

EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS EFICIENTES EN LA PRODUCCIÓN DE BIOMASA DE MAÍZ

EVALUATION OF EFFICIENT MICROORGANISMS IN THE PRODUCTION OF CORN BIOMASS

Wilcox Cuervo, Franklin Eduardo

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Los Santos, Laboratorio Especializado de Análisis de Suelo y Tejido Foliar, Panamá

Autor de correspondencia: franklin.wilcox@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-8617-3137>

Urriola, Janeth Del Carmen

Universidad de Panamá, Centro Regional Universitario de Los Santos, Laboratorio Especializado de Análisis de Suelo y Tejido Foliar, Panamá

janeth.urriola@up.ac.pa

<https://orcid.org/0000-0001-8004-7041>

Recepción
17/01/2024

Aprobación
21/04/2024

DOI: <https://doi.org/10.48204/j.scientia.v34n2.a5331>

Resumen

El objetivo principal de esta investigación fue evaluar el efecto de *Rhizophagus irregularis* y *Azospirillum brasilense* en la producción de biomasa de maíz. Realizada en la Finca Aranda, Corregimiento de Pocrí, Distrito de Pocrí, Provincia de los Santos, en época seca. Se evaluaron cuatro tratamientos Testigo, Bacteria, Micorriza y Bacteria/Micorriza. Implementando un diseño de boques completos al azar (DBCA), con cuatro tratamientos y cinco bloques o repeticiones. Como resultado se obtuvo que: Estadísticamente, se acepta la hipótesis nula (H_0), ya que, no existió diferencia significativa a nivel 0.05 en los parámetros rendimiento y bromatología. A pesar de esto, es importante considerar el análisis económico, donde se observa una marcada diferencia en el ingreso por hectárea, relación costo/beneficio y el porcentaje de rentabilidad. Cabe destacar que, el mayor rendimiento, en época seca (18.44 t) en biomasa obtenido para el tratamiento bacteria/micorriza dista considerablemente del reportado (35 t) por Wilcox y Rivera (2021) en época

de lluvia. Los valores del análisis bromatológico se presentan relativamente estables con respecto a lo descrito por Gingis, (2013) y Demanet (2019). Concluyendo que, económicamente, es recomendable el uso de *Rhizophagus irregularis* y *Azospirillum brasilense* en la producción de biomasa de maíz. De este ensayo se desprenden nuevas líneas de investigación como: aplicar la tecnología planteada y evaluar los resultados en la época de lluvia y la comparación de distintos niveles de abonamiento combinados con biofertilizantes.

Palabras clave: Análisis económico, bromatología, periodo seco, rendimiento.

Abstract

The main objective of this research was to evaluate the effect of *Rhizophagus irregularis* and *Azospirillum brasilense* on corn biomass production. Made at the Aranda Farm, Pocrí District, Pocrí District, Los Santos Province, in the dry season. Four treatments were evaluated: Control, Bacteria, Mycorrhiza and Bacteria/Mycorrhiza. Implementing a randomized complete block design (DBCA), with four treatments and five blocks or repetitions. As a result, it was obtained that: Statistically, the null hypothesis (Ho) is accepted, since there was no significant difference at the 0.05 level in the parameters performance and food science. Despite this, it is important to consider the economic analysis, where a marked difference is observed in income per hectare, cost/benefit ratio and percentage of profitability. It should be noted that the highest yield in the dry season (18.44 t) in biomass obtained for the bacteria/mycorrhiza treatment is considerably different from that reported (35 t) by Wilcox and Rivera (2021) in the rainy season. The values of the bromatological analysis are relatively stable with respect to what is described by Gingis, (2013) and Demanet (2019). Concluding that, economically, the use of *Rhizophagus irregularis* and *Azospirillum brasilense* in the production of corn biomass is advisable. New lines of research emerge from this trial, such as: applying the proposed technology and evaluating the results in the rainy season and the comparison of different levels of fertilization combined with biofertilizers.

Keywords: Economic analysis, food science, dry period, performance.

Introducción:

El mayor crecimiento de la población a nivel mundial hace necesario que nuestros países cada día realicen esfuerzos tendientes a lograr una mayor producción y productividad de carne vacuna y de leche para satisfacer la demanda creciente por estos productos. Para lograr este objetivo, los países deben elaborar y desarrollar políticas y estrategias para reducir la brecha entre la oferta y la demanda de estos productos (Gálvez, et al. 2009, p. 9).

En el sitio de pesquisa de acuerdo con Rivera (2021), los climas estacionales presentan un marcado periodo lluvioso (total de meses con precipitación >50mm), y seco (total de meses con precipitación <50mm); en consecuencia, en la península de Azuero cuando los vientos alisios del NE y ENE invaden el pacífico panameño, dará inicio el periodo seco que se extiende de enero – abril (ver figura 1).

En el caso de la ganadería, se debe lidiar con la estacionalidad en las sabanas, donde el recurso forrajero es mayor en algunas épocas del año que en otras. Es decir, la producción de materia seca no es continua, como el consumo de las vacas. Por lo tanto, la conservación del forraje es esencial para poder alimentar todo el año a las vacas. Uno de los recursos más utilizados es el ensilaje de maíz (Muñoz, 2020).

Por otro lado, en Panamá, anualmente se consumen unos 480 millones de litros (L) de leche entre fluida y diversos productos lácteos nacional e importada, siendo la producción panameña de unos 180 millones de litros y el consumo per cápita está por 120 L (MIDA, 2021).

