



UNIVERSIDAD DE CIENFUEGOS  
CIENCIAS AGRARIAS

# **Trabajo de Diploma en opción al título de Ingeniero Agrónomo**

**Evaluación del efecto fertilizante de Costras Biológicas del Suelo  
dominadas por cianobacterias y de la cachaza, sobre el cultivo de maíz  
(*Zea Mays, L.*)**

**Autor: Yandi Del Campo Rodríguez**

**Tutor: Lic. Aida Margarita Romero Jiménez**

**Curso: 2021**

## Resumen

La investigación fue realizada en el periodo de septiembre del 2020 a octubre del 2021, en el municipio de Lajas, de la provincia de Cienfuegos utilizando Costras Biológicas del Suelo (CBS) del banco del Laboratorio de Microbiología, de la Facultad de Ciencias Agrarias en la Universidad de Cienfuegos con el objetivo de 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 morfo agronómicas del cultivo del maíz; 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%. Las variables evaluadas fueron: el número de hojas, altura y diámetro del tallo de las plantas, aparición del coleóptilo y desarrollo radicular. El número de hojas por planta fue de 8 a 10 hojas a los 48 días. La altura y diámetro del tallo de las plantas fue mayor en todos los tratamientos con respecto al control, siendo en los tratamientos con presencia de costra donde se obtuvieron los mayores resultados. La aparición del coleóptilo se obtuvo entre dos y tres días para todos los tratamientos. En los tratamientos T2 T3 T4 T7 se muestra un mejor desarrollo radicular.

**Palabras clave:** Costras biológicas; Cianobacterias; Cachaza; Biofertilizantes; Maíz.

## **Abstract**

The research was carried out in the period from September 2020 to October 2021, in the municipality of Lajas, in the province of Cienfuegos using Soil Biological Scabs (CBS) from the Bank of the Microbiology Laboratory, of the Faculty of Agrarian Sciences in the University of Cienfuegos with the objective of evaluating the fertilizing effect of Biological Soil Crusts dominated by cyanobacteria, of filter cake and the combination of both, by determining the behavior of the morpho-agronomic variables of the corn crop; an experimental design of completely randomized blocks was carried out, applying eight treatments: T1 soil 100%; T2 soil 50% and CBS 50%; T3 soil 50% and filter cake 50%; T4 soil 75% and CBS 25%; T5 soil 75% and filter cake 25%; T6 soil 50%, CBS 25% and filter cake 25%; T7 soil 50%, CBS 30% and filter cake 20%; T8 soil 50%, CBS 20% and filter cake 30%. The variables evaluated were: the number of leaves, height and diameter of the plant stem, appearance of the coleoptile and root development. The number of leaves per plant was 8 to 10 leaves at 48 days. The height and diameter of the stem of the plants was greater in all the treatments with respect to the control, being in the treatments with presence of crust where the best results were obtained. The appearance of the coleoptile was obtained between two and three days for all treatments. In the treatments T2 T3 T4 T7 a better root development is shown.

**Key words:** Biological crusts; Cyanobacteria; filter cake; Biofertilizers; Corn.



***El verdadero viaje de descubrimiento  
no consiste en buscar nuevos paisajes,  
sino en tener nuevos ojos.***

**En busca del tiempo perdido, Marcel Proust**

# Agradecimientos

*Mi más profundo agradecimiento a la Universidad de Cienfuegos en especial a la Facultad de Ciencias Agrarias y su claustro de profesores, por haberme acogido en sus aulas, brindándome las más grandes alegrías, que ahora son parte de mi vida y mi más anhelada meta que es mi carrera profesional.*

*A la Federación Estudiantil Universitaria por transformar mi vida en un mejor ser humano.*

*A mi tutora y amiga la Lic. Aida Margarita Romero Jiménez quien me brindó sus conocimientos invaluable los cuales permitieron llevar a cabo esta investigación y sobre todo por su gran apoyo, no solo en la culminación de mi tesis, sino también en mi vida personal.*

*A mi familia, en especial, a mis hermanas, mis tías y primos por haber jugado un papel importante en el transcurso de estos cinco años.*

*A todos mis compañeros de aula por vivir cinco intensos pero inolvidables años universitarios.*

*A mis amigos Ángel Luis, Adrián, Yordany, Jorge, Dayana, por su apoyo y contribución en esta investigación.*

*A los profesores Mario, Yoandry, Mailin y Anibal por su contribución al desarrollo exitosa de este trabajo.*

*A todas las personas que de una forma u otra me apoyaron y contribuyeron a mi formación como profesional y a ser mejor persona mi más sincero agradecimiento.*

# Dedicatoria

*Dedico este trabajo de investigación a dos personas que comenzaron conmigo este sueño de convertirme en ingeniero y hoy no están presentes; a Virgilio y Josefa esos dos luceros que desde lo más alto me guían, mis abuelos del alma, todo mi amor.*

*A mi madre Emelina por ser ese ejemplo de superación profesional, por el sacrificio, apoyo incondicional y dedicación en todo momento para que se cumpliera uno de mis sueños.*

