

01

EFFECTO FERTILIZANTE DE COSTRAS BIOLÓGICAS DEL SUELO Y CACHAZA, SOBRE EL CULTIVO DE MAÍZ (*ZEAMAYS, L.*)

FERILIZING EFFECT OF BIOLOGICAL SOIL CRUSTS AND FILTER CAKE, ON THE CULTIVATION OF CORN (*ZEAMAYS, L.*)

Yandi Del Campo Rodríguez¹

E-mail: yandi01@nauta.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6293-6179>

Aida Margarita Romero Jiménez¹

E-mail: mromero@ucf.edu.cu

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2550-6983>

Aníbal Barrera García¹

E-mail: abarrera@ucf.edu.cu

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8952-4721>

¹ Universidad de Cienfuegos "Carlos Rafael Rodríguez". Cienfuegos

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Del Campo Rodríguez, Y., Romero Jiménez, A. M., Barrera García, A. (2022). Efecto fertilizante de Costras Biológicas del suelo y Cachaza, sobre el Cultivo de Maíz (*zea mays, l.*). *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(2), 6-14. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes>

RESUMEN

La investigación se realizó en el período de septiembre del 2020 a octubre del 2021 en el municipio de Lajas, provincia Cienfuegos, utilizando Costras Biológicas del Suelo (CBS), provenientes del Laboratorio de Microbiología de la Universidad de Cienfuegos, con el objetivo de evaluar el efecto fertilizante de las Costras Biológicas del Suelo dominadas por cianobacterias y su combinación con cachaza, mediante la determinación de variables morfoagronómicas en el cultivo del maíz, tales como: número de hojas, altura y diámetro del tallo de las plantas. Se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar aplicándose ocho tratamientos: T1 suelo 100%; T2 suelo 50% y CBS 50%; T3 suelo 50% y cachaza 50%; T4 suelo 75% y CBS 25%; T5 suelo 75% y cachaza 25%; T6 suelo 50%, CBS 25% y cachaza 25%; T7 suelo 50%, CBS 30% y cachaza 20%; T8 suelo 50%, CBS 20% y cachaza 30%. El número de hojas por planta fue de 8 a 10 hojas a los 48 días. La altura y diámetro del tallo fue mayor en todos los tratamientos con respecto al control, siendo en los tratamientos con presencia de costra donde se obtuvieron los mayores resultados.

Palabras clave:

Costras biológicas, Cianobacterias, Cachaza, Biofertilizantes, Maíz.

ABSTRACT

The investigation was held from September 2020 to October 2021, in the municipality of Lajas, Cienfuegos Province, using biological soil crusts (CBS), from the microbiology laboratory of the University of Cienfuegos, with the aim of evaluating the Fertilizer effect of the biological slopes of the soil dominated by cyanobacteria and its combination with sloth, by determining morphogronomic variables in the cultivation of corn, such as: number of leaves, height and diameter of the plant stem. An experimental block design was performed completely randomly by applying eight treatments: T1 soil 100%; T2 Soil 50% and CBS 50%; T3 soil 50% and sloth 50%; T4 Soil 75% and CBS 25%; T5 soil 75% and sloth 25%; T6 soil 50%, CBS 25% and sloth 25%; T7 Soil 50%, CBS 30% and sloth 20%; T8 Soil 50%, CBS 20% and sloth 30%. The number of leaves per plant was 8 to 10 sheets at 48 days. The height and diameter of the stem was greater in all treatments according to the control, being in the treatments with a crust presence where the greatest results were obtained.

Keywords:

Biological crusts, Cyanobacteria, sloth, Biofertilizers, Corn.

INTRODUCCIÓN

En el suelo existe una notable población microbiana dentro de la que se encuentran las bacterias, hongos filamentosos, actinomicetos y hongos micorrizógenos orbiculares, caracterizados por realizar funciones como la fijación del nitrógeno atmosférico, la solubilización del fósforo insoluble presente en el suelo, la antibiosis y la estimulación del crecimiento y desarrollo vegetal, entre otras, pero estos microorganismos se encuentran normalmente distribuidos en el suelo en poblaciones insuficientes (entre 103 -104 células/gramo de suelo), como para provocar el efecto beneficioso deseado sobre las plantas; debemos aumentar el número poblacional (entre 106 - 108 células/gramo de suelo), dando lugar como actividad resultante a la elaboración de biofertilizantes y bioestimuladores del crecimiento y desarrollo vegetal (Alvarez, 2009).

El uso de biofertilizantes es importante, pues estos suplen o complementan el aporte de los fertilizantes minerales, los cuales, a pesar de resultar beneficiosos, se ha comprobado que causan daños al ambiente. Existen distintos tipos de biofertilizantes, como los abonos y el compost, así como aquellos que incluyen inoculantes microbianos y otros derivados de subproductos agrícolas y animales (Valcárcel & Díaz, 2014).