Sin lugar a duda, los datos citados, confirman la importancia que tiene el sector pecuario en el desarrollo socioeconómico del país. Por tal razón, y en aras de colaborar con procedimientos y técnicas agrícolas que faciliten la manutención alimentaria del ganado (durante el periodo seco); la investigación procura ofrecer resultados que le permitan a los productores asegurar su alimento y disminuir los costos de producción. Según Muñoz (2020), uno de los aspectos más relevantes y de mayor impacto en el costo de la producción animal, es la alimentación. Más del 65 por ciento (%), aproximadamente de los costos se asocian a este factor, por ende, un manejo eficiente de estos recursos es fundamental a la hora de lograr una óptima rentabilidad en el negocio, ya sea en producción lechera o cárnica.

El origen del ensilaje de forrajes se remonta a una noticia histórica, documentada en los anales de la Universidad de Agricultura de Young en 1786, referido al artículo del profesor John Symonds, de la Universidad de Cambridge; que discute estudios realizados en Italia, en los cuales, se emplean hojas para alimentación del ganado (Valencia, et al. 2011).

El maíz es la forrajera que produce más energía por unidad de superficie. Su principal desventaja es la baja proteína y calcio. Del total de la planta, la mazorca aporta un 50% de la materia seca y alrededor de un 70% de los nutrientes. El proceso de acumulación de materia seca se acelera luego del desarrollo inicial de las hojas. A partir del grano lechoso, la acumulación es mayor. Alcanzando el máximo cuando la planta alcanza su madurez fisiológica (Cofré, et al. 1998).

Atendiendo a lo anteriormente expresado, el ensilaje de maíz es un componente importante en la dieta del ganado, debido a que constituye una opción de bajo costo por unidad energética y es el perfecto complemento en las raciones de los sistemas intensivos de estabulación (temporal y pastoril). Los productores que establecen este cultivo suplementario no solo buscan alcanzar un buen rendimiento de materia seca: 20 a 26 Tonelada métrica/Ha, sino que también un alimento de alto valor nutricional (Demagnet, 2017).

Además, en las dietas del ganado en general, el ensilaje de maíz es complementario al consumo de pasturas permanentes. El sistema de alimentación óptimo es aquel que puede combinar la proteína y la fibra de la pastura con la energía y el almidón del ensilaje de maíz, asegurando así, una alta eficiencia de utilización de ambos recursos forrajeros (Demagnet, et al., 2020).

Por otro lado, Los Hongos Formadores de *Micorrizas Arbusculares* (HFMA) recientemente reclasificados en el filo Mucoromycota, subfilo Glomeromycotina (Bonfante and Venice, 2020) son prevalentes en los ecosistemas terrestres y en

suelos del neotrópico (Cofré et al., 2019; Stürmer and Kemmelmeier, 2021). La estimación del número de especies de este subfilo no ha sido completamente definida. Se han reportado hasta 244 especies de estos hongos basados en la morfología de esporas (Oehl et al., 2011) y hasta 338 especies tomando como referencia el análisis de ADNr ambiental o por secuencias amplificadas del gen ribosomal (Schussler, 2020). Los HFMA establecen simbiosis con más del 70 % de las plantas terrestres (Brundrett and Tedersoo, 2018) y son un elemento fundamental en los agroecosistemas porque colonizan la mayoría de las plantas de interés agronómico.

A nivel mundial, inóculos comerciales que incluyen propágulos de HFMA están disponibles para la industria agrícola y se han realizado diferentes experimentos para analizar su funcionalidad (Elliott et al., 2020; Frew, 2020). Con el uso de estos productos se incrementa la densidad de HFMA en el suelo para que actúen como bio- fertilizantes y así, promover la movilización de nutrientes que, al ser absorbidos por el micelio extra radical, son transportados a la planta hospedera. La especie de HFMA más utilizada en la inoculación comercial es *Rhizophagus irregularis*.

De manera unilateral, el trabajo con bacterias rizosféricas se ha desarrollado de forma gradual y ascendente, teniendo como finalidad aumentar el rendimiento de los cultivos, disminuir el uso desmedido de fertilizantes minerales y productos químicos y, consecuentemente, reducir la contaminación ambiental. La utilización de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal en la agricultura es una práctica que internacionalmente ha tomado auge en las últimas décadas (Parra et al., 2002).

Dentro de las bacterias asociativas más estudiadas, se encuentran las pertenecientes al género *Azospirillum*, el cual ha sido objeto de estudio desde la década del setenta, pues su inoculación en las plantas conlleva a un aumento

significativo del sistema radical, además de inducir resistencia a agentes patógenos y proveer de elementos tan necesarios como el nitrógeno, inhibe la proliferación de plantas parásitas y produce hormonas que estimulan el crecimiento vegetal, lo que permite un desarrollo más económico y saludable de los cultivo. La habilidad que tiene esta bacteria de colonizar el interior de las plantas y ocupar nichos protegidos contra el oxígeno y otros factores, lo convierten en el grupo más promisorio de diazótrofos asociados con gramíneas y otras plantas no leguminosas. (Parra et al., 2002).

El uso de esta especie de hongos y bacterias como inóculo en la práctica agrícola y también en estudios experimentales, se justifica por diferentes razones, por ejemplo, es una especie presente globalmente en diversos ecosistemas (Savary et al., 2018), puede colonizar de forma efectiva las raíces de la mayoría de las plantas (Brundrett and Tedersoo, 2018) y se establece con éxito después de su inoculación (Köhl et al., 2016).

