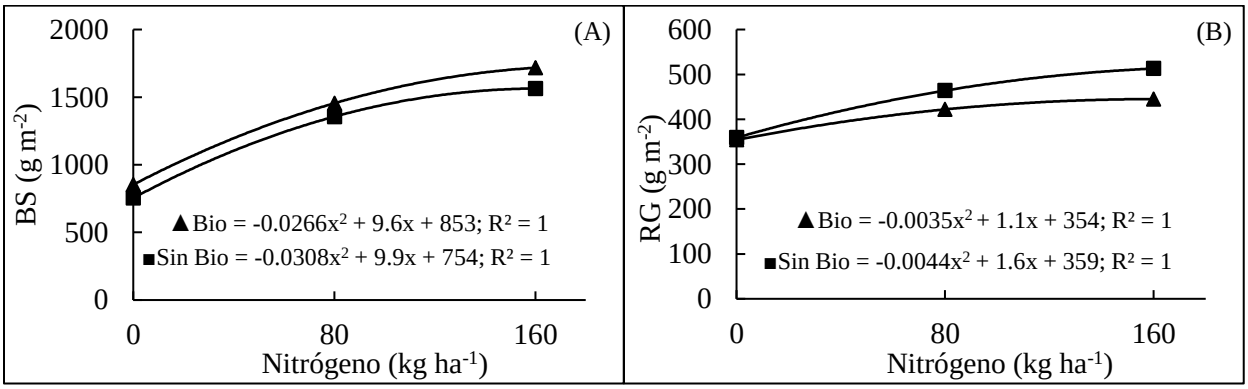


Figura 4. Biomasa seca (BS) (A) y rendimiento de grano de maíz (RG) (B) con relación al biofertilizante (Bio) y nitrógeno.

4.8 Genotipo x Biofertilizante x Nitrógeno

El ANDEVA reveló diferencias significativas en la BS y RG por consecuencia de la combinación triple G x Bio x N (Tabla 1). Para la BS se encontró que la más alta producción fue en Vandeño con la inoculación del Bio y N a dosis de 160 kg ha^{-1}, seguido de H-562, pero sin diferencias entre ellos (Figura 5A). Cabe resaltar que entre los genotipos no hubo diferencias con la aplicación del Bio en los diferentes niveles de N en la BS, con excepción del maíz Vandeño en donde el Bio promovió una mejor respuesta con la dosis máxima de nitrógeno. Por lo que, se infiere que la colonización de la micorriza fue mayor en las raíces del maíz nativo, aunado a la elevada disponibilidad de N que favoreció el incremento de la estructura de la planta como lo señalan diversos autores [14, 19]. Al final del estudio, se reportó que el máximo RG correspondió a los maíces H-562 y VS-535 cuando se suministró N a dosis de 160 kg ha^{-1}, sin embargo, también se pudo dilucidar que el peso del grano no fue modificado por el uso del biofertilizante en los genotipos antes mencionado (Figura 5B). Efectos semejantes fueron encontrados por Aguilar *et al*. (2022) [15] en el RG para una variedad sintética de maíz con la inoculación de microorganismos. No así, para el maíz Vandeño en donde el biofertilizante fomentó un aumento en el RG, principalmente cuando estuvo asociado a las diferentes dosis de nitrógeno (80 y 160 kg ha^{-1}). Posiblemente, lo anterior se puede atribuir al genotipo utilizado, dosis de nitrógeno y condiciones del suelo en las que se desarrollaron los microrganismos [15].