## Índice

Introducción .....	1
Capítulo 1. Revisión bibliográfica .....	6
1.1 Las Costras Biológicas del Suelo .....	6
1.2 Tipologías de Costras Biológicas de Suelo .....	7
1.3 Funcionalidad de las Costras Biológicas del Suelo .....	9
1.4 Panorama mundial de las Costras Biológicas del Suelo.....	10
1.5 Panorama cubano de las Costras Biológicas del Suelo .....	11
1.6 Las Cianobacterias .....	11
1.7 Funcionalidad de las cianobacterias.....	12
1.8 Importancia del nitrógeno como elemento de fertilización .....	13
1.9 Cianobacterias fijadoras de nitrógeno. ....	13
1.10 Los biofertilizantes .....	15
1.11 Uso de bacterias como biofertilizantes .....	16
1.12 Las cianobacterias y su uso como biofertilizantes .....	17
1.13 La cachaza como elemento de fertilización .....	18
1.14 Taxonomía sistemática del maíz .....	19
1.15 Ciclo del cultivo de maíz.....	20
1.16 Morfología de la planta de maíz .....	20
1.16.1 Sistema radicular .....	21
1.16.2 Las hojas .....	21
1.16.3 El tallo.....	22
1.16.4 La semilla .....	23
1.17 Importancia económica del maíz .....	23
1.18 MAIG-Dorado .....	24
Capítulo 2. Materiales y métodos .....	25
Período y localización de la investigación .....	25
2.1.1 Identificación de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias en el banco del laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agrarias .....	25
2.1.1 Selección de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias .....	25
2.1.2 Identificación de cianobacterias.....	25
2.2 Determinación de la influencia de los tratamientos con diferentes proporciones de Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias y cachaza sobre las variables morfo agronómicas en el cultivo del maíz .....	26

Diseño experimental.....	26
Caracterización del suelo .....	27
Trituración de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias .	27
Preparación de las bolsas .....	27
Selección y preparación de las semillas.....	28
Siembra de las semillas.....	28
Riego .....	28
Selección de las variables morfo agronómicas a medir.....	29
Número total de hojas por planta.....	29
Altura de planta .....	29
Diámetro del tallo.....	29
Otros indicadores a medir.....	29
Aparición del coleóptilo sobre la superficie del suelo .....	29
Desarrollo radicular .....	29
Análisis estadístico .....	30
Capítulo 3. Resultados y Discusión .....	31
3.1 Identificación de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias en el banco del laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agrarias .....	31
3.1.1 Selección de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias .....	31
3.1.2 Identificación de cianobacterias.....	31
3.2 Determinación de la influencia de los tratamientos con diferentes proporciones de Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias y cachaza sobre las variables morfo agronómicas en el cultivo del maíz .....	32
Caracterización del suelo .....	32
Variables morfo agronómicas a medir .....	32
Número total de hojas por planta.....	32
Altura de la planta.....	35
Diámetro del tallo.....	38
Otros indicadores a medir.....	40
Conclusiones.....	44
Recomendaciones.....	45
Bibliografía.....	46

## Introducción

En el suelo existe una notable población microbiana, dentro de la que se encuentran las bacterias, hongos filamentosos, actinomicetos y hongos micorrizògenos arbusculares, 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, todas ellas de suma importancia para el normal establecimiento y aumento de la productividad de especies cultivables de importancia económica, pero estos microorganismos se encuentran normalmente distribuidos en el suelo, en poblaciones insuficientes (entre  $10^3$  -  $10^4$  células/gramo de suelo), estos microorganismos como para provocar el efecto beneficioso deseado sobre las plantas; debemos aumentar el número poblacional (entre  $10^6$  -  $10^8$  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).

Obid, Idris, & Ahmed (2016) Plantean que entre las prácticas agronómicas la fertilización química con compuestos inorgánicos, elaborados a partir de rocas y derivados del petróleo, garantiza la producción pero, varios son los problemas asociados a su uso en los suelos, pues han ocasionado impactos negativos como desgaste físico, pérdida de nutrientes, de humus y de la actividad microbiana, por lo que es necesario implementar nuevas prácticas que satisfagan las necesidades de producción y que promuevan un equilibrio en los ecosistemas.

Esto se puede lograr por medio de prácticas ecológicamente sanas, como el uso de biofertilizantes compuestos por microorganismos vivos que pueden aplicarse directamente en las semillas, superficie de plantas o suelos, colonizando la rizófora o el interior de las plantas y promoviendo el crecimiento al favorecer el aporte o la viabilidad de nutrientes primarios. La biofertilización además de coadyuvar en la nutrición y

sanidad de los cultivos, ayuda a que la producción agrícola sea sostenible, reduciendo así el uso de fertilizantes químicos.

Los biofertilizantes cuya particularidad radica en contener formulaciones de agentes microbianos (bacterias, hongos, actinomicetos y algas). Estos inoculantes poseen una relación funcional y constituyen un sistema holístico con la planta; su uso, ya sea solos 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 (Valcárcel & Díaz, 2014).

Por otra parte el proceso agroindustrial de la caña de azúcar genera una serie de subproductos, la cachaza se posiciona como el principal subproductos de la industria azucarera con mayor valor fertilizante (Arreola Enriquez, et al., 2004).

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) (Matheus, 2004).

La dosis y el aporte de nutrimento de la cachaza al suelo depende de su composición, que varía con las condiciones agroecológicas de la zona donde se produce la caña, con el cultivar sembrado y método de clarificación de jugos utilizado, entre otros (Emilio Forero, Fernández, & Álvarez Herrera, 2010).

De acuerdo a Zérega(1993) las principales limitaciones de la cachaza para usos agronómicos son el alto contenido de humedad (75-80%) que presenta en estado fresco, lo cual, encarece los costos de transporte y su alta relación carbono/nitrógeno (C/N), que ocasiona retraso en el crecimiento de los cultivos, cuando es incorporada en el momento de la siembra; aun así, estas limitaciones pueden ser solventadas si la cachaza es deshidratada.