Según el autor antes citado también los biofertilizantes cuya particularidad radica en contener formulaciones de agentes microbianos (bacterias, hongos, actinomicetos y algas) y su uso, ya sea solo o en compañía de sustratos orgánicos, se remonta a más de setenta años. Cabe agregar que dichos bioinoculantes cumplen funciones como de promotores de crecimiento, nutrición y defensa ante plagas y enfermedades.

Otros autores refiere que en varios países cañameleros, como Cuba, Puerto Rico, Colombia, Brasil, Trinidad e India, la cachaza es utilizada como fertilizante en la mejora de algunas propiedades físicas del suelo, para elevar el pH y/o en el manejo de suelos afectados por sales, como abono orgánico es rica en Fósforo (P), Calcio (Ca), Nitrógeno (N) y baja en Potasio (K). También es una fuente importante de Zinc (Zn), Boro (Br) y desde luego de Materia Orgánica (MO).

Mientras, una de las comunidades bióticas que ha despertado mayor interés entre investigadores de muchas disciplinas en las últimas décadas es la costra biológica del suelo (CBS), formada de acuerdo a Castillo-Monroy & Maestre (2011) por la íntima asociación entre partículas de suelo, cianobacterias, algas, hongos, líquenes, hepáticas y briófitos. La CBS está ampliamente distribuida en muchos tipos de suelo y en casi todas las comunidades vegetales donde la luz alcanza la superficie del suelo, si bien es particularmente dominante en ambientes de baja productividad como las zonas áridas, semiáridas, alpinas y polares.

La fijación de nutrientes es facilitada por las CBS, aumentando así la fertilidad del suelo; sobre todo aquellas que participan en el ciclo del nitrógeno, ya que poseen la

enzima nitrogenasa que les permite fijar el nitrógeno atmosférico, contribuyendo al reservorio de nutrientes disponibles para las plantas. El nitrógeno atmosférico (N_2) no está fácilmente disponible para las plantas vasculares, siendo necesaria su fijación y reducción a amonio (NH_4^+) por cianobacterias, Ciano líquenes u organismos procaríotas como bacterias heterótrofas.

La mayoría de las investigaciones sobre las características e impacto de las CBS en los suelos según Mendoza Aguilar (2014) se han desarrollado en zonas áridas y semiáridas de Australia, España, Estados Unidos, Argentina y China, dirigidos fundamentalmente a estudiar su papel en los ciclos biogeoquímicos del agua, el carbono y el nitrógeno además del estudio de los constituyentes fundamentales y su efecto en la fertilidad del suelo siendo empleados como biofertilizantes.

Uno de los constituyentes fundamentales de las CBS son las cianobacterias, un grupo muy diverso de organismos procaríóticos, que sintetizan *clorofila a* y *ficobilinas*, son capaces de realizar algunos procesos de vital importancia como la fotosíntesis oxigénica y la fijación de nitrógeno atmosférico. Estas cianobacterias desempeñan un papel vital en mantener a largo plazo la fertilidad de los suelos, además de mejorar la estructura del suelo, que influye en su permeabilidad y capacidad de retención de agua (Mohan, Kumar, & Nath, 2015).

Estos microorganismos durante su ciclo de vida incrementan la materia orgánica y segregan compuestos bioactivos (fitohormonas, vitaminas, aminoácidos, etc.), los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas; igualmente liberan metabolitos secundarios que ayudan al control biológico de enfermedades bacterianas y fúngicas en los cultivos. Además, se ha reportado que las cianobacterias contribuyen en la conversión de formas de fósforo insolubles a formas asimilables por las plantas (Hernández Reyes, et al., 2019).

Las cianobacterias, tanto las de vida libre como las que se encuentran en simbiosis formando líquenes, representan la principal fuente de nitrógeno en suelos de algunos ecosistemas áridos. Se ha demostrado en desiertos de China, que el nitrógeno fijado por cianobacterias es transferido a las plantas vasculares, beneficiando su crecimiento (Corvalán, Taboada, & Aranibar, 2018).

La aplicación de cianobacterias en cultivos agrícolas de interés comercial ha permitido aumentar los rendimientos y productividad de los cultivos, reducir la aplicación de fertilizantes de síntesis química, reducir el estrés hídrico y salinidad en plantas que crecen en condiciones no óptimas y mejorar la calidad del suelo. Existen géneros como *Nostoc*, *Tolypothrix*, *Anabaena* y *Aulosira* que han demostrado múltiples beneficios en arrozales. Por otro lado también se destacan la inoculación en cebada, trigo, avena, rábano, pepino, tomate, calabaza, algodón, caña de azúcar, chile y lechuga (Sayed, et al., 2013).

Igualmente, es válido destacar que las cianobacterias empleadas como biofertilizantes se consideran seguras

y su uso no resulta perjudicial en procesos ecológicos o ambientales (Hernández Benítez & Araujo Vidal, 2016).