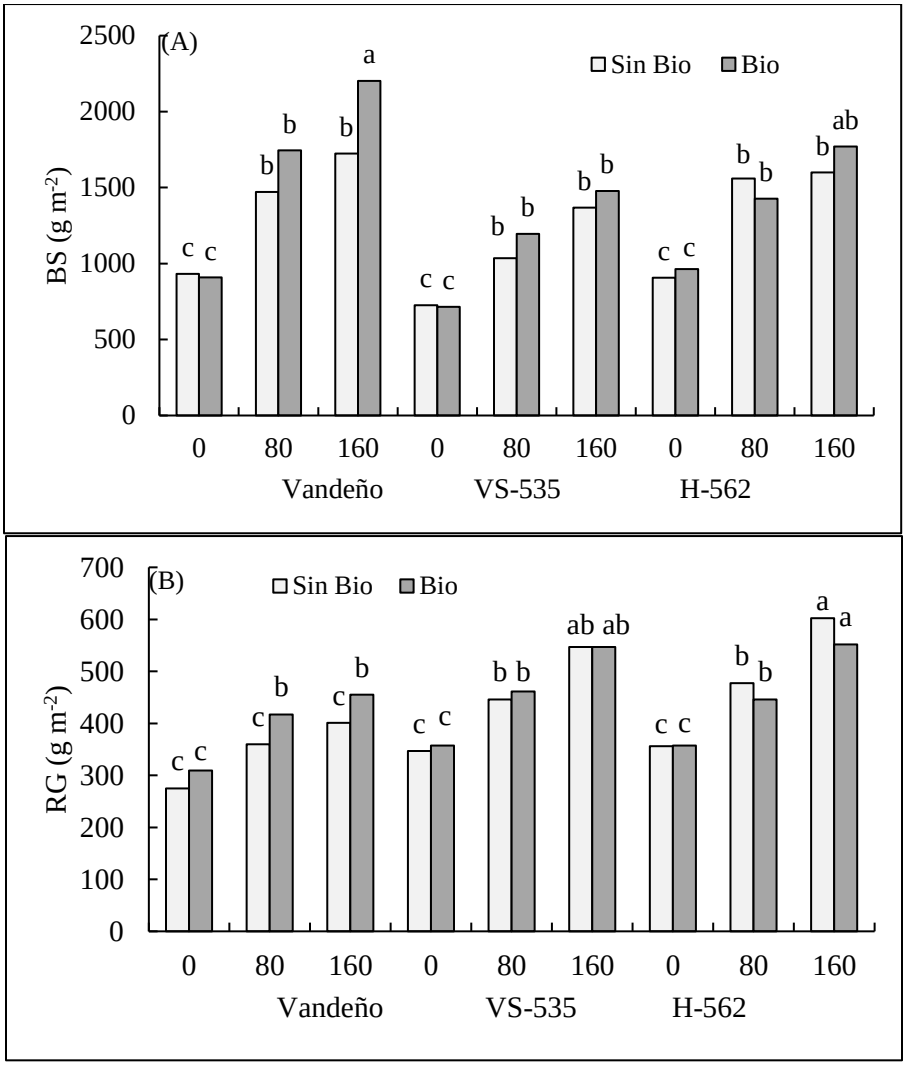


Figura 5. Biomasa seca (BS) (A) y rendimiento de grano (RG) (B) con relación al genotipo de maíz, biofertilizante (Bio) y nitrógeno (kg ha^{-1}).

4.9 Análisis económico

En el análisis económico (Tabla 2), se encontró que el mayor ingreso total, ingreso neto y ganancia por peso invertido se presentó en el hibrido H-562 y la fertilización de 160 kg ha^{-1} de nitrógeno. Por lo cual, para agricultores que deseen incrementar sus ganancias y producción se les sugiere utilizar el hibrido H-562, debido a que genera el mejor IN. Por otro lado, también se validó que para los productores que prefieran utilizar maíces nativos como Vandeño se puede mejorar la producción con la incorporación de biofertilizantes en asociación con N (160 kg ha^{-1}). En resumen, se puede mencionar que con los maíces híbridos se consigue una mejor rentabilidad en presencia de una elevada disponibilidad de nitrógeno y en maíces nativos la incorporación de microorganismos puede ser una alternativa viable para generar una mejor ganancia por el agricultor. Estos resultados difieren a los de García-Olivares *et al*. (2012) [23] y Ayvar-Serna *et al*. (2020) [20] en maíces híbridos con la asociación de biofertilizantes y fertilizantes químicos obtuvieron mejor IN, IT y GPI, en comparación a donde no se aplicó biofertilizante.

Tabla 2. Análisis financiero con relación al genotipo de maíz, biofertilizante (Bio) y nitrógeno.

Genotipo	Bio	Nitrógeno	IT	CF	CV	CT	IN	GPI
		(kg ha^{-1})	$	$	$	$	$	$
Vandeño	Sin Bio	0	12,384	5,693	560	6,253	6,130	0.98
		80	16,222	5,693	2,275	7,968	8,254	1.03
		160	18,054	5,693	3,710	9,403	8,651	0.92
	Bio	0	13,914	5,693	1,152	6,845	7,069	1.03
		80	18,787	5,693	2,867	8,560	10,227	1.19
		160	20,497	5,693	4,302	9,995	10,502	1.05
VS-535	Sin Bio	0	15,601	5,693	1,150	6,843	8,757	1.28
		80	20,092	5,693	2,865	8,558	11,533	1.35
		160	24,637	5,693	4,300	9,993	14,643	1.47
	Bio	0	16,087	5,693	1,742	7,435	8,651	1.16
		80	20,745	5,693	3,457	9,150	11,594	1.27
		160	24,637	5,693	4,892	10,585	14,051	1.33
H-562	Sin Bio	0	16,029	5,693	980	6,673	9,355	1.40
		80	21,474	5,693,	2,695	8,388	13,086	1.56
		160	27,090	5,693	4,130	9,823	17,566	1.76
	Bio	0	16,074	5,693	1,572	7,265	8,808	1.21
		80	20,101	5,693	3,287	8,980	11,120	1.24
		160	24,871	5,693	4,722	10,415	14,456	1.38