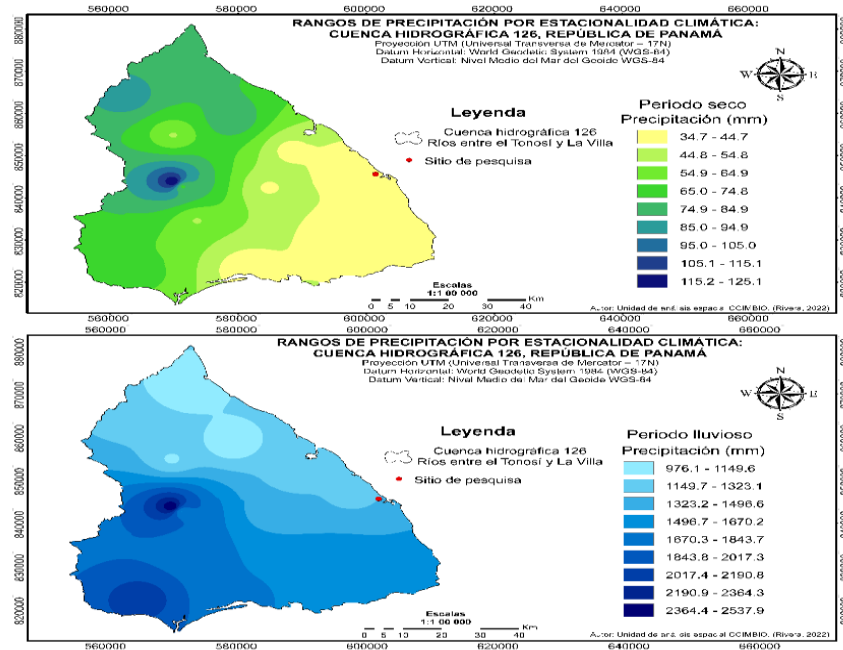
En consecuencia, debido a las características climáticas de la provincia de Los Santos, los productores utilizan la técnica del ensilado para asegurar el suministro de alimento y garantizar el aporte nutricional diario que sus semovientes demandan durante el periodo seco. Es por este motivo, que la investigación tiene por objeto evaluar el efecto de *Rhizophagus irregularis* y *Azospirillum brasilense* en la producción de biomasa de maíz; como una alternativa alimentaria como ayuda a mitigar los estragos que genera el estrés hídrico ambiental en esta región del país.

Materiales y Métodos:

La investigación se realizó en la Finca ARANDA, Corregimiento de Pocrí, Distrito de Pocrí, Provincia de Los Santos (Figura 1) a unos 11 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m).

Figura 1.

Localización de la finca Aranda (sitio de pesquia), y precipitación total por estacionalidad climática.



Fuente: Rivera (2023).

Preparación de suelo: Para esta investigación se utilizó el sistema de labranza convencional, aplicando un control inicial de malezas con el herbicida Bipiridilo Paraquat a dosis 2 L/ Hectárea (ha), seguidamente dos pases cruzados de arado y posteriormente se llevará a cabo la marcación y división de los bloques y tratamientos con cinta y estacas.

Inoculación: Se preparó la semilla con Thiodicarb a razón de 2.8 mL/400g de semilla atendiendo a la dosis recomendada por el fabricante (7mL/Kg), una vez seco el tratamiento insecticida, se procede a humedecer la semilla con agua destilada aplicando los organismos eficientes utilizando la dosis comercial en gramos (g), recomendada por el fabricante (Tabla 1).

Tabla 1

Producto comercial recomendado por el fabricante.

Kg de semilla	Producto	Producto comercial (g)
23	<i>Rhizophagus irregularis</i>	500
23	<i>Azospirillum brasilense</i>	190

Tabla 2

Producto comercial por tratamiento.

Tratamientos	Cantidad de semillas / tratamiento	Cantidad de producto / tratamiento
1. (Testigo)	400g	-
2. (<i>Rhizophagus irregularis</i>)	400g	8.7g
3. (<i>Azospirillum brasilense</i>)	400g	3.3g
4. (<i>Rhizophagus irregularis</i> + <i>Azospirillum brasilense</i>)	400g	8.7g + 3.3g

Siembra: Se realizó a chuzo, cuatro hileras por tratamiento a razón de 0.15 metros (m) entre plantas y 0.90 m entre hileras para una población de 74,000 semillas/ha, a dos granos por golpe para su posterior raleo a una planta por sitio, un control de maleza pre emergente con glifosato a 3 L/ha, más un control pos emergente con Dinitroanilina Pendimentalina (Prowl 45,5 CS) + Atrazina (gesaprim 90 WDG) a los 12 días después de germinación (DDG).

Fertilización: Se utilizó la fertilización recomendada por Gordón (2012), 130 a 200 kg de N/ha, 60 kg de P O /ha, 20 a 2 5 30 kg de K y 20 a 30 kg de S/ha. Estas cantidades de nutrimentos se logran aplicando 5 qq de fórmulas como 13-26-6-7 al momento de la siembra. Para completar la cantidad de

nitrógeno indicada, es necesario aplicar 5.5 a 8.0 quintales (qq) de urea/ha en una o dos aplicaciones (depende de la precipitación). De realizar una sola aplicación la misma se debe realizar de 30 a 35 dds; mientras que, si se realizan en dos fraccionamientos la aplicación de urea, la primera aplicación se realiza de 17 a 21 dds a razón de 2.5 a 3.5 qq/ha y la segunda aplicación de 35 a 40 dds en dosis de 3.0 a 4.5 qq/ha (p. 7).

Cosecha: Se realizó de forma manual por tratamiento, en la etapa de madurez fisiológica, cosechando las dos hileras del medio, cortando la planta desde la base a ras de suelo, para su posterior picado (mediante desmenuzadora a gasolina) y posterior pesaje del material.