Aunque existen estudios de especies como *Tolypothrix tenuis sp.*, *Microchaetetenera sp.* y *Nostoc sp.* que lograron un aumento en algunas actividades enzimáticas del suelo y en el crecimiento y rendimiento de maíz (Hernández Reyes, et al., 2019), en nuestro país no se reportan evidencias de investigaciones relacionadas con el uso de las costras biológicas del suelo dominadas por cianobacterias como una alternativa biológica en la fertilización de cultivos de maíz, la presente investigación busca ampliar el conocimiento acerca del efecto de CBS como biofertilizante para encontrar una alternativa biológica que permita suplir la demanda de nitrógeno en los cultivos de interés económico, es por ello que como objetivo de este trabajo, evaluar el efecto fertilizante de las Costras Biológicas del Suelo dominadas por cianobacterias, de la cachaza y la combinación de ambos, mediante la determinación del comportamiento de las variables morfoagronómicas del cultivo del maíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación de tipo experimental se realizó en el período de septiembre del 2020 a octubre del 2021, en condiciones semicontroladas, teniendo en cuenta las restricciones de movilidad de personas y cierre total de las universidades, medidas tomadas por el país y por la provincia debido a las condiciones epidemiológicas de la pandemia Covid-19, se decidió montar el experimento en áreas del jardín del autor en el municipio de Lajas, provincia de Cienfuegos, Cuba.

Selección de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias

Para la selección de estas estructuras nos apoyamos en muestras conservadas de CBS del Laboratorio de Microbiología del Departamento de Ciencias Biológicas Aplicadas, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cienfuegos, previamente recolectadas e identificadas en otras investigaciones.

Para corroborar la selección se humedecieron 32 muestras según la técnica de hidratación empleada por Mendoza Aguilar (2014) colocando un fragmento de CBS en una caja de Petri y se le agregó agua destilada hasta recubrirla totalmente, se dejó reposar 24 horas para alcanzar el nivel máximo de hidratación, luego se realizaron observaciones en fresco a simple vista en base a pruebas morfológicas y anatómicas siguiendo a Eldridge & Rosentreter (1999), procediendo después a su selección bajo microscopio estereoscópico.

Diseño experimental

Para evaluar el efecto como biofertilizantes de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias, se realizó un diseño experimental de bloques completamente al azar, con semillas de maíz (*Zea Mays, L.*)

de la variedad MAIG-Dorado procedentes de la UBPC La Lima del municipio de Lajas y diferentes tratamientos (Tabla 1) de suelo, CBS dominadas por cianobacterias y cachaza la cual se obtuvo del Central Ciudad Caracas, del mismo municipio, de un plato exterior, de la zafra del año 2019, fue una cachaza vieja por lo que estaba deshidratada y fermentada.

Se consideraron ocho tratamientos con seis repeticiones, incluyendo el control, los tratamientos fueron los siguientes:

Tabla 1. Descripción de los tratamientos

Tratamiento	% de sustrato orgánico mezclado
T1	Testigo 100% suelo
T2	50 %suelo50%CBS
T3	50% suelo50%cachaza
T4	75% suelo25% CBS
T5	75% suelo25% cachaza
T6	50% suelo25% CBS25% cachaza
T7	50% suelo30% CBS20% cachaza
T8	50% suelo20% CBS30% cachaza

Caracterización del suelo

La información sobre la clasificación del suelo se obtuvo en la Delegación municipal del Minag del municipio Lajas, específicamente del estudio de Suelos a escala 1:25000 según la Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba del Instituto de Suelos concluido en 1989. La misma fue correlacionada con la Nueva Versión de Clasificación Genética de suelo de Cuba de Hernández Jiménez, et al., (2015).

El suelo fue previamente secado al sol y eliminado toda clase de restos de tallos y hojas. *Trituración de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias*

Para el experimento se tomaron las costras previamente seleccionadas con dominancia de cianobacterias y fueron trituradas según el método empleado por García, Aranibar, & Villagra (2021), en el cual se seleccionó una sección equivalente de CBS (4 cm²) y se trituró con mortero.

Preparación de las bolsas

Las 48 bolsas de nylon de 12,7cm de ancho y 20,2cm de largo, fueron llenadas con 750 gramos aproximadamente de sustrato homogéneamente mezclado de manera manual y regadas cinco días previos a la siembra del cultivo para propiciar un ambiente adecuado para el desarrollo de la CBS, según plantea García, Aranibar, & Villagra (2021) y para el cultivo de maíz García López, Ruiz Torres, & Lira Saldivar (2020).

Selección y preparación de las semillas

Se seleccionaron las mejores semillas de forma visual que no presentaran malformaciones, ni tejidos dañados, también que no estuvieran infectadas por algún hongo siguiendo a García López, Ruiz Torres, & Lira Saldivar (2020) seguidamente estas semillas se colocaron en agua para hidratarlas por 24 horas, luego se le realizó desinfección química con solución jabonosa por 3 minutos, hipoclorito al 4% por 1 minuto y agua destilada estéril por 1 minuto metodología empleada por Hernández Benítez & Araujo Vidal (2016).