Ganancia por peso invertido (GPI), ingreso neto (IN), ingreso total (IT), costo fijo (CF), costo variable (CV) y costo total (CT).

5. Conclusiones

La máxima producción de biomasa seca se alcanzó en Vandeño y H-562 con la dosis de nitrógeno a 160 kg ha^{-1}, el cual mostró diferencias significativas respecto a VS-535 y a los niveles de nitrógeno aplicados. En relación con el rendimiento de grano, se encontró que H-562 y VS-535 a 160 kg ha^{-1} de nitrógeno tuvieron la mayor producción, que a su vez está relacionada con el aumento en los componentes del rendimiento. Cabe señalar, que en el genotipo Vandeño la biomasa seca y el rendimiento de grano se favoreció con la incorporación de nitrógeno y biofertilizante al suelo. En el análisis económico, el maíz H-562 generó la mejor rentabilidad con la incorporación de nitrógeno a 160 kg ha^{-1}, por presentar la más alta ganancia por peso invertido, ingreso total y neto, independientemente de la inoculación del biofertilizante.

6. Agradecimientos

Los autores agradecen al CONACyT por el apoyo monetario designado para la elaboración de esta investigación.

7. Referencias

1. Martínez, L., Aguilar, C. E., Carcaño, M. G., Galdámez, J., Morales, J. A., Martínez, F. B., Llaven, J. y Gómez, E. 2018. "Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays l.*) en Villaflores, Chiapas, México", *Siembra, 5*(1), 26-37. https://doi.org/10.29166/siembra.v5i1.1425.

2. Montejo-Martínez, D., Casanova-Lugo, F., García-Gómez, M., Oros-Ortega, I., Díaz-Echeverría, V. y Morales-Maldonado, E. R. 2018. "Respuesta foliar y radical del maíz a la fertilización biológica-química en un suelo Luvisol", *Agronomía Mesoamericana, 29*(2), 325-341. https://doi.org/10.15517/ma.v29i2.29511.

3. Rodríguez-Montalvo, F. A., Sierra-Macías, M., Espinosa-Calderón, A., Vázquez-Hernández, M. V., Barrón-Freyre, S., Andrés-Meza, P. y Del Rosario-Arellano, J. L. 2021. "Productividad de forraje en maíces híbridos bajo diferentes densidades de población y dosis de fertilización", *Terra Latinoamericana*, 39, 1-12. https://doi.org/10.28940/terra.v39i0.676.

4. Sistema de Información Agropecuaria (SIAP). (2021). Sistema de información agropecuaria de consulta. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural (Sagarpa). http://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/.

5. Sánchez-Hernández, M. Á., Aguilar-Martínez, C. U., Valenzuela-Jiménez, N., Joaquín-Torres, B. M., Sánchez-Hernández, C., Jiménez-Rojas, M. C. y Villanueva-Verduzco, C. 2013. "Rendimiento en forraje de maíces del trópico húmedo de México en respuesta a densidades de siembra", *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 4, 271-288.

6. Moreno-Reséndez, A., Cantú Brito, J. E., Reyes-Carrillo, J. L. y Contreras-Villarreal, V. 2017. "Forage maize nutritional quality according to organic and inorganic fertilization", *Scientia Agropecuaria*, 8, 127-135. https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.02.05.

7. Mahama, G. Y., P. V. Vara Prasad, K. L. Roozeboom, J. B. Nippert, and C. W. Rice. 2016. "Response of maize to cover crops, fertilizer nitrogen rates, and economic return", *Agronomy Journal*, 108, 17-31. https://doi.org/10.2134/agronj15.0136.

8. Aguilar, C. C., Escalante, J. A. S., Aguilar, I., Mejía, J. A., Conde, V. F. y Trinidad, A. 2016. "Eficiencia agronómica, rendimiento y rentabilidad de genotipos de maíz en función del nitrógeno", *Terra Latinoamericana, 34*(4), 1-11.

