

Efecto de diferentes tipos de fertilizantes en el crecimiento del maíz criollo, Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquia

Effect of different types of fertilizers on the growth of Creole corn, Capachi morado, in the municipality of Andes, Antioquia

Karen Tatiana Cardona Restrepo¹; Esteban Augusto Escobar Posada¹
Liliana Andrea Ramírez Franco¹; Juan Felipe Rivera Hernández¹

Recibido para publicación: julio 06 de 2021- Aceptado para publicación: noviembre 10 de 2021

RESUMEN

El genotipo de maíz criollo Capachi morado, ha sido conservado y cultivado en el municipio de Andes, Antioquia; sin embargo, existen pocos estudios sobre su comportamiento en la zona. El objetivo de la investigación fue evaluar el crecimiento del maíz Capachi morado en respuesta a la aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes. Se realizó un diseño completamente al azar, con 6 tratamientos y 12 repeticiones. Los tratamientos empleados fueron: Tratamiento 1 (micorriza 30 g/planta). Tratamiento 2 (fertilizante orgánico mineral BP-150, aplicando 30, 40 y 50 cm³/planta. Tratamiento 3 (micorrizas + BP-150). Tratamiento 4 (Triple 15, aplicando 5, 10 y 15 g/planta). Tratamiento 5 (micorrizas + Triple 15) y Tratamiento 6 (Testigo). Las aplicaciones de Triple 15 y BP-150, se realizaron a los 14, 29 y 43 días después de la siembra, respectivamente. El ensayo fue establecido durante 58 días, se midieron las variables altura de la planta, diámetro de la copa y longitud de raíz. A su vez, se determinaron los datos de Materia Seca (MS) y Área Foliar (AF), para estimar los índices de crecimiento, Índice de Área Foliar (IAF), Tasa de Asimilación Neta (TAN) y Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC). Los tratamientos que obtuvieron mejores resultados en cuanto a las variables altura de la planta, diámetro de la copa, MS, AF, TAN y TCC fueron el T4 (Triple 15) y T5 (Triple 15 más micorrizas). Se concluyó que, la aplicación de fertilizante químico con las dosis recomendadas promueve el crecimiento de las plantas de maíz Capachi morado.

Palabras clave: Biofertilizante; Hongo micorrizal; Tasa de Asimilación Neta, Nutrición mineral.

ABSTRACT

The Capachi morado creole maize genotype has been conserved and cultivated in the municipality of Andes, Antioquia; however, there are few studies related to its performance in the area. The objective of the research was to evaluate the growth of Capachi morado maize in response to different fertilizer sources amendment. A complete randomized design was used with 6 treatments and 12 replicates. The treatments were: Treatment 1 (mycorrhizae 30 g plant⁻¹). Treatment 2 (organic mineral fertilizer BP-150, at 30, 40 and 50 cm³plant⁻¹). Treatment 3 (mycorrhizae + BP-150). Treatment 4 (Triple 15 at 5, 10 and 15 g plant⁻¹). Treatment 5 (mycorrhizae + Triple 15) and Treatment 6 (Control). The amendment with Triple 15 and BP-150 were made at 14, 29 and 43 days after planting, respectively. The trial lasted for 58 days, the evaluated variables were plant height, canopy diameter and root length. Dry matter (DM) and Leaf Area (LA) data were recorded to estimate growth rate, Leaf Area Index (LAI), Net Assimilation Rate (NAR) and Crop Growth Rate (CGR). The treatments that showed the best results with respect to plant height, canopy diameter, DM, LA, NAR and CGR were T4 (Triple 15) and T5 (Triple 15 plus mycorrhizae). Amendment with chemical fertilizer at recommended doses promotes growth of Capachi morado maize plants.

Key words: Biofertilizer; Mycorrhizal fungi; Mineral nutrition; Net Assimilation Rate.

Cómo citar

Cardona Restrepo, K. T., Escobar Posada, E. A., Ramírez Franco, L.A. y Rivera Hernández, J. F. 2021. Efecto de diferentes tipos de fertilizantes en el crecimiento del maíz criollo, Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquia. *Temas Agrarios* 26(2): 140-151 <https://doi.org/10.21897/ta.v26i2.2847>



Temas Agrarios 2021. Este artículo se distribuye bajo los términos de la Licencia Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/deed.es>), que permite copiar, redistribuir, remezclar, transformar y crear a partir del material, de forma no comercial, dando crédito y licencia de forma adecuada a los autores de la obra.

INTRODUCCIÓN

En Colombia, el maíz es el tercer cultivo con mayor superficie de siembra después del café y el arroz, tiene una dimensión social importante en la alimentación de millones de colombianos, aportando el 9% del suministro diario de energía de su dieta. (FENALCE, 2019). En la actualidad, la implementación de cultivos intensivos ha generado la pérdida de semillas nativas de gran valor, así lo afirma Betancur (2018). Por lo tanto, es importante realizar estudios que evalúen el crecimiento de estos materiales nativos con aplicaciones de diferentes fuentes de fertilización, en especial en la zona de estudio, donde se ha cultivado tradicionalmente.

Los nutrientes que mayormente limitan la productividad del cultivo de maíz son el nitrógeno (N) y el fósforo (P), es por este motivo que uno de los pilares fundamentales para optimizar la producción es el manejo de esos nutrientes. No obstante, para suplir estos elementos, se aplican fertilizantes químicos que generan altos costos en la producción (Mora y Leblanc, 2012). Según Morejon *et al.* (2017), la inversión en la fertilización en este cultivo, represente aproximadamente el 30 % de los costos de la producción de las áreas con riego y hasta el 60% en áreas de secano.