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 por la íntima asociación entre partículas de suelo, cianobacterias,

algas, hongos, líquenes, hepáticas y briófitos (Castillo-Monroy & Maestre, 2011). 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 (Belnap, 2006), si bien es particularmente dominante en ambientes de baja productividad como las zonas áridas, semiáridas, alpinas y polares (Maestre H. Z., 2002 ; Castillo-Monroy & Maestre, 2011).

La fijación de macro y micronutrientes es facilitada por las CBS, aumentando así la fertilidad del suelo; algunas especies de bacterias autótrofas y heterótrofas 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, cianolíquenes u organismos procariotas como bacterias heterótrofas (Toledo & Florentino, 2009) .

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 procarióticos, 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 (Whitton, 1992) .

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 (Khadatare & Suryawanshi, 2016 ;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 Videla, 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 (Sahu, Priyadarshani, & Rath, 2012). Por otro lado también se destacan la inoculación en cebada, trigo, avena, rábano, pepino, tomate, calabaza, algodón, caña de azúcar, chile y lechuga (Seyed ,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, pues el presente estudio 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 se propone el siguiente problema científico.

## **Problema científico**

¿Cuál será el efecto fertilizante de las Costras Biológicas del Suelo dominadas por cianobacterias, de la cachaza y la combinación de ambos, sobre las variables morfo agronómicas en el cultivo del maíz?

## **Hipótesis**

La determinación del comportamiento de variables morfo agronómicas en plantas de maíz sometidas a tratamientos con Costras Biológicas del Suelo dominadas por cianobacteria y de cachaza, permitirá evaluar la potencialidad de ambos como fertilizante.

## **Objetivo general**

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 morfo agronómicas del cultivo del maíz.

## **Objetivos específicos**

1. Identificar las Costras Biológicas del Suelo dominadas por cianobacterias en el banco del Laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agrarias.
2. Determinar cómo influye los tratamientos con diferentes proporciones de Costras Biológicas del Suelo dominadas por cianobacterias y cachaza sobre las variables morfo agronómicas en el cultivo del maíz.

## **Capítulo 1. Revisión bibliográfica**

### **1.1 Las Costras Biológicas del Suelo**

En estudios recientes de Edafología, aparecen un grupo de organismos conocidos como Costras Biológicas de Suelo (CBS), no son más que diminutas comunidades pero organismos importantes que pueden incluir cianobacterias, algas, musgos, líquenes y otros, los cuales se encuentran asociados íntimamente con las partículas minerales de la superficie del suelo, creando una capa delgada, cohesiva y horizontal (Toledo & Florentino, 2009).

En la década de los 90, fueron utilizados términos como costra microfítica según (West, 1990), criptobiota (Harper & Pendleton, 1993) y costra microbiótica (Downing & Selkirk, 1993). Pese a que este último término ha sido bastante utilizado, el que se ha extendido a nivel mundial es el de costra biológica, utilizado en la actualidad en la mayoría de los estudios. Entre sus ventajas están el que carece de implicaciones taxonómicas y que puede ser aplicado a todos los tipos de costra biológica, independientemente de los organismos que la componen (Castillo-Monroy & Maestre, 2011).

Fletcher & Martin (1948) fueron los primeros en describir algunas características y efectos de la CBS en zonas áridas de los Estados Unidos de América (en lo sucesivo Estados Unidos). Desde entonces, la CBS ha sido descrita en prácticamente todos los continentes: América del Norte (Gardner & Belnap, 1993) Central (Rivera Aguilar, et al., 2005) y del Sur (Pérez F., 1997) en el Ártico (Bliss & Gold, 1999), en África (Aranibar, et al., 2004), en Europa (Maestre, et al., 2002), Asia (Li, et al., 2002) y Australia (Eldridge & Greene, 1994).

La CBS está ampliamente distribuida en muchos tipos de suelo y en casi todas las comunidades vegetales donde la luz pueda alcanzar la superficie del suelo (García, Aranibar, & Villagra, 2021), aunque es particularmente dominante en ambientes de baja productividad como las zonas áridas, semiáridas, alpinas y polares. La CBS está presente en casi todas las ecoregiones áridas y semiáridas del mundo, donde cubre generalmente los espacios no ocupados por plantas vasculares perennes, pudiendo alcanzar hasta un 70% de cobertura en el suelo (Belnap & Lange, 2003).

## 1.2 Tipologías de Costras Biológicas de Suelo

La apariencia, biomasa, y composición de esos organismos varía ampliamente dependiendo del régimen climático que se considere. La estructura externa e interna de la CBS cambia también de acuerdo a dichas variaciones, generando distintos tipos de costra (Castillo-Monroy & Maestre, 2011).

La clasificación de las mismas suele hacerse según el grupo de organismos dominantes, aunque la presencia de uno u otro tipo de CBS no excluye necesariamente a otro (Castillo-Monroy & Maestre, 2011) es decir, aunque la clasificación se realice en base al grupo dominante, en la mayoría de los casos se trata de una combinación de los mismos, tanto de líquenes como musgos y cianobacterias que viven asociados, siendo más frecuentes algunas combinaciones por sobre otras. Las tipologías más frecuentes de CBS son de cianobacterias, de algas verdes, de musgos y de líquenes.