Diseño Experimental: El ensayo se llevó a cabo en una superficie total de investigación de 460.8 metros cuadrados (m²), que comprende 5 bloques de tratamientos con 72 m² cada uno, y separados entre sí a 1,75 metros (m). Como unidad experimental se considerarán cuatro hileras de cultivo separadas a 0.90 m con un total de 18 m² por tratamiento, y se tomaron como muestra de análisis las dos hileras centrales con un total de 9 m² cada una, excluyendo las hileras externas como efecto de borde.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar (DBCA), que responde al siguiente Modelo Lineal Aditivo para este experimento (Kuehl, 2001):

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Observación de la respuesta en el nivel o bloque i^{th} , con el bioestimulante j^{th} .

μ = Media poblacional estimada por la media general del ensayo.

τ_i = Efecto del bioestimulante j^{th} .

B_j = Efecto del i^{th} nivel o bloque.

e = Error experimental.

EL análisis de varianza se realizó mediante el Statistical Package

for Social Sciences (SPSS)(Pérez, 2001). Se efectuaron pruebas de comparación de medias para los factores en estudio.

Tabla 3

Forma general de la ANOVA.

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Bloque	$r - 1 = 4$
Tratamiento	$t - 1 = 3$
Error	$(r - 1) (t - 1) 12$
Total	$rt - 1 = 19$

Parámetros evaluados:

- Altura de la planta (cm)
- Diámetro del tallo (cm)
- Largo de la hoja (cm)
- Promedio de hojas
- Rendimiento (t/Ha)
- Bromatología
- Análisis económico

Se efectuaron análisis cuantitativos y cualitativos, observaciones de tipo fitopatológicas (sólo reportada), observación de daños fisiológicos y en el aspecto económico; como el costo de producción. EL análisis de varianza se realizó mediante el Statistical Package for Social Sciences (SPSS). Se efectuaron pruebas de comparación de medias para los factores en estudio (Pérez, 2001).

Resultados:

En la ANOVA general del ensayo para los tratamientos se observa diferencia significativa a nivel sig. 0.05, únicamente, para la variable largo de hoja (Tabla 4).

Tabla 4

ANOVA de los tratamientos.

		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
Altura P	Entre grupos	173,837	3	57,946	,146	,931
	Dentro de grupos	6343,620	16	396,476		
	Total	6517,457	19			
DiamT	Entre grupos	,013	3	,004	,090	,964
	Dentro de grupos	,785	16	,049		
	Total	,798	19			
Lhoja	Entre grupos	161,417	3	53,806	3,536	,039
	Dentro de grupos	243,442	16	15,215		
	Total	404,859	19			
Phojas	Entre grupos	1932,126	3	644,042	1,178	,349
	Dentro de grupos	8751,164	16	546,948		
	Total	10683,289	19			
Rendimiento	Entre grupos	18,604	3	6,201	1,073	,389
	Dentro de grupos	92,496	16	5,781		
	Total	111,100	19			

La prueba de diferencia mínima significativa (DMS) arroja que, para largo de hoja existe diferencia entre los tratamientos testigo y micorriza con respecto a

bacteria/micorriza, presentado las siguientes medias: 56.17 centímetros (cm), 53.81 cm y 48.50 cm, respectivamente (Tabla 5).

Tabla 5

Prueba de diferencia mínima significativa (DMS) para los tratamientos.

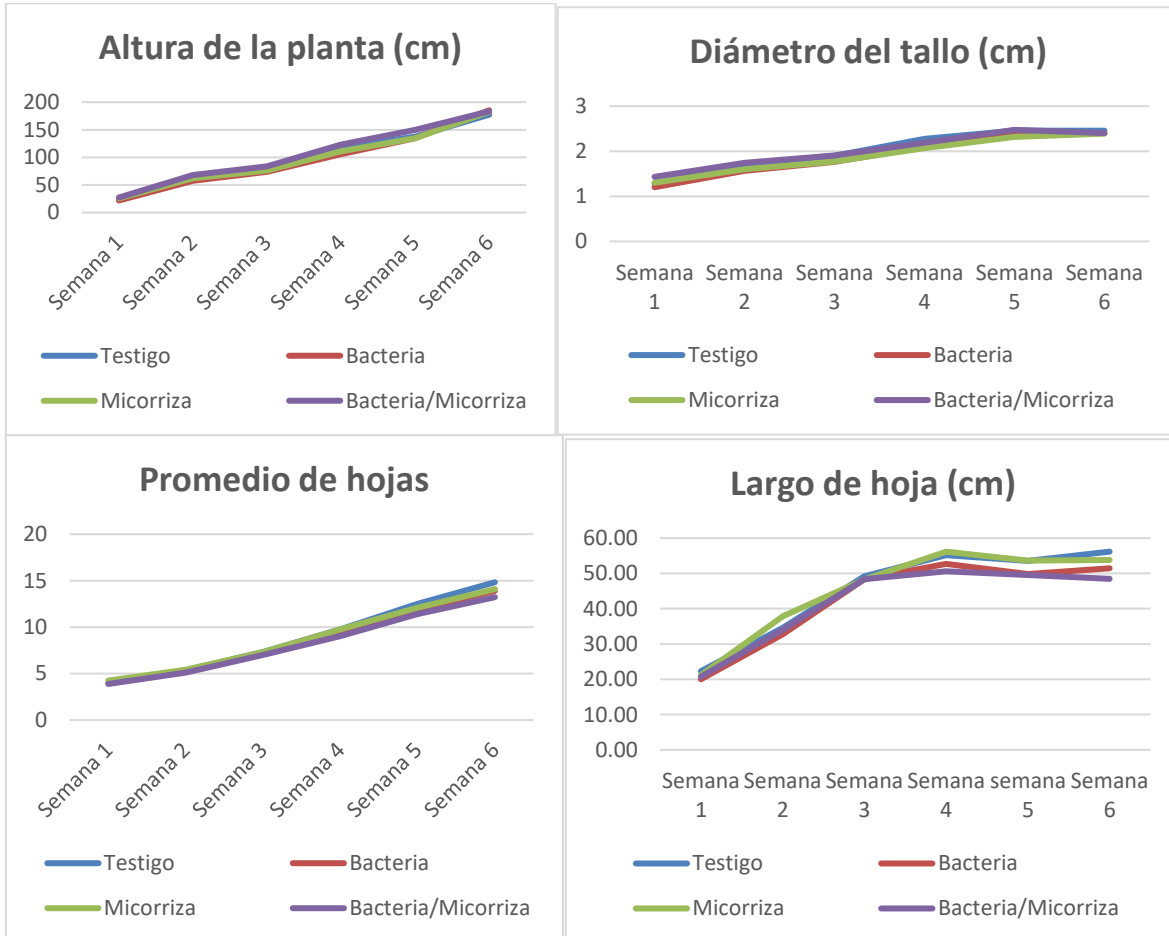
Variable dependiente	(I) Trart	(J) Trart	Diferencia de medias (I-J)	Error estándar	Sig.	95% de intervalo de confianza	
						Límite inferior	Límite superior
Lhoja	DMS Testigo	Bacteria	4,73400	2,46699	,073	-,4958	9,9638
		Micorriza	2,36600	2,46699	,352	-2,8638	7,5958
		Bacteria/micorriza	7,66800 [*]	2,46699	,007	2,4382	12,8978
	Bacteria	Testigo	-4,73400	2,46699	,073	-9,9638	,4958
		Micorriza	-2,36800	2,46699	,351	-7,5978	2,8618
		Bacteria/micorriza	2,93400	2,46699	,252	-2,2958	8,1638
	Micorriza	Testigo	-2,36600	2,46699	,352	-7,5958	2,8638
		Bacteria	2,36800	2,46699	,351	-2,8618	7,5978
		Bacteria/micorriza	5,30200 [*]	2,46699	,047	,0722	10,5318
	Bacteria/micorriza	Testigo	-7,66800 [*]	2,46699	,007	-12,8978	-2,4382
		Bacteria	-2,93400	2,46699	,252	-8,1638	2,2958
		Micorriza	-5,30200 [*]	2,46699	,047	-10,5318	-,0722