Por ello es pertinente, evaluar otras alternativas de fertilización, tales como fertilizantes orgánicos y biofertilizantes a base de micorrizas. Por consiguiente, la utilización de fertilizantes orgánicos también es una opción que permite disminuir el uso de agroquímicos y mejorar las propiedades del suelo. Así lo afirma Arango (2017), los abonos orgánicos tienen efectos importantes sobre el mejoramiento y productividad de los suelos, especialmente sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas de este importante recurso. La aplicación de abonos orgánicos puede aportar a las

plantas los requerimientos nutricionales que estas necesitan, además pueden aumentar la cantidad de microorganismos en el suelo, así como mejorar sus características físicas (Ramos *et al.*, 2016). Por otra parte, diversos estudios han demostrado que los abonos orgánicos pueden ser aplicados combinados con fertilizantes inorgánicos (N, P, K); lo cual se constituye en una alternativa de manejo (Arrieche y Ruiz, 2014).

En cuanto a los biofertilizantes a base de micorrizas, se han adelantado estudios sobre los beneficios de estas aplicaciones. La existencia de relaciones simbióticas con hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), promueven la captación de nutrientes en especial de aquellos que tienen escasa movilidad tales como el fósforo y el nitrógeno, favoreciendo de esta manera el crecimiento y la producción vegetal (Rodríguez *et al.*, 2015). Estudios realizados por Mora *et al.* (2012) aseguraron que aplicando el hongo *Glomus fasciculatum* se puede disminuir la dosis de fósforo, además las plantas presentaron mayor altura y biomasa en el cultivo de maíz.

Con base en lo anterior, el objetivo general fue evaluar el crecimiento de maíz capachi morado en respuesta a diferentes dosis de micorrizas, fertilizante orgánico y químico en Andes, Antioquia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El estudio se realizó durante el primer semestre del año 2021 en el departamento de Antioquia, municipio de Andes en el corregimiento de San Bartolo, finca “La Primavera”, la cual está ubicada a 1762 msnm, con una temperatura promedio de 22 °C y una humedad relativa de 60 %; se encuentra a una distancia de 9 km del casco urbano del municipio. El sitio de estudio presenta las siguientes coordenadas 5°38'42" N 75°50'59" W (Google Earth, 2021).

Según las condiciones medioambientales en las que se desarrolló la investigación, la zona de vida del corregimiento se denomina bosque húmedo premontano (bh-PM) (Corantioquia, 2005).

Siembra del material vegetal. Para este experimento, se evaluó semilla de maíz nativo propia de la región, esta es conocida por los productores como maíz capachi morado, la cual se obtuvo directamente de un agricultor de la zona, quien la ha conservado por varios años. El experimento se realizó a campo abierto llevando a cabo la siembra en bolsas de 2,5 kg, utilizando sustrato previamente esterilizado mediante tratamiento físico con agua hirviendo y bajo cubierta durante 5 días. Se realizaron las labores culturales propias del cultivo, como manejo de arvenses, manejo fitosanitario y aporque entre otras prácticas.

El análisis del suelo base del sustrato utilizado dio como resultados: una textura arenosa franca, un pH de 6,55 y un contenido de materia orgánica del 7,99%; 35,69 cmol/kg de Ca; 9,32 cmol/kg de Mg; 0,83 cmol/kg de K; 44,38 cmolc(kg de S y un aporte de microelementos de 6,47 mg/kg de Cu; 229,40 mg/kg de Fe; 18,79 mg/kg de Mn; 39,58 mg/kg de Zn y 0,39 mg/kg de B, respectivamente realizado por el laboratorio de suelos de los Andes Cooperativa.

Diseño experimental. Se empleó un diseño completamente aleatorizado (DCA), con 6 tratamientos y 12 repeticiones por cada tratamiento. A continuación, se explican los tratamientos empleados.

Tratamiento 1 (T1). Sustrato con 30 g de micorrizas por planta al momento de siembra.
Tratamiento 2 (T2). Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150) (30, 40 y 50 cm³/planta), estas dosis se aplicaron dependiendo de la fenología de la planta a los 14, 29 y 43 días, respectivamente, después de la siembra.

Tratamiento 3 (T3). Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150 (30,40 y 50 cm³) /planta, esta aplicación se dividió en dos procesos, por un lado, la aplicación de las micorrizas se realizó al momento de la siembra y por el otro lado el BP-150 se aplicó en diferentes etapas de crecimiento de la planta a los 14, 29 y 43 días, respectivamente después de la siembra.

Tratamiento 4 (T4). Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta), estas dosis se aplicaron dependiendo de la fenología de la planta a los 14, 29 y 43 días, respectivamente después de la siembra.

Tratamiento 5 (T5). Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta), esta aplicación se divide en dos procesos, por un lado, la aplicación de las micorrizas se realizó al momento de la siembra y por el otro lado el triple 15 se aplicó en diferentes etapas de crecimiento de la planta a los 14, 29 y 43 días, respectivamente después de la siembra.

Tratamiento 6 (T6). (Testigo) sólo con sustrato.

El T1, T3 y T5 fueron tratados con micorrizas al momento de la siembra. El producto comercial de micorrizas empleado, contenía las siguientes especies: *Glomus fasciculatum*, *Scutellospora heterogama*, *Glomus mosseae*, *Glomus manihotis*, *Acaulospora rugosa* y *Entrophospora* colombiana; con una concentración de 300 esporas por gramo.