Siembra de las semillas

Seguidamente se procedió a sembrar una semilla por bolsas, a una profundidad de cinco a ocho veces el diámetro de la semilla, para este tipo de cultivo.

Riego

Para el riego se tuvo en cuenta las precipitaciones en el periodo experimental, según muestra la figura 1, en los días donde no hubo precipitaciones se realizó el riego de forma manual por el método de inundación, para ello se utilizó agua de lluvia almacenada.

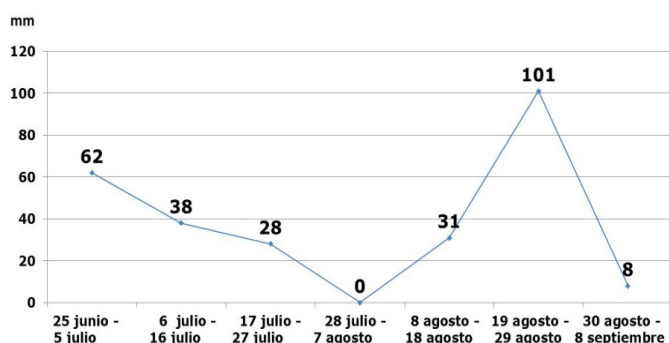


Figura 1. Precipitaciones en el periodo comprendido del 25 de junio al 8 de septiembre del 2021 medido por el Pluviómetro 913 del municipio de Lajas

Selección de las variables morfo agronómicas a medir

El periodo experimental fue de 54 días pues es este el tiempo de duración de la fase de desarrollo vegetativo del cultivo del maíz (Oñate Zúñiga, 2016) iniciándose con la siembra de la semilla el 30 de junio de 2021, en intervalos de 8 controles cada 6 días para cada variable.

Se seleccionaron tres variables morfo agronómicas: (Número total de hojas, altura y diámetro del tallo por planta)

Número total de hojas por planta

Se determinó mediante un conteo visual directo el número total de hojas que aparecen en el tallo de la planta, desde la base del tallo, en el suelo, hasta la hoja bandera.

Altura de planta

Se midió con una cinta métrica la distancia en centímetro desde la base del tallo hasta la hoja bandera.

Diámetro del tallo

Se miden con pie de rey en centímetros en la base del tallo ya que este disminuye en sentido ascendente.

Otros indicadores a medir

Aparición del coleóptilo sobre la superficie del suelo y desarrollo radicular fueron otros de los indicadores a medir ya que según Hawkes (2003) las CBS pueden influir sobre la germinación de las semillas de plantas vasculares.

Aparición del coleóptilo sobre la superficie del suelo

Se determinó la cantidad de días mediante observación visual cuando el coleóptilo brota sobre la superficie del suelo a partir del día de haber plantado la semilla (Oñate Zúñiga, 2016).

Desarrollo radicular

A los 54 días se procedió a la extracción de las raíces para verificar su estado, el desarrollo de raíces adventicias y pelos adsorbentes, presencia o no de nematodos u otras enfermedades además, se midió la longitud de la raíz en centímetros desde la base de emergencia hasta el ápice radical con una regla milimetrada y se procedió a secar en la estufa hasta obtener un peso seco constante.

Análisis estadístico

Las variables anteriormente descritas, fueron sometidas a un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el comportamiento de la aplicación de las diferentes dosis de suelo, cachaza y costra biológica de suelo, además se decide utilizar la Prueba de Múltiple Rangos (LSD) que es la diferencia mínima que debe haber entre dos medias muestrales para considerar que dos tratamientos son diferentes, ambas pruebas se realizaron para los tratamientos y repeticiones utilizando el software Statgraphics Centurion XV versión 15.2.14. Los valores de P establecidos fueron de 0,05.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de las costras biológicas del suelo (CBS) dominadas por cianobacterias

Un total de 22 muestras presentaban alguna semejanza con las características morfológicas de cianobacterias, teniendo en cuenta el sistema de clasificación propuesto por Belnap, Rosentreter, & Leonard (2001), el cual está basado en la morfología externa de la costra, por ser este sistema más fácil para distinguir su estructura externa. En este caso presentaban color variada de acuerdo a las morfoespecies dominantes, en la gama de colores desde parduzcas intensas, pardo verdoso o pardo negruzco,

verde oscuro hasta tonalidades claras con aspecto liso y gelatinoso, coincidiendo con el criterio expuesto en investigaciones de Castillo-Monroy & Maestre (2011).

Caracterización del suelo

El tipo de suelo utilizado como sustrato es Pardo con Carbonatos Típico, según los criterios de clasificación establecidos en la Segunda Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (IS, 1989).