En la Figura 2, se observa la tasa de desarrollo semanal para las variables agronómicas medidas durante el ensayo. Donde la variable altura de planta en su media final, registró el mayor valor con la bacteria nitrificadora (185.24 cm) seguido de Bacteria/Micorriza (183.22 cm), Micorriza (182.58 cm) y testigo (177.26 cm). Por otro lado, para la variable diámetro del tallo, se observa el valor más alto en el tratamiento testigo (2.456 cm) seguido de bacteria nitrificadora (2.402 cm), Bacteria/Micorriza (2.4 cm) y Micorriza (2.39 cm). En cambio, con el tratamiento testigo se registró el mayor promedio (15) de hojas por planta seguido de los tratamientos de bacteria y micorrizas (14) y

bacteria/micorrizas (13). Mientras que, en la variable largo de hojas el mayor valor se registró en el tratamiento testigo (56.18 cm), seguido de micorrizas (53.81 cm), bacteria (51.44 cm) y bacteria/micorriza (48.51 cm).

Figura 2

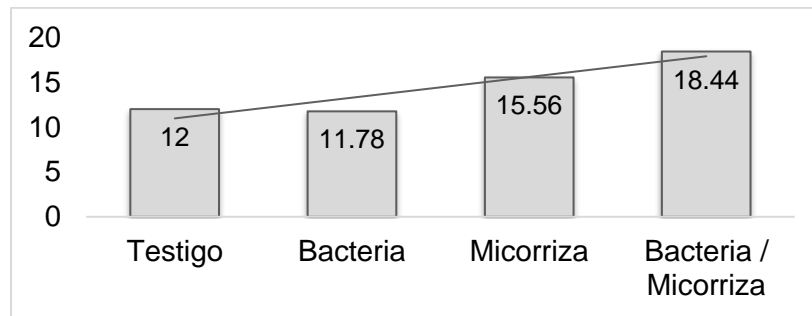
Tasa de desarrollo por tratamiento por semana.



Para la variable rendimiento en toneladas/hectárea (t/ha), el tratamiento Bacteria/Micorriza muestra la mayor media de producción con 18.44 t/ha, seguido de Micorriza con 15.56 t/ha, el testigo con 12 t/ha y la Bacteria con 11.78 t/ha (Figura 4).

Figura 3

Rendimiento en toneladas/hectárea (t/ha).



La ANOVA del ensayo para las variables bromatológicas muestra que no existe diferencia significativa a nivel sig. 0.05, en ninguno de los parámetros evaluados. (Tabla 6).

Tabla 6 ANOVA del análisis bromatológico.