9. Camargo-Ricalde, S. L., Montaño, N. M., De la Rosa-Mera, C. J. y Montaño-Arias, S. A. 2012. "Micorrizas: una gran unión debajo del suelo", *Revista Digital Universitaria*, 13(7), 1-19.

10. García, E. 2005. "Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen". 4ª Edición. Instituto de Geografía. Universidad Autónoma de México. 217 p.

11. Ritchie, S. W. and Hanway, J. J. 1982. How a corn plant develops. Iowa State University of Science and Technology. Cooperative Extension Service. Special report No. 48. Ames Iowa, USA. 21 p.

12. Bueno, J. E., Alonso, L. A., Volke, H. V., Gallardo, L. F., Ojeda, M. M. y Mosqueda, V. R. 2005. "Respuesta del papayo a la fertilización con nitrógeno, fosforo y potasio en un luvisol", *Terra Latinoamericana*, 23(3), 409-415.

13. Alonso-Sánchez, H., Tadeo-Robledo, M., Espinosa-Calderón, A., Zaragoza-Esparza, J. y López-López, C. 2020. "Productividad del agua y rendimiento de maíz bajo diferente disponibilidad de humedad", *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(5), 1005-1016. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i5.2118.

14. Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., Mejía-Contreras, J. A., Conde-Martínez, V. F. y Trinidad-Santos, A. 2015. "Rendimiento y rentabilidad de maíz en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno, en clima cálido", *Tropical and Subtropical Agroecosystems, 18*(2), 151-163.

15. Aguilar, C. C., Arriaga, R. L. M., Cervantes, A. Y. F., Arenas, J. Y. R. y Escalante, E. J. A. S. 2022. "Rentabilidad y producción del maíz VS-535 en respuesta a la fertilización química y biológica", *Acta Universitaria*, 32, 1-13. https://doi.org/10.15174/au.2022.3285.

16. Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I., y Pérez-Ramírez, A. 2017. "Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y

nitrógeno", *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *4*(12), 475-483. https://doi.org/10.19136/era.a4n12.1000.

17. Chávez-Díaz, I. F., Zelaya, M. L. X., Cruz, C. C. I., Rojas, A. E., Ruíz, R. S. y De los Santos, V. S. 2020. "Consideraciones sobre el uso de biofertilizante como alternativa agro-biotecnológica sostenible para la seguridad alimentaria en México". *Revista Mexicana Ciencias Agrícolas*, 11(6), 1423-1436. https://doi.org/10.29312/remexca.v11i6.2492

18. O'Callaghan, M., Ballard, R. A., and Wright, D. 2022. Soil microbial inoculants for sustainable agriculture: Limitations and opportunities. *Soil Use and Management*, 38, 1340-1369. https://doi.org/10.1111/sum.12811

19. Aguilar-Carpio, C., Escalante-Estrada, J. A. S., Aguilar-Mariscal, I. y Rojas-Victoria, N. J. 2022. "Rentabilidad y rendimiento de tres genotipos de maíz en respuesta al biofertilizante y nitrógeno, en clima templado", *Biotecnia*, 24(2), 77-83. https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1603

20. Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Mena-Bahena, A., Tejeda-Reyes, M. A. y Cuevas-Apresa, Z. 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.

21. Sangabriel-Conde, W., Maldonado-Mendoza, I. E., Mancera-López, M. E., Cordero-Ramírez, J. D., Trejo-Aguilar, D., and Negrete-Yankelevich, S. 2015. Glomeromycota associated with Mexican native maize landraces in Los Tuxtlas, Mexico. *Applied Soil Ecology*, 87, 63-71. http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2014.10.017

22. Hawkesford, M., Horst, W., Kichey, T., Lambers, H., Schjoerring, J., Moller, I.S. y White, P. 2012. Functions of macronutrients. In P. Marschner (Ed.), Marschners's Mineral Nutrition of higher plants (3rd ed., pp. 135–189). USA: Academic press.

23. García-Olivares, J. G., Mendoza-Herrera, A. y Mayek-Pérez, N. 2012. "Efecto de *Azospirillum brasilense* en el rendimiento del maíz en el norte de Tamaulipas, México", *Universidad y Ciencias*, 28(1), 79-84.

24. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2008. Fundamentos de Fisiología Vegetal (2a ed.). McGraw-Hill – Interamericana de España, S. A. U.