Al correlacionarse la misma con la Nueva Versión de Clasificación Genética de los Suelos de Cuba (Hernández Jiménez, et al., 2015), se trata de un suelo Pardo Sialítico Mullido

Variables morfo agronómicas a medir

El análisis de varianza (ANOVA), evidencia que existen diferencias en la cantidad promedio de hojas y en la altura promedio de las plantas para los diferentes tipos de tratamiento, pues el valor p es menor que la significancia prefijada $\alpha = 0.05$, se acepta que es diferente con un nivel del 95,0% de confianza; igualmente existen diferencias significativas para el diámetro del tallo en todos los tratamientos.

Número total de hojas por planta

De forma general en todas las bolsas, el número de hojas por planta fue el que esperábamos, pues en investigaciones realizadas por Hernández Reyes, et al., (2019), obtuvieron resultados semejantes, utilizando cianobacterias como biofertilizantes en el cultivo del maíz azul.

La tabla 2 muestra que a los 48 días en los tratamiento dos (50% suelo y 50% CBS), cinco (75% suelo y 25% cachaza) y siete (50% suelo, 30% CBS y 20% cachaza) se obtuvo el número mayor de hojas (10 unidades), evidenciando la influencia de las CBS, el efecto del fertilizante orgánico y su combinación, este resultado coincide con lo que se establece para la fase vegetativa para el cultivo del maíz según Oñate Zúñiga (2016) que plantea el número de hojas de 8 a 12 unidades en la fase final de desarrollo vegetativo, así también en los tratamiento tres (50% suelo y 50% cachaza), cuatro (75% suelo y 25% CBS), seis (50% suelo ,25% CBS y 25% cachaza) y ocho (50% suelo, 20% CBS y 30% cachaza) se obtuvieron 9 hojas, mientras que el tratamiento testigo (100 % suelo) mostró 8 hojas, resultado este que no está alejado de lo reportado en la literatura.

Tabla 2. Media del número total de hojas de las plantas a los 48 días para los diferentes tratamientos

Tratamientos	Número de hojas (unidades)
T1	8
T2	10
T3	9
T4	9

T5	10
T6	9
T7	10
T8	9

De la Prueba de Múltiple Rangos (LSD), se obtiene la figura 2.

Medias con la misma letra en cada columna indican que los tratamientos son estadísticamente iguales

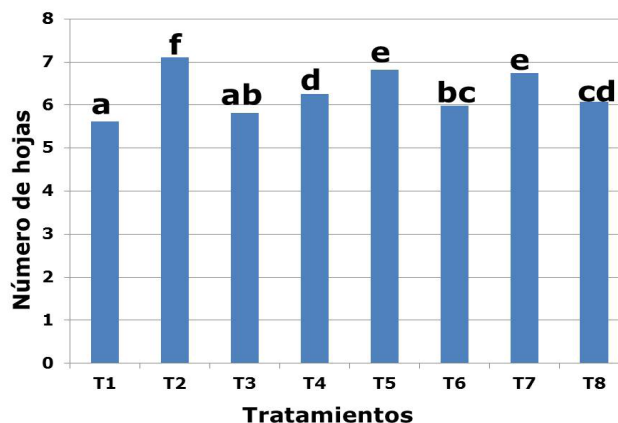


Figura 2. Pruebas de Múltiple Rangos (LSD) en el número de hojas de las plantas para los diferentes tratamientos

En la figura anterior se observa que existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza para el número total de hojas por planta para los diferentes tratamientos (Medias con la misma letra en cada columna indican que los tratamientos son estadísticamente iguales).

De esta forma, se puede plantear que, según el análisis estadístico, se desarrolla un mayor número de hojas cuando el suelo es tratado con 50% de CBS (T2).

Altura de la planta

Con respecto a la altura de la planta podemos observar en la tabla 3 una tendencia a una mayor altura en todos los tratamientos con respecto al control, siendo en los tratamientos con presencia de costra (T2), cachaza (T5) y la combinación de 30% de costra y 20 % de cachaza (T7), donde se obtuvieron los mayores resultados.

Tabla 3. Media de la altura de las plantas a los 48 días para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Altura de la planta (cm)
T1	70,3
T2	119,5
T3	83,3
T4	76,0
T5	109,3
T6	90,8

T7	119,8
T8	89,8

Estos resultados coinciden con el criterio planteado por Hernández Reyes, et al., (2019), donde observó mayor altura de planta en el tratamiento con cianobacterias aisladas de suelos agrícolas desde las primeras semanas de cultivo del maíz azul.

Por otra parte Hernández Benítez & Araujo Vidal (2016) también en su diseño experimental aplicado al cultivo de maíz observó que al inocular la cianobacteria obtuvo un aumento en el ritmo de crecimiento de la planta, presentando una diferencia del 40% en comparación con otro cultivo fertilizado con urea.

De la Prueba de Múltiple Rangos (LSD), (Figura 3).