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
MS	Entre grupos	786,600	3	262,200	,495	,691
	Dentro de grupos	8479,600	16	529,975		
	Total	9266,200	19			
Humedad	Entre grupos	802,550	3	267,517	,502	,686
	Dentro de grupos	8523,200	16	532,700		
	Total	9325,750	19			
PC	Entre grupos	21,200	3	7,067	,426	,737
	Dentro de grupos	265,600	16	16,600		
	Total	286,800	19			
FDA	Entre grupos	4982,550	3	1660,850	1,416	,275
	Dentro de grupos	18768,400	16	1173,025		
	Total	23750,950	19			
Lignina	Entre grupos	306,000	3	102,000	2,117	,138
	Dentro de grupos	770,800	16	48,175		
	Total	1076,800	19			
Almidón	Entre grupos	4858,150	3	1619,383	,389	,763
	Dentro de grupos	66658,800	16	4166,175		
	Total	71516,950	19			
TDN	Entre grupos	37,000	3	12,333	1,814	,185
	Dentro de grupos	108,800	16	6,800		
	Total	145,800	19			
EM	Entre grupos	3205,200	3	1068,400	1,197	,343
	Dentro de grupos	14281,600	16	892,600		
	Total	17486,800	19			
Ceniza	Entre grupos	5006,950	3	1668,983	,195	,898
	Dentro de grupos	136661,600	16	8541,350		
	Total	141668,550	19			
Fósforo	Entre grupos	42,550	3	14,183	,559	,650
	Dentro de grupos	406,000	16	25,375		
	Total	448,550	19			
Calcio	Entre grupos	363,750	3	121,250	,649	,595
	Dentro de grupos	2988,000	16	186,750		
	Total	3351,750	19			
Magnesio	Entre grupos	11,200	3	3,733	,526	,671
	Dentro de grupos	113,600	16	7,100		
	Total	124,800	19			

En la tabla 7, se muestran las medias de los resultados del análisis bromatológico, con los parámetros considerados para su evaluación y comparación de resultados.

Tabla 7

Variables evaluadas en el análisis bromatológico.

	Testigo	Bacteria	Micorriza	Bacteria /Micorriza
% Mat. Sec.	41.44	40.14	40.5	41.64
% Hum.	58.56	59.88	59.5	46.96
% PC	6.86	7	6.76	5.26
% FDA	27.74	26.66	26.66	30.52
% Lignina	2.66	2.6	2.32	3.08
% Almidón	29.26	29.96	29.56	18.66
% TDN	66.8	68.2	68.4	65
EM	2.684	2.726	2.936	2.59
% Ceniza	4.086	3.724	3.99	2.934
% Fósforo	0.266	0.264	0.278	0.18
% Calcio	0.15	0.24	0.13	0.124
% Magnesio	0.116	0.108	0.112	0.104

Al realizar el análisis económico se observa que el ingreso en balboas (B/.) por hectárea se registró el mayor valor con el tratamiento Bacteria/Micorriza (2,243.22 B/.), seguido de Micorriza (1,889.72 B/.), testigo (1,000.22 B/.) y bacteria nitrificadora (933.72 B/.). Por otro lado, en el costo por tonelada se observa el valor más alto en el tratamiento bacteria nitrificadora (120.74 B/.), seguido del testigo (116.65 B/.), Micorriza (85.89 B/.) y Bacteria/Micorriza (78.35 B/.). En cambio, en la relación beneficio/costo el mayor valor se presenta en el tratamiento Bacteria/Micorriza (2.55), seguido de Micorriza (2.33), testigo (1.71) y bacteria nitrificadora (1.66). De igual manera, en el porcentaje (%) de rentabilidad el mayor valor se registró en el tratamiento

Bacteria/Micorriza (155.26 %), seguido de Micorriza (132.86 %), testigo (71.45 %) y bacteria nitrificadora (65.65 %) (Tabla 8).

Tabla 8

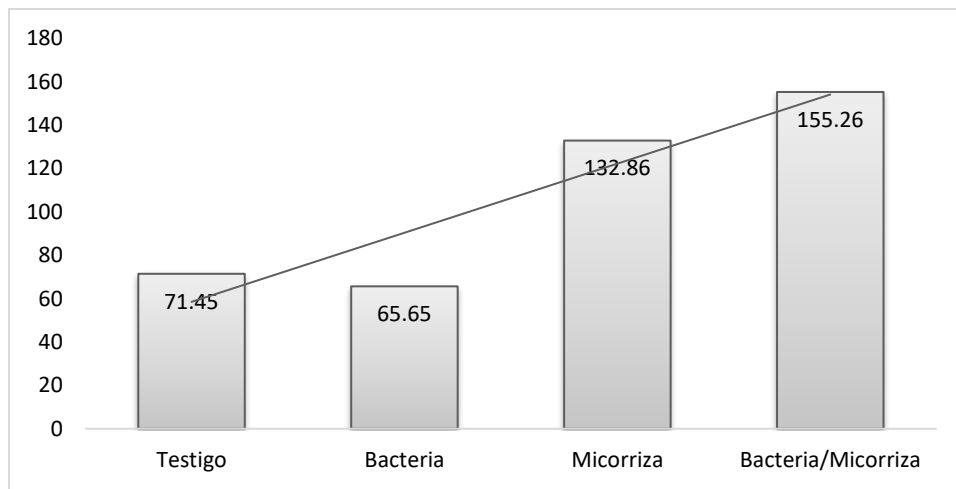
Análisis económico

Tratamiento	Rendimiento tonelada por hectárea	Ingreso por hectárea B/.	Costo tonelada	Relación beneficio/costo	Rentabilidad %
Testigo	12	1,000.22	116.65	1.71	71.45
Bacteria	11.78	933.72	120.74	1.66	65.65
Micorriza	16.56	1,889.72	85.89	2.33	132.86
Bacteria/Micorriza	18.44	2,243.22	78.35	2.55	155.26

En la Figura 4, se observan el comportamiento gráfico de la rentabilidad, basados en el rendimiento medio de los tratamientos evaluados.

Figura 4

Porcentaje de Rentabilidad.



Discusión:

Considerando las variables agronómicas evaluadas en el ensayo, solo se presentó diferencia estadística a nivel 0.05 para el largo de hoja, lo que representa una estabilidad en todos los tratamientos en el comportamiento agronómico de la producción de silo con el híbrido simple P30-F35.