Variabes. Las variables alométricas de crecimiento, fueron medidas con una frecuencia semanal, durante las primeras siete semanas, determinándose el diámetro de la copa y altura de la planta. Las plantas fueron cosechadas a los 28, 42 y 58 días después de la siembra, esto dado a que en esos rangos de tiempo se estipulaba que las plántulas de maíz podían haber asimilado las aplicaciones de los fertilizantes. Se tomaron cuatro plantas al azar por tratamiento y se evaluaron las siguientes variables: Área foliar

(AF), la cual se midió con el equipo portátil LI-COR Model LI-3000C, Materia seca (MS) este valor se obtuvo secando las muestras en Horno Binder ED53 Serial 13-1617 a 70° Celsius durante siete días. Posteriormente, se calculó la longitud de raíces midiendo desde el cuello hasta la raíz más larga con cinta métrica.

Con el AF y MS, se calcularon los parámetros de crecimiento, tales como: Índice de Área Foliar (IAF), mediante la fórmula propuesta por Gardner *et al.* (2003) el IAF permite medir la relación entre la superficie asimilatoria (el follaje extendido) y la superficie de suelo ocupada por ese follaje, expresa la magnitud del área que el cultivo expone a la radiación solar incidente para que realice la fotosíntesis (Jarma *et al.*, 2010).

La Tasa de Asimilación Neta (TAN), se obtuvo gracias a la fórmula de Field *et al.* (1996); este parámetro correlaciona positivamente con la tasa de abastecimiento de nutrientes que permite la eficiencia de los órganos asimilatorios en producir nuevo crecimiento; refleja la asequibilidad de recursos (especialmente luz) y desarrollo de la hoja.

Finalmente, la Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC) hallada con la multiplicación del IAF por La TAN.

Análisis de datos. Para las variables altura, diámetro de la copa, longitud de raíz y AF, luego de la transformación indicada por el método de Box y Cox (1964), los datos fueron analizados por ANOVA, y cuando fueron significativos, se realizó una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Tukey. El nivel de significancia considerado fue del 5% de probabilidad. Los análisis se realizaron mediante el software R 4.0.2 (R core Team, 2020), utilizando los paquetes agrícolas (De Mendiburu, 2017), openxlsx 4.1.0 y car (Fox y Weisberg, 2019).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico de la altura de la planta demostró diferencias significativas a partir de la semana 4 (día 36) ($p < 0,05$) hasta la semana quinta, sexta y séptima ($p < 0,01$) encontrando que el T1 (micorrizas) tuvo un menor desempeño con respecto a los demás tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Efecto de los tratamientos en la altura semanal del maíz, variedad Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquía

Tratamientos.	Sem.1	Sem.2	Sem.3	Sem.4	Sem.5	Sem.6	Sem.7				
T1	6,70	11,22	17,05	22,04	b1	22,70	b	26,40	b	30,05	c
T2	7,53	12,04	18,69	24,23	ab	26,05	ab	29,35	B	34,00	c
T3	6,73	11,73	18,05	23,10	b	26,60	ab	32,35	ab	38,15	bc
T4	7,78	11,15	19,06	29,06	ab	45,60	a	58,33	A	97,15	a
T5	7,03	11,27	20,13	30,49	a	43,40	a	56,20	A	95,30	ab
T6	8,29	12,53	18,40	24,10	ab	28,95	ab	36,15	ab	42,10	abc
Significancia	0,071ns	0,618 ns	0,218 ns	0,019*	0,007**	0,002**	0,004**				

Medias con letras iguales en sentido vertical, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey = 0,05). Sem= semana, Ns= no significativo, *0= significativo al 5 %, **=significativo al 1%. T1= Sustrato con 30 g de micorrizas por planta, T2 = Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3 = Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4= Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta). T5= Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta). T6 = .(Testigo) sólo con sustrato.

Como se observa en la figura 1a el T4 y T5 obtuvieron un mejor resultado en cuanto a la altura de la planta, lo que coincide con lo encontrado por Morejón *et al.* (2017), quienes encontraron una mejor respuesta en cuanto a la altura de la planta de maíz transgénico FR-Bt1 de (*Zea mays* L.) aplicando fertilización química con un 75 % NPK + EcoMic®+ FitoMas®-E seguido de 100 % NPK (202,2 cm y 200,2 cm respectivamente). Asimismo, en investigaciones por Martínez *et al.* (2018) informa que con diferentes aplicaciones de

N, P y K en maíz, dando como resultado que el mejor tratamiento para la altura de la planta fue la fertilización química, 160-46-30, seguido de *Azospirillum brasilense* + 80-23-15 y *Azospirillum brasilense* + 160-46-30, obteniendo la menor altura el testigo absoluto. Finalmente se encuentra que, para el estudio desarrollado en maíz híbrido por Barrera *et al.* (2017), no hubo diferencias significativas en cuanto a altura de la planta, número de hojas, MS y AF.