La CBS dominada por algas, aunque puede no ser fácilmente observable, tiene una gran importancia ecológica, ya que protege los suelos de zonas dunares de la acción erosiva, contribuyendo a su fijación. Este tipo de CBS es muy abundante en latitudes altas, en regiones desérticas frías donde los suelos se congelan y el potencial de evapotranspiración es muy bajo. Podemos encontrarla de manera muy abundante en la Great Basin de los Estados Unidos, así como en la región de Shapotou y en el desierto de Gurbantunggut, ambos en China. Al ser las algas organismos primocolonizadores, juegan un papel crítico en la sucesión natural, facilitando la posterior colonización de estos sustratos por líquenes, musgos y plantas vasculares (Zhang ,et al., 2007).

Según Toledo V. ( 2006) las costras de cianobacterias suelen ser oscuras o negras y han sido muy estudiadas debido a su amplia distribución en zonas áridas y semiáridas de todo el planeta (se han descrito en desiertos cálidos de todos los continentes). Su amplia distribución se debe en buena parte a la dispersión de estos organismos y a su capacidad para soportar condiciones extremas de temperatura y humedad. En los sitios en los que se encuentra, este tipo de CBS suele ser muy abundante. Por ejemplo, en el desierto de Kalahari encontraron que entre el 19 y el 40 % de la superficie total del suelo estaba cubierta por cianobacterias. Este organismo dominado por cianobacterias

ha sido también descrito en las sabanas de Venezuela y en otras zonas semiáridas de este país.

La CBS dominada por musgos está también ampliamente distribuida en zonas áridas y semiáridas de todo el planeta, siendo el contenido en arcilla y el pH dos importantes factores que determinan su distribución (Anderson, Harper, & Rushforth, 1982).

Se pueden encontrar en zonas secas donde el suelo no se congela y el potencial de evapotranspiración es medio-bajo, zonas semiáridas españolas, desiertos de Sonora y Mojave en Estados Unidos y desiertos australianos; en zonas secas hiperáridas donde el suelo nunca se congela y el potencial de evapotranspiración es muy alto desiertos de Atacama y Sahara; y también en latitudes altas, donde los suelos se congelan y el potencial de evapotranspiración es muy bajo, Great Basin de los Estados Unidos (Castillo-Monroy & Maestre, 2011)

Suelen ser especialmente abundantes en los microambientes más húmedos de los ecosistemas áridos y semiáridos, como los que se encuentran debajo de la copa de las macollas de *Stipa tenacissima* en el centro y SE de España (Maestre, et al., 2001).

La CBS dominada por líquenes es fácilmente identificable, presentando una amplia gama de formas y colores. La distribución de los líquenes está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas, principalmente por la distribución y frecuencia de las lluvias. Los líquenes generalmente se desarrollan más lentamente que los musgos, aunque al igual que ellos prefieren áreas estables y suelos con textura fina y generalmente alcalinos (Rogers, 1977).

Estas estructuras dominadas por líquenes está ampliamente distribuidas en zonas semiáridas y templadas de Europa (Maestre, et al., 2002), en el desierto de Negev, Israel (Zaady, Groffman, & Shachak, 1998), en Australia (Eldridge & Greene, 1994), en México (Rivera Aguilar, et al., 2005) y en los Estados Unidos (West, 1990). Este tipo de CBS debe ser también muy abundante en regiones semiáridas de África y América Central y del Sur, aunque pocos estudios hasta la fecha se han llevado a cabo en estas regiones (Jiménez, Huber Sannwald, & Belnap, 2009).

### 1.3 Funcionalidad de las Costras Biológicas del Suelo

La poca materia orgánica presente en suelos de zonas áridas, no puede ser utilizada por las plantas directamente, sino que primero debe descomponerse y mineralizarse; estos procesos son llevados a cabo principalmente por microorganismos del suelo, los cuales, en ambientes áridos, no siempre se encuentran bajo condiciones ideales de temperatura y humedad (Celaya-Michel & Castellanos-Villegas, 2011).

En ecosistemas áridos y semiáridos, donde las concentraciones de nitrógeno son relativamente bajas comparadas con otros ecosistemas la fijación de dinitrógeno ( $N_2$ ) es llevada a cabo principalmente por los organismos que componen la CBS en especial las cianobacterias; gran parte del nitrógeno fijado por las costras se libera casi de inmediato a los suelos circundantes y así el nitrógeno liberado es fácilmente absorbido por organismos tales como plantas vasculares y hongos. Este proceso de fijación por parte de la CBS es altamente dependiente de la humedad, la temperatura y la luz, así como de la composición específica de dicha costra (Belnap & Lange, 2003).

Binkley & Hart (1989) plantea que los componentes de estos organismos también actúan en la mineralización del nitrógeno: proceso mediante el cual el nitrógeno orgánico del suelo es transformado por los microorganismos del suelo a las formas inorgánicas activas para las plantas, amonio y nitrato.

En zonas áridas las tasas de mineralización e inmovilización de nitrógeno están ligadas a los pulsos de precipitación y a la acción de microorganismos del suelo que responden rápidamente a la disponibilidad de humedad en el suelo, aun cuando solo sea un evento pequeño que solo humedece la parte superficial, permitiendo que el nitrógeno se acumule en la época seca cuando las plantas no pueden utilizarlo el aumento de otros elementos como el fósforo y el potasio ha sido relacionado también con la presencia de costras (Aguilar, Cacheux, & Álvarez, 2004).

En resumen según Belnap & Lange (2003) el interés despertado por la CBS no es sorprendente, ya que representa un importante aporte de nitrógeno (N) al suelo, incrementa su estabilidad y protege frente a la acción erosiva de la lluvia y el viento, favorece la agregación y cohesión de partículas de suelo, modula la infiltración y afecta

de manera directa a las plantas vasculares influyendo en su establecimiento, contenido nutricional y estado hídrico.