Medias con la misma letra en cada columna indican que los tratamientos son estadísticamente iguales

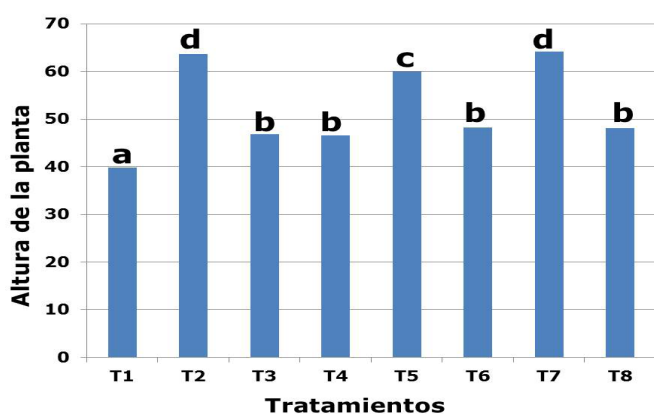


Figura 3. Pruebas de Múltiple Rangos (LSD) en la altura de las plantas para los diferentes tratamientos

Existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza para la altura promedio de la planta en los diferentes tratamientos (Medias con la misma letra en cada columna indican que los tratamientos son estadísticamente iguales). Los tratamientos con 50% de CBS (T2) y la combinación de 30% de CBS y 20% de cachaza (T7), aunque no presentan diferencias estadísticamente significativas entre ellas, y son los que mayores influyeron en la altura de la planta, destacándose el T7 (50% suelo, 30% CBS y 20% cachaza) donde se obtuvo la mayor altura de la planta con respecto al resto de los tratamientos.

Por otra parte se encontró diferencias significativas entre los grupos de tratamientos (T3, T4, T6, T8), T5, T2 y T7 con respecto al control.

Sin embargo, estos resultados no se corresponden con los encontrados por Emilio Forero, Fernández, & Álvarez Herrera (2010) al evaluar diferentes dosis de cachaza en el cultivo de maíz, donde en la medida que aumentaban la dosis de cachaza así se expresaba en altura de la planta.

Lo antes planteado pudiera deberse según Zérega, (1993) a que la alta relación carbono/nitrógeno (C/N) que

comúnmente presenta la cachaza, provoca la inmovilización del nitrógeno nativo y el aplicado como fertilizante en el suelo, por parte de microorganismos heterotróficos que proliferan en estos casos, lo cual determina la fecha relativa de aplicación de este material de origen orgánico y la posterior liberación del nitrógeno, antes indicada. La aplicación de cachaza, puede retrasar el crecimiento de las plantas cuando es incorporada en el momento de la siembra, a menos que se agregue una dosis posterior reforzada de nitrógeno (20% adicional).

Pudiéramos considerar que la altura de la planta alcanzada en los tratamientos T2 y T7, podría deberse a que las cianobacterias producen sustancias adhesivas, excreción de sustancias que promueven el crecimiento, como hormonas (auxina, giberelina), vitamina B₁₂, aminoácidos, aumento de la capacidad de retención de agua a través de la estructura de los exopolisacáridos; coincidiendo con el criterio planteado por Hernández Reyes, et al., (2019).

Podemos afirmar que los tratamientos T2 y T7, son en los que mejores resultados se obtuvo, pues estadísticamente la altura de la planta es mayor para estos tratamientos de suelo.

Diámetro del tallo

Considerando la otra variable morfo agronómica, diámetro del tallo, de igual forma que en las variables anteriormente evaluadas se obtuvo un comportamiento con tendencia al aumento con respecto al control, sin embargo, las plantas mostraron un mayor diámetro del tallo cuando los tratamientos fueron con el mayor porcentaje de costras (50%), lo que implica mayor rigidez, con el fin de evitar el vuelco (Tabla 4).

Tabla 4. Media del diámetro del tallo de las plantas a los 48 días para los diferentes tratamientos

Tratamientos	Diámetro del tallo (cm)
T1	1,7
T2	2,1
T3	1,8
T4	1,9
T5	2,0
T6	1,9
T7	2,0
T8	1,9

Por su parte, Hernández Reyes, et al., (2019) obtuvo plantas del cultivo de maíz azul, que mostraron un tallo con mayor diámetro cuando fueron fertilizadas químicamente, que con el tratamiento de cianobacterias y con el de Azospirillum.

De la Prueba de Múltiple Rangos (LSD), se obtiene la Figura 4.

Medias con la misma letra en cada columna indican que los tratamientos son estadísticamente iguales

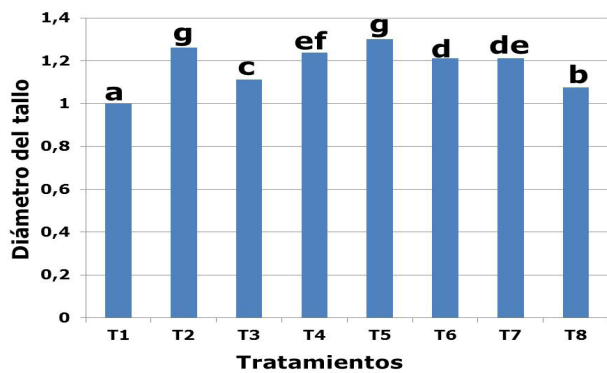


Figura 4. Pruebas de Múltiple Rangos (LSD) para el diámetro del tallo de las plantas para los diferentes tratamientos

De la figura anterior se puede concluir que existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza para el diámetro promedio del tallo de la planta para los diferentes tratamientos (Medias con la misma letra en cada columna indican que los tratamientos son estadísticamente iguales).