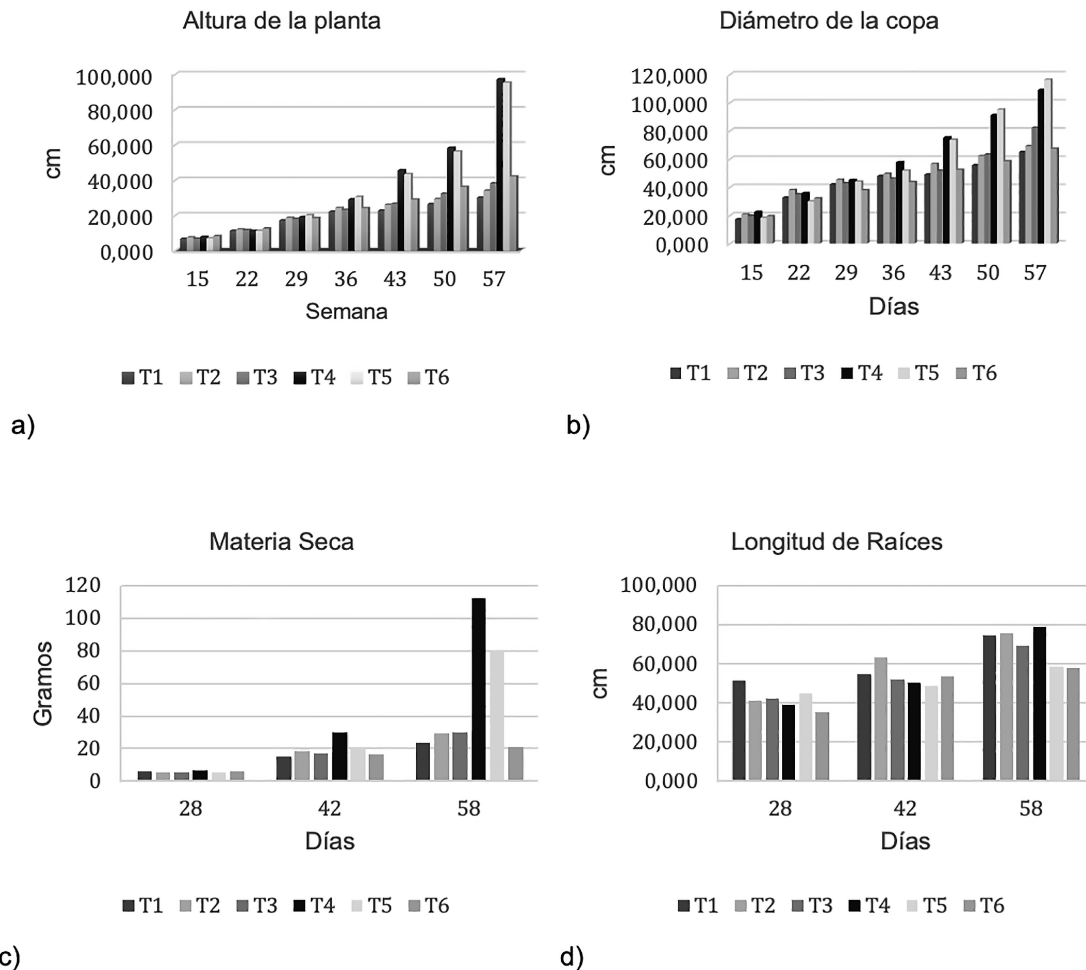


Figura 1. Variables de crecimiento para maíz Capachi morado en respuesta a la aplicación de diferentes fuentes de fertilizantes **a).** Altura de la planta. **b).** Diámetro de la copa. **c).** Materia seca. **d).** Longitud de raíces. T1. Sustrato con 30 g de micorrizas por planta. T2. Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3. Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4. Suelo con fertilizante mineral triple quince (5, 10, 15 g/planta). T5. Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5, 10, 15 g/planta). T6 (Testigo) sólo con sustrato.

Longitud de raíces

Al realizar el análisis estadístico con respecto a la longitud de raíces se presentaron

diferencias significativas en la semana tres, entre el T1 con respecto al T6 (Tabla 2).

Tabla 2. Efecto de los tratamientos en la longitud de raíz y área foliar de la variedad Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquia.

Tratamientos	Sem.3	Sem.5	Sem.7	Sem.3	Sem.5	Sem.7
	Longit. Raiz	Longit. Raiz	Longit. Raiz	Área Foliar	Área Foliar	Área Foliar
T1	51,65 a ¹	54,65	74,62a	366,93a	611,45	1005,47
T2	41,27ab	63,50	75,87a	320,80a	736,42	1253,94
T3	42,15ab	51,85	69,25a	326,76a	677,76	1298,11
T4	39,03ab	50,20	78,77a	487,45a	1287,00	4473,27
T5	44,85ab	49,00	58,50a	412,58a	796,54	3219,80
T6	35,55b	53,75	58,05a	489,46a	712,88	799,02
Significancia	0,018*	0,203 ^{ns}	0,012*	0,018*	0,268 ^{ns}	0,340 ^{ns}

Medias con letras iguales en sentido vertical, no difieren estadísticamente entre sí (Tukey = 0,05). Sem= semana, ns= no significativo, *0= ignificativo al 5 %, **=significativo al 1%. T1= Sustrato con 30 g de micorrizas por planta, T2 = Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3 = Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4= Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta). T5= Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta). T6 = .(Testigo) sólo con sustrato.

De igual manera el T2 y T4 arrojaron los mejores resultados con respecto a esta variable. Los tratamientos que tuvieron los rendimientos más bajos durante los días evaluados fueron el T5 (Triple 15 más micorrizas) y el T6 (Figura 1d). Estos datos son soportados por Montejó (2014) quien evaluando plantas de maíz no obtuvo diferencias significativas en la longitud de raíces a los 30, 45 y 60 días, sin embargo, los tratamientos Micorriza y *Azospirillum* (MA), Micorriza y *Azospirillum* + Fertilizante químico 50% (MA+FQ50%) y (Testigo) presentaron un aumento en la longitud de las raíces comparado con (FQ100%). Posteriormente Montejó *et al.* (2018) encontraron que los tratamientos de FQ100% y MA+FQ50% obtuvieron una mayor producción y longitud de raíces finas, en comparación con las otras aplicaciones. Algunos investigadores tales como Baéz *et al.* (2018) afirman que la aplicación de 300 mL de micorrizas y sanialgas® en el suelo para maíz forrajero, permite una mayor exploración de las raíces para la captación de nutrientes.