En la prueba de DMS, se observa que existe diferencia altamente significativa a nivel 0.05 con respecto al testigo y diferencia significativa con la micorriza, sin embargo, la bacteria no presenta diferencia con ninguno de los tratamientos, a pesar de esto, al observarse variaciones en un solo parámetro, se corrobora la estabilidad en el comportamiento agronómico del material indistintamente del tratamiento aplicado.

A pesar de que el modelo nos muestra que no existe diferencia estadística en el parámetro rendimiento para ninguno de los tratamientos, es importante destacar que, la diferencia en productividad del tratamiento (bacteria/micorriza), es 2.9 veces mayor que el tratamiento que lo precede (Micorriza) y 6.6 con respecto al tratamiento con menor media (Bacteria), lo que representa una disimilitud económica en la aplicación o no de la tecnología.

Cabe destacar que, el rendimiento (18.44 t) en biomasa obtenido para el tratamiento bacteria/micorriza dista considerablemente del reportado (35 t) por Wilcox y Rivera (2021). Es importante considerar que la presente investigación fue realizada en época seca y los resultados de contraste fueron obtenidos en época de lluvia, lo cual indica una disminución importante en el rendimiento de material P30-F35 dependiendo del momento de producción.

En el análisis bromatológico (Tabla 7) para todos los tratamientos en estudio, el parámetro porcentaje de materia seca (%MS) presenta valores por

debajo de la concentración (44.20%) propuesta por Gingis, (2013). Contrario a esto, evaluando el rango (33-35%) presentados por Demanet (2019), los datos obtenidos en este ensayo se consideran por encima de lo establecido para silo de maíz.

Con respecto al parámetro porcentaje de humedad, los tratamientos testigo, bacteria y micorriza presentan valores congruentes con los propuestos por Gingis, (2013), contrariamente, en el tratamiento Bacteria/Micorriza se observa por debajo de los expresados por el autor.

El porcentaje de proteína cruda (%PC) y porcentaje de almidón (%almidón), presentan concentraciones menores a los reportados por Gingis, (2013), contrario a esto, el porcentaje de magnesio (%Magnesio) se observa en niveles por encima de lo establecido.

El porcentaje de fibra detergente acida (%FDA), lignina, nutrientes digestibles totales (%TDN) y la energía metabolizable (EM) para todos los tratamientos, se encuentran en valores cercanos a los presentados (2.36) por Gingis, (2013), por el contrario, en el rango (2.80 - 3.20) presentado por Demanet (2019), para el parámetro EM solo en el tratamiento Micorriza muestra cifra admisible al contenido del silo de maíz.

En cuanto al porcentaje de ceniza (% Ceniza) y porcentaje de fósforo (% Fósforo) los datos presentados en este ensayo son similares a los resultados obtenidos por Gingis, (2013) en tres de los tratamientos (Testigo, bacteria y micorriza), para el tratamiento bacteria/micorriza los números están por debajo del rango.

El porcentaje de calcio (% Calcio) en el tratamiento con bacteria nitrificadora, el valor es parecido al obtenido por Gingis, (2013); mientras que, los datos de los tratamientos testigo, micorriza y bacteria/micorriza está por debajo del rango.

Evaluando los datos del análisis económico presentado en la Tabla 8, el valor más alto de ingresos por hectárea (2,243.22 B/.) se presenta en el tratamiento Bacteria/Micorriza seguido de Micorriza, Testigo y Bacteria, con diferencias de 375.50 B/., 1243.00 B/ y 1309.50 B/., respectivamente, al mayor ingreso. Para Relación beneficio/costo el valor más alto (2.55) se presenta en el tratamiento Bacteria/Micorriza seguido de Micorriza, Testigo y Bacteria, con diferencias de 0.22, 0.84 y 0.89, respectivamente, al mayor costo/beneficio. En el Porcentaje de rentabilidad el valor más alto (155.26 %) se presenta en el tratamiento Bacteria/Micorriza seguido de Micorriza, Testigo y Bacteria, con diferencias de 22.4 %, 83.81% y 89.61% con respecto a la mayor rentabilidad.

Atendiendo al rendimiento reportado en el ensayo presentado por Wilcox y Rivera (2021), donde no se utilizó organismos eficientes en la producción, sería recomendable realizar investigaciones aplicando la tecnología planteada en este ensayo y evaluar los resultados en la época de lluvia.

En cuanto a la fertilización, los preceptos aportados por Elliott et al., (2020); Frew, (2020) y Parra et al., (2002), sobre la capacidad de disminución de los fertilizantes minerales con el uso de organismos eficientes, la evaluación de distintos niveles de abonamiento combinados con biofertilizantes es imperante en aras de una agricultura sustentable ecológica y económicamente.

Conclusiones:

Atendiendo al objetivo general de esta investigación, evaluar el efecto de *Rhizophagus irregularis* y *Azospirillum brasilense* en la producción de biomasa de maíz. Estadísticamente, se acepta la hipótesis nula (H_0), ya que, solo se presentó diferencia significativa en el parámetro largo de hoja, sin embargo, no existió diferencia significativa a nivel 0.05 en los parámetros rendimiento y bromatología.

A pesar de esto, es importante considerar el análisis económico, donde se observa una marcada diferencia en el ingreso por hectárea, relación costo/beneficio y el porcentaje de rentabilidad, dando como resultado positivo la aplicación del tratamiento Bacteria/Micorriza. Considerando lo anteriormente expresado, es recomendable el uso de *Rhizophagus irregularis* y *Azospirillum brasilense* en la producción de biomasa de maíz.