#### **1.4 Panorama mundial de las Costras Biológicas del Suelo**

Las investigaciones sobre las costras biológicas han sido dirigidas principalmente, hacia la determinación de su composición, distribución y taxonomía, así como hacia el papel que juegan las especies de cianobacterias como fijadoras de nitrógeno.

En diferentes países como México, existe escaso conocimiento sobre las especies, diversidad y beneficios que proporcionan las costras biológicas a los ecosistemas donde se presentan (Jiménez A. , 2005) e igualmente sobre la superficie que éstas ocupan, a diferencia de lo que ocurre en países como Australia o Estados Unidos, en donde se ha colectado información sobre la cobertura de costras biológicas del suelo desde mediados de 1980´s (Belnap, Rosentreter, & Leonard, 2001).

Si bien la CBS comenzó a estudiarse de forma activa a partir de los años 50, es a partir de los años 80 y 90 cuando se produce un notable incremento en el conocimiento sobre estos organismos, con numerosos estudios dedicados a estudiar su ecofisiología, taxonomía, distribución y papel en los flujos de agua y nutrientes (Belnap & Lange, 2003)

Estos estudios han continuado en la última década, habiéndose ampliado con nuevas líneas de investigación que exploran su restauración (Bowker, 2007) y su potencial como sistema modelo para estudiar cuestiones generales como las interacciones bióticas y las relaciones entre biodiversidad y funcionamiento del ecosistema (Bowker, Maestre, & Escolar, 2010).

El número de estudios sobre la CBS no para de aumentar y su amplia distribución potencial puede llegar a ocupar casi el 40 % de la superficie terrestre; (Belnap, 2006), la mayor parte de la investigación con estos organismos se realiza en Estados Unidos, si bien los trabajos procedentes de zonas semiáridas y áridas de Australia, China, España y México han aumentado considerablemente. Pese a que la CBS ha sido descrita en Venezuela, Argentina, Chile y Perú, cabe destacar la ausencia de estudios sobre la ecología de estos organismos en estos países, que tienen condiciones idóneas en buena parte de su territorio para su desarrollo (Castillo-Monroy & Maestre, 2011).

Aunque la CBS ha sido encontrada en ecosistemas tanto árticos, boreales, como áridos, es en estos últimos donde aparentemente tienen mayor importancia ecológica ya que pueden llegar a cubrir hasta el 70% de su superficie (Belnap & Lange, 2003).

### **1.5 Panorama cubano de las Costras Biológicas del Suelo**

La Facultad de Ciencias Agrarias en la Universidad de Cienfuegos impulsa un proyecto llamado **“Evaluación de las características de costras biológicas de suelo presentes en suelos agropecuarios de municipios de la provincia de Cienfuegos, como bioindicadores para el monitoreo de procesos de degradación y de contaminación”** el cual evidencia estudios relacionados con el tema de las Costras Biológicas del Suelo como :Estudio prospectivo de la presencia de costras biológicas (CBS) para evaluar su empleo como indicador de calidad biológica en áreas degradadas de la CPA “Mártires de Barbados” en la provincia Cienfuegos (Muñoz Sarduy, 2020);Propuesta para conformar el sustrato de vitroplantas en fase de aclimatación, en función de la retención de humedad y manejo del riego (León Hernández, 2020) pero empleadas como una alternativa biológica en la fertilización de cultivos de interés económico aun esta por explorar por lo que el presente estudio busca ampliar el conocimiento acerca del efecto de CBS dominadas por cianobacterias como biofertilizante para encontrar una alternativa biológica que permita suplir la demanda de nitrógeno en los cultivos.

### **1.6 Las Cianobacterias**

Las cianobacterias, también denominadas cianofíceas o algas verde-azules son microorganismos unicelulares fotoautótrofos (producen su propio alimento), tienen una larga historia evolutiva; la mayoría de geólogos y geoquímicos están de acuerdo en que su origen se extiende 3,500 millones de años atrás en la Era Proterozoica, conocida también como era de las cianobacterias (Seguí, 2019).

Las cianobacterias son clasificadas dentro del Reino monera, compartiendo características comunes con las demás procariontes, como la ausencia de un núcleo, poseen pared celular de peptidoglicano parecida a la de las bacterias gram negativas. Presentan la capacidad de realizar fotosíntesis oxigénica, proceso por el cual se convierte la energía lumínica en química, liberándose oxígeno procedente de la ruptura

de moléculas de agua. Pueden mostrar una variedad de colores debido a diferentes combinaciones de los pigmentos fotosintéticos (clorofila a, carotenoides y ficobiliproteínas) (Calderon Díaz, Trujillo Tapia, & Ramírez Fuentes, 2014).

Las cianobacterias acostumbran vivir sin demasiadas exigencias nutricionales; solo algunas especies marinas requieren algún factor de crecimiento (temperatura, pH, condiciones de luz, etc.). Con luz pueden crecer en medios minerales, cuyas sales nitrogenadas inorgánicas y bicarbonato aprovechan para abastecerse de nitrógeno y carbono; también el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) atmosférico constituye una excelente fuente de carbono para ellas. Debido a los pocos requerimientos y a su enorme capacidad de adaptación a condiciones ambientales cambiantes a lo largo de la evolución, las cianobacterias han colonizado casi todos los rincones del planeta (Gupta, et al., 2013).