Diámetro de la copa y Materia Seca (MS)

En los resultados obtenidos con respecto al diámetro de la copa, se puede observar que el T5 seguido del T4 obtuvieron los mayores valores con medidas de 116,12 y 108,88 cm en la semana siete tal y como se observa en

la figura 1b, no obstante, para esta variable no se observaron diferencias significativas en cuanto a la aplicación de los tratamientos, a excepción de la semana 2 donde se presentó diferencias entre el T2 y T5 (Tabla 3). Además, se observó que el tratamiento que tuvo el comportamiento más bajo fue el T1, el cual estuvo por debajo del testigo.

Al analizar la MS, los tratamientos con mejor respuesta fueron el T4, seguido del T5 a los días 58 días de evaluación, con pesos por planta de 112,59g y 80,26g respectivamente, estos datos fueron mucho mayores comparados con el testigo que obtuvo un valor de 21,04 g, tal y como se puede ver en la figura 1c. Estos resultados concuerdan con lo encontrado por Gaviria (2016) quien expresa que en los primeros 64 días después de la siembra, la MS se comporta de manera ascendente y luego esta tiende a disminuir o mantenerse constante, para el estudio de este autor, la producción de masa seca en el cultivo de maíz, alcanza su máximo punto de acumulación en el día 78, además que presenta los aumentos más significativos sobre los días 43 y 71 después de la siembra. Sánchez *et al.* (2012) expresa que la acumulación de MS por una población de plantas de maíz, depende principalmente del total de carbono fijado y de la intercepción de radiación fotosintéticamente activa, además

del uso eficiente por el dosel del cultivo. Por lo tanto, se puede observar que en T4 y T5 al haber producido mayor diámetro de la copa (Figura 1b) y AF (Figura 2c) permitió una mayor producción de MS, lo cual concuerda con los resultados encontrados en este experimento. Finalmente, en un estudio realizado por

Guzmán *et al.* (2020) que se llevó a cabo en el forraje *B. brizantha* cv. Toledo al cual se le aplicaron A.L.O.F.A (Abono Líquido Orgánico Fermentado Aeróbicamente) al 2,5% +Inoculante micorrízico (IM) y BP-150 al 0,5% arrojaron que la mezcla de estos superó en un 35% al testigo en MS.

Tabla 3. Efecto de los tratamientos en el diámetro de la copa (cm) semanal del maíz, variedad Capachi morado, en el municipio de Andes, Antioquía

Trat.	Sem. 1	Sem. 2	Sem. 3	Sem. 4	Sem. 5	Sem. 6	Sem. 7
1	17,07	32,56 ab ¹	41,81	47,75	56,75	55,38	64,75
2	20,54	37,88 A	45,19	49,31	58,00	62,00	69,00
3	19,50	34,88 Ab	42,75	46,00	49,75	63,13	82,00
4	22,21	35,63 Ab	45,00	57,50	57,50	91,00	108,88
5	18,13	29,79 B	43,88	51,63	56,00	94,88	116,13
6	19,35	31,96 Ab	37,75	43,56	49,25	58,25	67,13
Significancia	0,499 ^{ns}	0,040*	0,274 ^{ns}	0,785 ^{ns}	0,513 ^{ns}	0,083 ^{ns}	0,135 ^{ns}

¹Médias seguidas de letras iguales en la columna no difieren entre sí, según el teste de Tukey a 5% de probabilidad.

²Valor de probabilidad del teste F (ANOVA). ns= No significativo a 5% de probabilidad, según el teste F (ANOVA). *Significativo a 5% de probabilidad, según el teste F (ANOVA). T1. Sustrato con 30 g de micorrizas por planta. T2. Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3. Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4. Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta). T5. Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta). T6 (Testigo) sólo con sustrato.

Área Foliar (AF)

El análisis estadístico mostró que no hubo diferencias significativas en cuanto a esta variable durante las semanas 3, 5 y 7 de evaluación (Tabla 2), cabe destacar que T4 (Triple 15) y T5 (Triple 15 más micorrizas) obtuvieron AF de 4.473,27 y 3.219,80 cm² obteniendo los mejores resultados (Figura 2c). El T6 (testigo) obtuvo el menor resultado. Lo anterior se puede confirmar según lo escrito por Betancourt *et al.* (1998) quienes observaron que el AF incrementó con las dosis de nitrógeno aplicado en maíz, siendo 100 kg ha⁻¹ la que produjo los mejores resultados. En otro estudio realizado por Barrera *et al.* (2017) los mayores valores de AF de la planta de maíz fueron reportados por el tratamiento químico en el periodo 21 - 77 DDE (Días Después de Emergencia).

El Índice de Área Foliar (IAF)

Al observar el comportamiento de los datos obtenidos en esta variable, visibles en los histogramas, tal y como se muestra en la figura 2d, se determinó que las plantas con el T4 (Triple 15) obtuvieron los mejores resultados (0,480) en promedio, las plantas que obtuvieron los rendimientos más bajos (0,225) fueron las del testigo, el cual corresponde al T6. En este mismo sentido se pudo observar que los resultados del IAF fueron muy variables dependiendo de la etapa fenológica de la planta y del tratamiento aplicado.