Del análisis anterior podemos plantear que estadísticamente el diámetro promedio del tallo de la planta es mayor cuando es aplicado el tratamiento con 50% de CBS (T2) y el tratamiento con 25% de cachaza (T5) y en nuestra investigación el tratamiento T3 (50% cachaza), no resultó el de mayor diámetro, no coincidiendo estos resultados con los obtenidos por Emilio Forero, Fernández, & Álvarez Herrera (2010), donde se correspondió que entre mayor porcentaje de cachaza es mayor grosor del tallo.

Otros indicadores a medir

En lo que respecta a la aparición del coleóptilo sobre la superficie del suelo en sentido general los resultados no coincide con lo reportado por Oñate Zúñiga (2016) que establece para este cultivo una duración aproximada de 5 a 7 días desde la siembra hasta la aparición del coleóptilo, obteniendo en esta investigación una aparición entre dos y tres días según muestra la tabla 5 para todos los tratamientos, no existiendo diferencias en cuanto a la presencia de costras o cachaza.

Esta diferencia de criterio según Deras Flores & Flor de Cerrano (2018) puede estar relacionada con el ciclo vegetativo del maíz, en el cual se plantea que puede variar de acuerdo a la localidad, época de siembra y manejo del cultivo.

Tabla 5. Medias de la aparición del coleóptilo sobre la superficie del suelo para los diferentes tratamientos

Tratamientos	Aparición del coleóptilo (días)
T 1	3
T 2	2
T 3	3

T 4	2
T 5	2
T 6	2
T 7	2
T 8	2

En otras investigaciones realizada por Boeken, et al., (2004) observaron los efectos positivos de la CBS sobre la germinación en plantas vasculares, teniendo en cuenta que la emergencia del coleóptilo se considera como una etapa de la germinación, que puede ocurrir en uno o varios días, aspecto este que coincide con los resultados de la investigación para todos los tratamientos.

Por otra parte Rivera Aguilar, et al., (2005) demuestran en una investigación que la germinación de dos especies de plantas vasculares en suelos dominados por CBS fue significativamente positiva bajo condiciones controladas en un experimento de laboratorio realizado en México, resultados que coinciden con este estudio pues en los tratamientos con presencia de costra (T2 50%; T4 y T6 25%; T7 30%; T8 20%) apareció el coleóptilo de manera general a los dos días.

Sin embargo, Hawkes (2003) plantea que los microorganismos de las costras pueden producir inhibidores de hongos y bacterias que podrían reducir el ataque microbiano sobre las semillas, pero estas sustancias químicas pueden también directamente inhibir la germinación y el crecimiento de las plántulas no sucediendo así en este estudio.

El desarrollo radicular es débil al principio del período vegetativo (Oñate Zúñiga, 2016) sin embargo se muestra un mejor desarrollo radicular manifestándose con abundantes raíces adventicias y pelos adsorbentes en los tratamientos T2 (50% suelo 50% CBS), T3 (50% S y 50% cachaza); T4 (75% suelo y 25% costra); T7 (50% suelo, 30% costra y 20% cachaza) además del buen estado de salud al no presentar características de enfermedades como necrosis, raíces escasas, puntas de raíz curvadas en forma de gancho, no se aprecia ningún hinchamiento de forma definida.

Estos resultados coinciden con lo investigado por Mendoza, Aguilar (2014) al obtener efectos notorios en el enraizamiento de las plántulas en las que el sustrato contiene alta cobertura de costras biológicas como se muestra en la tabla 6, el tratamiento 2 obtiene una mayor longitud y peso seco a los 54 días pues este es de todos los tratamientos el que presenta un 50% de CBS.

Tabla 6. Longitud y peso seco de las raíces

Tratamientos	Longitud cm.	Peso seco g.
T1	21	0,37
T2	36	1,22
T3	27	0,83

T4	25	1,16
T5	30	0,48
T6	24	0,52
T7	25	0,89
T8	26	0,67

Con todos estos resultados es importante señalar que el tratamiento 2 resultó ser el más efectivo en la evaluación de las tres variables estudiadas, sin embargo es interesante destacar que las combinaciones de CBS 30% con cachaza 20% (T7) también podría resultar beneficioso a la hora de fertilizar el suelo pues los resultados también fueron alentadores y es conveniente no despreciar este tratamiento y considerarlo como otra alternativa.