El tamaño celular de las cianobacterias, o algas verde-azuladas, está comprendido entre los 5 y 20  $\mu\text{m}$ , son de mayor tamaño que las bacterias pero menores que las células eucarióticas (Calderon Díaz, Trujillo Tapia, & Ramírez Fuentes, 2014).

### **1.7 Funcionalidad de las cianobacterias**

Las cianobacterias comparten con algunas otras bacterias la habilidad de tomar el dinitrógeno ( $\text{N}_2$ ) del aire, donde es el gas más abundante, y reducirlo a amonio ( $\text{NH}_4$ ), una forma que todas las células pueden aprovechar. Los autótrofos que no pueden fijar el dinitrógeno ( $\text{N}_2$ ), tienen que tomar nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), que es una sustancia escasa (Ramírez Cárdenas & Ayala Islas, 2014).

Existen estudios que involucran preparados con varias cepas de microalgas, como es el desarrollado en la India. En este estudio se realizó un biofertilizante con cepas de *Nostoc* sp., *Anabaena doliolum*, *Calothrix* sp., *Westiellopsis* sp. y *Phormidium papyraceum*. Los resultados sugieren que el aporte de nitrógeno de este biofertilizante, aumentó el crecimiento de las plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) y que combinándolo con otros fertilizantes comerciales puede resultar siendo una alternativa económicamente viable (Ortiz Méndez, 2015).

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. Igualmente, las cianobacterias empleadas como biofertilizantes se consideran seguras y su uso no resulta perjudicial en procesos ecológicos o ambientales (Hernández Benítez & Araujo Vidal, 2016).

### **1.8 Importancia del nitrógeno como elemento de fertilización**

Existen dos categorías de nutrientes del suelo, los micronutrientes y los macronutrientes. Los micronutrientes o microelementos, son aquellos que las plantas necesitan en pequeñas cantidades para su crecimiento; entre estos se encuentran el hierro, el zinc, el manganeso, el cobre, el molibdeno, el cloro y el boro. Los macronutrientes son aquellos que se requieren en grandes cantidades. Si el suelo es pobre en nutrientes se debe aplicar una gran cantidad de macronutrientes, ya que de estos depende el rendimiento del cultivo (FAO, 2002).

Los macronutrientes se dividen en primarios y secundarios. Los primarios son el nitrógeno, el fósforo y el potasio. Los secundarios son el magnesio, el azufre y el calcio. El nitrógeno (N) es el nutriente principal para el crecimiento de las plantas ya que supone de 1 a 4% del extracto seco de la planta. El nitrógeno puede ser absorbido en forma de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) o de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ); en la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas. Siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas; un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes (Ortiz Méndez, 2015).

### **1.9 Cianobacterias fijadoras de nitrógeno.**

Las cianobacterias, poseen un sistema fotosintético muy similar a los eucariotas. Existen como colonias o forman filamentos. Por lo general, las cianobacterias filamentosas tienen células especializadas llamados heterocistos, células redondas y con aspectos de estar más o menos vacías, que se encuentran distribuidas regularmente a lo largo del filamento o en un extremo del mismo y su función es la

fijación de nitrógeno a través de la enzima nitrogenasa. De un 5 a 10% de células, pueden convertirse en heterocistos (Garbisu, et al., 1999).

Algunas cianobacterias constituyen una excelente fuente de aminoácidos como aspartato, arginina y glutamato, además de vitaminas, enzimas de restricción, antibióticos lactámicos y ácidos grasos poliinsaturados ( $\gamma$ -linolénico), entre otros compuestos de interés económico (Franco, 2004).

Muchas cianobacterias, poseen la doble capacidad de fijar carbono y nitrógeno ya que los toman de la atmósfera en donde se encuentran en forma de gases dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) y dinitrógeno ( $\text{N}_2$ ), esta característica les permite desarrollarse sin problema en suelos pobres en nitrógeno. Otra gran ventaja que presentan las cianobacterias, es que tiene una amplia difusión, desde los fríos ambientes de la Antártica y el Ártico, hasta en áridos y cálidos desiertos del planeta. Se conoce que los agregados de cianobacterias, contribuyen a cementar los suelos en una capa que resiste al viento y la fuerza de arrastre del agua, proporcionan una excelente retención de la humedad y son una fuente de materia orgánica. En ambientes con una alta porción de suelo descubierto de vegetación, las cianobacterias ayudan a la protección y estabilización (Cruz Salazar, 2009).

Las cianobacterias son de gran importancia ecológica, ya que actúan como colonizadoras de suelos quemados, erosionados y degradados donde se desarrollan a partir de sales, agua y luz (Iglesias & Montero, 2005).

El género *Anabaena* que posee heterocistos, presenta una relación simbiótica importante con vegetales inferiores como las Briofitas, es el caso del helecho acuático *Azolla sp.*, facilitándole al mismo la captación de nitrógeno. Tomando este ejemplo de la naturaleza, se ha empleado este helecho en cultivos de arroz, incorporando de esta forma las cianobacterias al suelo, esta práctica agrícola es muy antigua, ya que se realizaba en el sudeste de Asia hace cientos de años. La simbiosis *Azolla-Anabaena*, aporta más de la mitad del nitrógeno necesario para el arroz, al utilizar esta asociación, el cultivo de arroz disminuye las pérdidas de agua, nitrógeno, regula el pH y la temperatura del agua, reduce la proliferación de plantas indeseables y aumenta los rendimientos (Montaño, 2005; Iglesias & Montero, 2005).