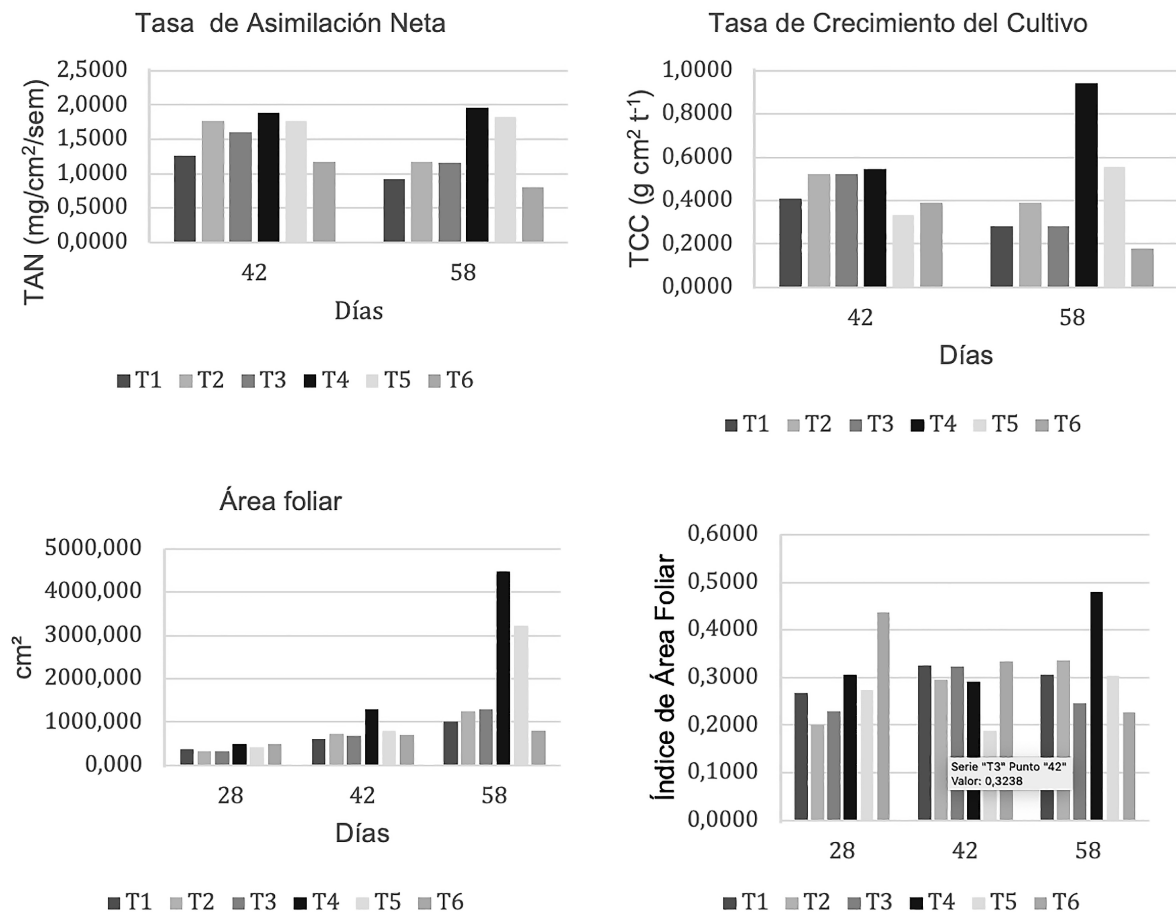


Figura 2. Índices y variables de crecimiento para maíz capachi morado en respuesta a diferentes fuentes de fertilización. **a).** Tasa de Asimilación Neta. **b).** Tasa de crecimiento del cultivo. **c).** Área Foliar. **d).** Índice de Área Foliar. T1. Sustrato con 30 g de micorrizas por planta. T2. Suelo con fertilizante orgánico mineral (BP-150). T3. Suelo con micorrizas más fertilizante orgánico mineral (30 g micorrizas + BP-150). T4. Suelo con fertilizante mineral triple quince (5,10,15 g/planta). T5. Suelo con 30 g micorrizas + triple quince (5,10,15 g/planta). T6 (Testigo) sólo con sustrato.

En el estudio realizado por Charry *et al.* (2016) al evaluar la respuesta de parámetros de crecimiento en tres genotipos de arroz Fedearroz Mocarí Fedearroz Caracolí y Fedearroz 473 en varios ambientes en el departamento de Córdoba encontraron valores de IAF de 0,50. Por otro lado, Aguilar *et al.* (2015) hallaron que en maíz con aplicaciones de 160 kg/ha de N se logró al día 54 un IAF de 4,52. Otras evaluaciones llevadas a cabo por López *et al.* (2018) indican que el rendimiento del tomate de cáscara (*Physalis philadelphica* Lam.) fue mayor en Texcoco, Estado de México (722,1 g m⁻²) que en Tlaquiltenango, Morelos (370,9 g m⁻²) debido a una mayor AF por planta (128,9 dm²) encontrando valores de

(TAN) 0,09 g g⁻¹ d⁻¹. Por otra parte, Castellanos *et al.* (2017) realizaron un estudio en maíz donde se evaluaron dos dosis de nutrientes: 140 kg ha⁻¹ de nitrógeno ureico (úrea), 50 kg ha⁻¹ de fósforo como P₂O₅ y 100 kg ha⁻¹ de potasio como K₂O y 175 kg ha⁻¹ de nitrógeno ureico (úrea), 70 kg ha⁻¹ de fósforo como P₂O₅ y 140 kg ha⁻¹ de potasio como K₂O en donde se encontró que no hubo diferencias significativas en cuanto al IAF.