Referencias bibliográficas:

- Bonfante, P. y Venice, F. (2020). *Mucoromycota: Going to the roots of plant-interacting fungi*. *Fungal Biology Reviews*,. <https://doi.org/10.1016/j.fbr.2019.12.003>
- Brundrett, M. y Tedersoo, L. (2018). *Evolutionary history of mycorrhizal symbioses and global host plant diversity*. *New Phytologist*, <https://doi.org/10.1111/nph.14976>
- Cofré, P. y John E. (1998). *Ensilaje de Maíz*. INIA bit.ly /3sMIWB6.
- Demagnet, R. (2017). *Ensilaje de Maíz. "Tiempo entre Sellado y Apertura"*. Plan Lechero WATT'S N° 3. Universidad de La Frontera. bit.ly /3GTC9uu
- Demagnet, R. (2019). *Manual de especies forrajeras*. <https://goo.su/Cs8CE>
- Demagnet, R. y Canales, C. (2020). *Manual. Cultivo del maíz para ensilaje*. bit.ly /3BtZMZh
- Elliott, A. Daniell, T. Cameron, D. y Field, K. (2020). *A commercial arbuscular mycorrhizal inoculum increases root colonization across wheat cultivars but does not increase assimilation of mycorrhiza- acquired nutrients*. *Plants, People, Planet*. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10094>

- Frew, A. (2020). *Contrasting effects of commercial and native arbuscular mycorrhizal fungal inoculants on plant biomass allocation, nutrients, and phenolics*. *Plants, People, Planet*. <https://doi.org/10.1002/ppp3.10128>
- Gálvez, R. y Rodríguez, I. (2009). MIDA - FAO. *Programa Nacional de Zonificación Agro-Ecológica. Resultados de la Zonificación Agro-Ecológica de 20 Especies de Pastos y Forrajes en la República de Panamá*. bit.ly/3BowETg
- Gingis, M. (2013). Gordón, R. (2012). *Cómo interpretar un análisis de ensilaje de maíz*. <https://goo.su/xZ02HI>
- Manejo Integrado del Cultivo de Maíz. Guía Técnica. Instituto de Investigación Agropecuaria de Panamá. Impresora Central S. A. Panamá
- Hernández R. Fernández C. y Batista P. (2014). *Metodología de la Investigación 6a Edición*. Recuperado de <https://www.uca.ac.cr>
- Köhl, L. Lukaszewicz, C. y Vander H. (2016). *Establishment and Effectiveness of Inoculated Arbuscular Mycorrhizal Fungi in Agricultural Soils*. *Plant, Cell and Environment*, <https://doi.org/10.1111/pce.12600>
- Kuehl, R. (2001). *Segunda Edición. Diseño de Experimentos Principios Estadísticos para el Diseño y Análisis de Investigación*. THOMSON EDITORES, S. A. México.
- Muñoz A. (Marzo 2020). *Hablemos de ensilaje de maíz. Su importancia como recurso forrajero y la relevancia del monitoreo periódico*. *Revista Infortambo Lechería Chile*. Edición 202, 34-38. bit.ly/3gPosBZ
- Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA). (2021). *Producción de leche en Panamá a buen ritmo decrecimiento*. bit.ly/3l7GrQ
- Oehl, F. Sieverding, E. Palenzuela, J. Ineichen, K. Da silva y Gladstone A. (2011). *Advances in Glomeromycota taxonomy and classification*. IMA Fungus, <https://doi.org/10.5598/imafungus.2011.02.02.10>
- Parra, Y. Cuevas, F. (2002). *Potencialidades de Azospirillum como inoculante para la agricultura Cultivos Tropicales*. <https://www.redalyc.org/pdf/1932/193218120004.pdf>

- Pérez, C. (2001). *Técnicas Estadísticas con SPSS*. PERSON EDUCACION, S. A. Madrid.
- Rivera-Solís, J.A. (2021). Depósitos eólicos del trópico húmedo: Caso de la franja marino-costera del este de la Península de Azuero, Panamá. *Rev. Geográfica América Central*. 66, 79–105. DOI: <https://doi.org/10.15359/rgac.66-1.4>
- Rivera-Solís, J.A. (2023). Estimación de la Capacidad Erosiva de Lluvia según Índice Modificado de Fournier: Caso de la Cuenca Hidrográfica 126, República de Panamá. *Gobernanza, Comunidades Sostenibles & Espacios Portuarios*. (pp. 1291 – 1307). España. Editorial/ Asociación de Geógrafos Españoles (AGE). DOI: <https://doi.org/10.21138/dl/2023.lc>.
- Savary, R. Masclaux, F. Wyss, T. Droh, G. CruzJ. Machado, A. Morton, J. y Sanders, I. (2018). *A population genomics approach shows widespread geographical distribution of cryptic genomic forms of the symbiotic fungus Rhizophagus irregularis*. <https://academic.oup.com/ismej/article/12/1/17/7501425>
- Schussler, A (2020). *Glomeromycota species list. Glomeromycota: Phylogeny and Taxonomy of Glomeromycota (Arbuscular Mycorrhizal (AM) and Related Fungi)*. <http://www.amf-phylogeny.com/>
- Stürmer, S. y Kimmelmeier, K. (2021). *The Glomeromycota in the Neotropics*. *Frontiers in Microbiology*, <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.553679>
- Valencia, A. Hernández, A. y López, L. (Mayo•Agosto 2011). El ensilaje: ¿qué es y para qué sirve. *Revista de Divulgación Científica y Tecnológica de la Universidad Veracruzana*. Volumen XXIV, Número2, 9. bit.ly/3gN0ojn
- Wilcox, F. y Rivera, J. (2021). Evaluación de rendimiento en biomasa de cuatro cultivares de maíz: caso de la cuenca baja del río Purio, provincia de los santos, año 2021. *Revista Tecnociencia*. Vol. 25, N°2: 81-104. Julio a diciembre 2023. ISS L 2415-0940