Algunas cianobacterias de vida libre también poseen las mismas características que *Anabaena azollae*, es decir tienen la capacidad de reducir el nitrógeno atmosférico a amoníaco y de esta forma volverlo biodisponible para su absorción por parte de las plantas. Si estas cianobacterias de vida libre son aplicadas al suelo, adicionan además de nitrógeno promotores de crecimiento como la vitamina B<sub>12</sub>, ayudan a la aireación y capacidad de retención de agua del suelo y llegan a ser parte de la biomasa del sustrato cuando las células cumplen con su ciclo vital (Ghosh, 2002).

Según (García R. , 2005) las cianobacterias pueden actuar como:

- Biofertilizantes de arrozales, por inoculación con helechos flotantes como *Azolla* conteniendo la cianobacteria *Anabaena* la cual proporciona una fijación simbiótica de nitrógeno,
- Bioestimulantes obtenidos de extractos líquidos de *Spirulina* o de microalgas,
- Estructurador de suelos, por aplicación de microalgas vivas,
- Biofertilizante, por inoculación al suelo de cianobacterias fijadoras de nitrógeno de manera no simbiótica

Las técnicas de fertilización empleando cianobacterias más conocidas en el mundo son dos: la simbiosis *Azolla-Anabaena* y con cianobacterias vivas inoculadas al suelo. La flora cianobacteriana del suelo es muy variable y su biomasa en un suelo agrícola puede ser de 200 Kg de peso fresco/ha y, dependiendo de la estructura de suelo, pueden alcanzar los 30 cm de profundidad por poca luz que llegue (García R. , 2005).

### **1.10 Los biofertilizantes**

Un biofertilizante, es un fertilizante orgánico natural que ayuda a proporcionar a las plantas todos los nutrientes que necesitan y a mejorar la calidad del suelo, creando un entorno microbiológico natural (FAO, 2014).

Los biofertilizantes y bioestimuladores representan un componente vital de los sistemas agrícolas sustentables, constituyendo un medio económicamente atractivo y ecológicamente aceptable, permitiendo reducir los insumos externos y mejorar la cantidad y calidad de los recursos internos, mediante la utilización de microorganismos del suelo debidamente seleccionados, capaces de aportar a los cultivos el nitrógeno fijado de la atmósfera, fósforo transformado a partir del que está fijado en el suelo y

sustancias fisiológicamente activas, que al interactuar con la planta, promueven una mayor activación del metabolismo (López, 2008) .

Los biofertilizantes continuarán jugando un papel decisivo en el desarrollo agrícola, esto sin tener en cuenta cuáles tecnologías nuevas puedan surgir.

Con lo anterior se evidencia la importancia que ha cobrado el uso de biofertilizantes para el desarrollo y sostenimiento de los diferentes cultivos a nivel nacional, ya que una aplicación con los procesos técnicos adecuados puede resultar en aumentos de rendimientos, calidad y rentabilidad económica de los cultivos

### **1.11 Uso de bacterias como biofertilizantes**

Las bacterias promotoras de crecimiento en plantas (BPCP) son un grupo de diferentes especies de bacterias que pueden incrementar el crecimiento y productividad vegetal. Entre los organismos más conocidos están las especies pertenecientes a los géneros *Rhizobium*, *Pseudomonas*, y *Azospirillum*. Las BPCP pueden clasificarse en dos grupos: (I) Bacterias promotoras de crecimiento en plantas, donde la bacteria afecta a las plantas suprimiendo otros microorganismos. Los mecanismos que estas bacterias utilizan pueden ser a través de su propio metabolismo (solubilizando fosfatos, produciendo hormonas o fijando nitrógeno), afectando directamente el metabolismo de la planta (incrementando la toma de agua y minerales), mejorando el desarrollo radicular, incrementando la actividad enzimática de la planta o “ayudando” a otros microorganismos benéficos para que actúen de mejor manera sobre las plantas. (II) Bacterias promotoras de crecimiento en plantas con capacidad de control biológico, las cuales promueven el crecimiento de la planta al suprimir los fitopatógenos (Ferrera, 2007).

Molina (2009) plantea que el uso de bacterias del género *Azotobacter* en la agricultura es muy amplio, y ya se utilizan preparados especiales como biofertilizantes en grandes cultivos de cereales, obteniendo excelentes resultados en el aporte de nitrógeno para las plantas, por lo que esta bacteria sirve de patrón comparativo frente a otros microorganismos.

## 1.12 Las cianobacterias y su uso como biofertilizantes

Las cianobacterias son organismos fotosintéticos oxigénicos. Representan una división del reino *Bacteria* y tienen una relación filogenética lejana con las bacterias *Gram positivas*. Existe una amplia diversidad de cianobacterias. Se conocen formas unicelulares y filamentosas (Madigan, Martinko, & Parker, 2003).

Muchas cianobacterias filamentosas son capaces de llevar a cabo procesos de diferenciación celular (como las pertenecientes a los géneros *Anabaena* y *Nostoc*) entre los cuales están la formación de acinetos, hormogonios y heterocistos. Los acinetos son células que se desarrollan como formas de resistencia en circunstancias ambientales adversas. Los hormogonios son filamentos móviles que juegan un papel en la dispersión de la estirpe. Los heterocistos son células especializadas en la fijación del nitrógeno atmosférico ( $N_2$ ) que se forma en ausencia de fuente de nitrógeno combinado en el medio externo (Gutierrez, 1997).

Las células vegetativas realizan la fotosíntesis y producen esqueletos carbonados que deben ser transferidos en parte al heterocisto. El heterocisto por su parte fija el nitrógeno atmosférico, produciendo amonio ( $NH_4^+$ ) el cual se incorpora a esqueletos carbonados para dar lugar a aminoácidos que son transferidos a las células vegetativas (Ferrera, 2007).