Tasa de Asimilación Neta (TAN)

Para este caso, mostró que el T4 (triple quince) seguido del T5 (triple quince más micorrizas) presentaron los mayores valores con 7,85 y

7,30 mg/cm²/semana respectivamente, como se puede observar en la figura 2a. El menor valor lo obtuvo el testigo (T6) con 3,18 mg/cm² por semana, mientras que para el T2 y el T3 no hubo diferencias, de igual manera se pudo observar que para todos los tratamientos se presentó una disminución en la TAN debido al aumento del AF de las plantas. Santos *et al.* (2010) encontraron que la TAN como indicador de la eficiencia fotosintética promedio, presentó los mayores valores al comienzo del ciclo de cultivo en todas las variedades de papa debido a que las plantas se encontraban en el inicio de la etapa fenológica de desarrollo de hojas. En este mismo sentido Aguilar *et al.* (2015) encontraron que aplicando 160 kg/ha de N, en la variedad de maíz H-562 se generó la más alta TCC y la mayor TAN.

Tasa de Crecimiento del Cultivo (TCC)

En los datos correspondientes a la Figura 2b se puede observar que el T4 obtuvo un mayor rendimiento en cuanto a la TCC con un valor de 0,0075 (g cm² t⁻¹). El tratamiento que obtuvo una menor respuesta fue el T6 con un valor de 0,0014 (g cm² t⁻¹) el cual corresponde al testigo. Aguilar *et al.* (2015) encontraron que, en cuanto al índice y duración de AF en maíz, el valor más alto fue con 80 y 160 kg/ha de N, lo que ocasionó la mayor TCC, pero no fue así en la TAN. Los investigadores Aguilar *et al.* (2017) hallaron que, para la MS, TCC y TAN, los valores más altos se tuvieron con la aplicación de biofertilizante, y la aplicación de 80 y 160 kg ha⁻¹ de nitrógeno, durante el ciclo del cultivo de maíz VS-535.

CONCLUSIONES

Se concluye que los tratamientos que obtuvieron mejores resultados en cuanto a las variables altura de la planta, diámetro de la copa, MS, AF, TAN y TCC fueron con los tratamientos que contienen la fórmula 15-15-15 y el que tiene la combinación de 15-15-15

más el biológico a base de micorrizas. Lo que sugiere, que en la zona de Andes- Antioquia el crecimiento de maíz capachi morado, puede obtener óptimos resultados implementando estas fuentes de fertilización.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que es un trabajo original y no existió conflicto de intereses de ningún tipo en la elaboración y publicación del manuscrito

REFERENCIAS

- Aguilar, C., Salvador, J., Aguilar, I. y Perez, A. 2017.** Crecimiento, rendimiento y rentabilidad del maíz VS-535 en función del biofertilizante y nitrógeno. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 4(12): 475–483.
<http://ri.ujat.mx/bitstream/20.500.12107/1001/1/1000-873-A.pdf>
- Aguilar, C., Salvador, J. y Aguilar, I. 2015.** Análisis de crecimiento y rendimiento de maíz en clima cálido en función del genotipo, biofertilizante y nitrógeno. 33(1): 51–62.
<http://www.scielo.org.mx/pdf/tl/v33n1/2395-8030-tl-33-01-00051.pdf>
- Arango, J. 2017.** Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos
http://repository.lasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/2036/1/Abonos_organicos_alternativa_conservacion_mejoramiento_suelo.pdf.
- Arrieché, I. y Ruiz, M. 2014.** Efecto de la fertilización orgánica con NPK sobre la materia orgánica y el rendimiento del maíz en suelos degradados. *Revista Observador del conocimiento*, 2(1): 203-212.

- Báez, A., Renteria, F. y Renteria, P. 2018.** Evaluación de dosis de biofertilizante y sanialgas en la producción de maíz (*Zea mays* L.) forrajero en la Comarca Lagunera. *Ingeniería y Región*, 20: 29–34.
<https://journalusco.edu.co/index.php/iregion/article/view/1932/3864>
- Barrera-Violeth, J L., Cabrales-Herrera, E M. y Sáenz-Narváez, E.P. 2017.** Respuesta del maíz híbrido 4028 a la aplicación de enmiendas orgánicas en un suelo de Córdoba - Colombia. *ORINOQUIA*, 21(2): 38-45.
<https://doi.org/10.22579/20112629.416>
- Betancur, K. 2018.** Perdida de identidades campesinas debido a la desaparición de semillas nativas: el caso del maíz cucaracho y la familia Arias de la vereda El Viento en Barbosa, Antioquia en el año 2018.
<https://core.ac.uk/download/pdf/160670273.pdf>
- Betancourt, P., González, J., Figueroa, B. y González, F. 1998.** Cobertura vegetativa y fertilización nitrogenada en la producción de maíz. *Terra Latinoamericana*, 16(3): 231–237.
<https://www.redalyc.org/pdf/573/57316306.pdf>
- Box, G. and Cox, D. 1964.** An Analysis of Transformations (with Discussion). *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. 26. 211-252.
- Castellanos, M., Valdés, R., López, A. y Guridi, F. 2017.** Mediciones de índices de verdor relacionadas con Área Foliar y productividad de híbrido de maíz. 38(3): 112–116.
<http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v38n3/ctr16317.pdf>
- Corantioquia. 2005.** Compendio sobre el estado de conocimiento y conservación del recurso flora en la jurisdicción de corantioquia con base en la información proveniente de herbarios y fuentes secundarias.
https://www.corantioquia.gov.co/ciadoc/FLORA/AIRNR_CN_5674_2004.pdf
- Charry, R., Dairo, P., Cabrales, E. y Degiovanni, V. 2016.** Parámetros de crecimiento de nuevos genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) en tres ambientes de Córdoba. *Temas Agrarios* 21(1):18–27.
<https://doi.org/10.21897/rta.v21i1.867>
- De Mendiburu, F. 2017.** Package agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research. R package version 1.2-8.
<https://cran.r-project.org/web/packages/agricolae/index.html>
- FENALCE. 2019.** Maíz para Colombia: Visión 2030.
<https://www.fenalce.org/archivos/maiz2030.pdf>
- Field, C.B.T., Ball, T. and Betty, J.A. 1996.** Photosynthesis: principles and field techniques. In: *Plant Physiological Ecology. Field Methods and Instrumentation* London, U.K. pp 327-365.
- Fox, J. and Weisberg, S. 2019.** An R Companion to Applied Regression, Third edition. Sage, Thousand Oaks CA.
<https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/>
- Gardner, F.P., Pearce, R.B. and Mitchell, R.L. 2003.** Physiology of crop plants. Blackwell publishing company. Iowa, 326 pp