CONCLUSIONES

La identificación de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) en el banco del Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agrarias arrojó la presencia de 22 muestras de CBS con dominancia de cianobacterias.

El tratamiento dos (T2) con 50% de CBS resultó ser estadísticamente de mayor influencia sobre las variables morfo agronómicas evaluadas, aunque las combinaciones de 30% CBS con cachaza 20% (T7) también pudieran ser utilizadas en la fertilización del cultivo.

El empleo de Costras Biológicas del Suelo dominadas por cianobacterias es una alternativa viable para ser utilizada como biofertilizantes en el cultivo del maíz manifestándose en las la altura de la planta, diámetro del tallo, aparición del coleóptilo y desarrollo radicular.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez, B. D. (2009). Biofertilizantes como insumos en agricultura sostenible. Editorial Universidad.
- Belnap, J., Rosentreter, R., & Leonard, S. (2001). Biological Soil Crust: Ecology and Management. Berlin: Springer-Verlag, 3-33.
- Boeken, B., Ariza, C., Gutterman, Y., & Zaady, E. (2004). Environmental factors affecting dispersal, germination and distribution of *Stipacapensis* in Negev Desert, Israel. *Ecological Research*, 19, 533-540.
- Castillo-Monroy, A., & Maestre, F. (2011). La costra biológica del suelo: Avances recientes en el conocimiento de su estructura y función ecológica. *Revista chilena de historia natural*, 84(1), 1-21.
- Corvalán Videla, M., Taboada, M., & Aranibar, J. (2018). Diversidad de cianobacterias en costras biológicas de suelo de la ecorregión del Monte Central (Mendoza, Argentina). *Lilloa*, 52(2), 36-46.
- Deras Flores, H., & Flor de Cerrano, R. (2018). Guía sobre el cultivo del maíz (CENTA). El Salvador.

- Eldridge, D., & Rosentreter, R. (1999). Morphological groups: A framework for monitoring microphytic crusts in arid landscapes. *J. Arid Environ*, 41, 11-25.
- Emilio Forero, F., Fernández, J., & Álvarez Herrera, J. (2010). Efecto de diferentes dosis de cachaza en el cultivo del maíz (*Zea mays*). *U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13(1), 77-86.
- García López, J., Ruiz Torres, N., & Lira Saldivar, R. (2020). Técnicas Para Evaluar Germinación, Vigor y Calidad Fisiológica de Semillas Sometidas a Dosis de Nanopartículas.
- García, V., Aranibar, J., & Villagra, P. (2021). Propagación de distintos tipos funcionales de la costra biológica del suelo del desierto del Monte, Argentina. *Ecología Austral*.
- Hawkes, C. V. (2003). Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del Matorral de Florida. *Ecosistemas*, 2. <http://www.aeet.org/ecosistemas/032/investigacion3.htm>
- Hernández Benítez, R., & Araujo Vidal, D. (2016). Cianobacterias: una alternativa para aumentar la competitividad agrícola y seguridad alimentaria de la guajira colombiana. *Ciencia e Ingeniería*, 3(2).
- Hernández Jiménez, A., Pérez Jiménez, J., Bosh Infante, D., & Castro Speck, N. (2015). Nueva Versión de Clasificación Genética de los suelo de Cuba
- Hernández Reyes, B., Rodríguez Palacio, M., Castilla Hernández, P., Sánchez Robles, J., Vela Correa, G., & Schettino Bermúdez, B. (2019). Uso potencial de cianobacterias como biofertilizante para el cultivo de maíz azul en la Ciudad de México. *Revista Latinoamericana de Biotecnología Ambiental y Algal*, 10(1), 13-27.
- Mendoza Aguilar, D. O. (2014). Costras biológicas del suelo en ecosistemas semiáridos: composición, rendimiento fisiológico y efecto en la germinación de plantas. (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León.
- Mohan, A., Kumar, B., & Nath, D. (2015). Cyanobacterial consortium in the improvement of maize crop. *Int. J. Curr. Microbiol. App*, 264-274.
- Oñate Zúñiga, L. (2016). Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (*zea-mays*) var. Blanco harinoso criollo, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos. (Tesis de grado). Universidad Tecnológica de Ambato).
- Rivera Aguilar, V., Godínez Álvarez, H., Manuel Cacheux, I., & Rodríguez Zaragoza, S. (2005). Physical effects of biological soil crusts on seed germination of two desert plants under laboratory conditions. *Journal of Arid Environments*, 63, 344-352.

- Seyed, H., Ghassempour, A., Riahi, H., Shariatmadari, Z., & Khanjir, M. (2013). Endogenous auxins in plant growth-promoting Cyanobacteria—*Anabaena vaginicola* and *Nostoccalcicola*. *J. Appl. Phycol*, 25, 379-386.
- Valcárcel, F., & Díaz, A. (2014). Tecnología realizadas con biofertilizantes. *Boletín Tecnológico*.
- Zérega, L. (1993). Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. *Caña de Azúcar*, 11(2), 71-92.