- Gaviria Hernandez, B. S. 2016.** Análisis de la fenología e índices de crecimiento de maíz (*Zea Mays* L.) variedad Pioneer, Curdn-Armero Tolima.
- Google Earth. 2021.** Ubicación finca “La Primavera” San Bartolo, Andes-Antioquia.
<https://earth.google.com/web/>
- Guzmán Sánchez, R. F., Beltrán Perafán, J. A., Montes Rojas, C. y Anaya Florez, M. del S. 2020.** Efecto del abono orgánico líquido mineralizado en la producción y composición de forrajes para pastoreo. *Revista De Investigación Agraria Y Ambiental*, 11(2): 13 - 27.
<https://doi.org/10.22490/21456453.3065>
- Jarma O, A., Degiovanni Beltramo, V.M. y Montoya, R. A. 2010.** Índices fisiotécnicos, fases de crecimiento y etapas de desarrollo de la planta de arroz . In: Degiovanni Beltramo, Víctor M.; Martínez Racines, César P.; Motta O., Francisco (eds.). *Producción ecoeficiente del arroz en América Latina* . Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Cali, CO. p. 60-82.
- López, J., Morales, E., Vibrans, H. y Morales, E. 2018.** Tasa de Asimilación Neta y rendimiento de *Physalis* bajo cultivo en dos localidades. 41(2): 187–197.
<https://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/41-2/10a.pdf>
- Martínez, L., Aguilar, C., Carcaño, M., Galdámez, J., Gutiérrez, A., Morales, J., Martínez, F., Llaven, J. y Gómez, E. 2018.** Biofertilización y fertilización química en maíz (*Zea mays* L.) en Villaflores, Chiapas, México. 5(1): 026–037.
<https://drive.google.com/drive/u/0/folders/1vTspBwwKB93iP9iCSHrHIJcYDMfbUgQ>
- 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://dx.doi.org/10.15517/ma.v29i2.29511>
- Montejo, D. 2014.** Dinámica y crecimiento de raíces en cultivo de maíz con biofertilizantes y fertilización química.
http://www.itzonamaya.edu.mx/web_biblio/archivos/res_prof/agro/agro-2014-11.pdf
- Morejon, Pereda M., Herrera Altuve, J. A., Ayra Pardo, C., González Cañizares, P.J., Rivera Espinosa, R., Fernández Parla, Y., Peña Ramírez, E., Téllez Rodríguez, P., Rodríguez-de la Noval, C. y de la Noval-Pons, B. M. 2017.** ALTERNATIVAS EN LA NUTRICIÓN DEL MAÍZ TRANSGÉNICO FR-B t 1 DE (*Zea mays* L.): RESPUESTA EN CRECIMIENTO, DESARROLLO Y PRODUCCIÓN. *Cultivos Tropicales* [en línea]. 2017, 38(4): 146-155.
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193254602019>
- Mora, A. y Leblanc, H. 2012.** Evaluación del uso de micorrizas arbusculares para disminuir la aplicación de fertilizantes fosforados en el cultivo de maíz. 8(2): 245–255.
https://www.researchgate.net/profile/Humberto-Leblanc/publication/281066241_Evaluacion_del_uso_de_micorrizas_arbusculares_para_disminuir_la_aplicacion_de_fertilizantes_fosforados_en_el_cultivo_del_maiz/links/55d3495d08ae7fb244f5854a/Evaluacion-del-uso-de-

- Ramos Agüero, D., Terry Alfonso, E., Soto Carreño, F., Cabrera Rodríguez, A., Martín Alfonso, G. M. y Fernández Chuaerey, L. 2016.** Respuesta del cultivo del plátano a diferentes proporciones de suelo y Bocashi, complementadas con fertilizante mineral en etapa de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(2): 165-174.
http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000200020&lng=es&tlng=es
- R Core Team. 2020.** R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rodríguez-López, C.P., Navarro, A., Arboleda Valencia, J.W., Valencia Jimenez, A. y Valle Molineros, R.H. 2015.** Hongos micorrizógenos arbusculares asociados a plantas de *Zea mays* L. en un agroecosistema del Atlántico, Colombia. *Rev. Agron.* 23 (1): 20-34.
- Santos-Castellanos, M., Segura-abril, M. y Núñez-López, C. E. 2010.** Análisis de crecimiento y relación fuente-demanda de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá, Colombia. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 63: 5253-5266.
- Sánchez Torres, J. D., Ligarreto Moreno, G. A. y Leiva Barón, F R. 2012.** Variabilidad del crecimiento y rendimiento del cultivo de maíz para choclo (*Zea mays* L.) como respuesta a diferencias en las propiedades químicas del suelo en la sabana de Bogotá, Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 65(2):6579-6583.
http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0304-28472012000200002&lng=en&tlng=es