La fijación y transferencia de nitrógeno desde el cianobionte (cianobacteria simbiótica) al hospedero ocurre en todas las simbiosis, siendo los heterocistos, los sitios de fijación y de las primeras reacciones de asimilación. El nitrógeno puede existir en las células en las formas  $NH_4^+$  (amonio) o  $NH_3$  (amoníaco) que puede difundir a través de las membranas o ser reciclado por las células a través de un sistema transportador de amonio, devolviéndolo desde el espacio periplásmico conjuntamente con un protón. El transporte de nitrógeno desde los tejidos simbióticos hacia las otras partes del hospedero se hace en forma de aminoácidos (Figueroa, 2004).

El proceso de conversión del nitrógeno gaseoso en productos mayormente disponibles y asimilables se desarrolla por la acción de microorganismos presentes en el suelo, algunos de ellos como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Beijerinckia* (microorganismos que establecen asociaciones rizocenóticas con plantas gramíneas), *Rhizobium*,

Bradyrhizobium, Azorhizobium (bacterias que establecen simbiosis con leguminosas), Frankia (actinomicetos simbióticos con plantas leñosas), Nostoc (microalgas cianofíceas que establecen simbiosis con diversas plantas) o con Anabaena (que establecen simbiosis con helechos) (Carvajal & Mera, 2010).

Un ejemplo de esto según Carvajal & Mera(2010), fue el desarrollado por Bocchi y Malgioglio quienes emplearon la asociación helecho acuático-cianobacteria acuática Azolla-Anabaena como fertilizante en cultivos de arroz del norte de Italia. Esta simbiosis ha sido empleada con frecuencia en cultivos de arroz en diferentes regiones del mundo, especialmente en Asia. Para hacer seguimiento del proceso, se evaluó la dinámica de crecimiento de las plantas, la resistencia/tolerancia frente a bajas temperaturas y presencia de herbicidas en el sustrato. La investigación permitió obtener producciones de nitrógeno cercanas a 40 Kg/Ha, en un período de tres meses, y verificar incrementos en la tasa de crecimiento del arroz.

Otro ejemplo, según Maqubela (2008) relaciona a Nostoc sp. con su potencial como biofertilizante en Sudáfrica, donde se hizo una investigación sobre suelos degradados, para mejorar los rendimientos en cultivos. Aquí se incorporaron 6 g de Nostoc sp. /m<sup>2</sup> de suelo antes de sembrar maíz. Los resultados sugieren que se mejora la fertilidad y mejora la estabilidad estructural del suelo degradado; además estos resultados sugieren que mediante el uso de cianobacterias, el rendimiento y el valor nutricional de los cultivos podrían mejorarse sin necesidad de usar fertilizantes costosos.

También existen estudios que involucran preparados con varias cepas de microalgas, como es el desarrollado en la India. En este estudio se realizó un biofertilizante con cepas de Nostoc sp., Anabaena doliolum, Calothrix sp., Westiellopsis sp. y Phormidium papyraceum. Los resultados sugieren que el aporte de nitrógeno de este biofertilizante, aumentó el crecimiento de las plántulas de arroz (*Oryza sativa* L.) y que combinándolo con otros fertilizantes comerciales puede resultar siendo una alternativa económicamente viable (Tripathi, 2007).

### **1.13 La cachaza como elemento de fertilización**

De acuerdo a Pérez O. (2003) el proceso agroindustrial de la caña de azúcar genera una serie de subproductos los cuales por su composición química, representan una

riqueza extraordinaria de aporte de nutrientes minerales a los suelos; la cachaza se posesiona como el principal subproducto de la industria azucarera con mayor valor fertilizante.

La cachaza representa un problema en los ingenios por las grandes áreas que se requieren para su almacenamiento, además, genera mal olor y, en muchas ocasiones, es un foco de infección y un riesgo para la conservación del ambiente. Sin embargo, lejos de ser un problema ambiental, este subproducto representa un abono orgánico con alto contenido nutrimental, dependiendo de la zona cañera y del proceso industrial. Se ha reportado que posee en base seca de 46 a 70% de materia orgánica (MO), 2.29% de N, 2.07% de P, 0.56% de K, 13% de Si, 0.68% de  $\text{SO}_3$ , 0.11% de Cl, 5.63% de CaO, 0.07% de  $\text{Na}_2\text{O}$ , 0.25% de  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , 0.47% de MgO y 6.24% de  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Arreola Enriquez, et al., 2004).

Con la cachaza se ha determinado una respuesta a corto plazo en la composición química del suelo, generalmente cuando se aplican dosis de hasta 100 toneladas/ha. Por lo que el uso con criterio técnico de esta fuente de fertilización orgánica, ha constituido una opción económica importante, principalmente por los altos costos que presentan en la actualidad los fertilizantes químicos (Ríos Obregón, et al., 2018).

#### **1.14 Taxonomía sistemática del maíz**

Atendiendo a la clasificación botánica, el maíz cultivado pertenece al

Reino: Planta

Grupo: Fanerógamas

División: Espermafitas

Subdivisión: Angiospermas

Clase: Monocotiledóneas

Orden: Glumíferas

Familia: Gramíneas

Tribu: Maydeae

Género: Zea

Especie: Zea mays L.

El maíz que actualmente conocemos es una planta totalmente domesticada por el hombre, incapaz de reproducirse espontáneamente, debido a la indehiscencia de sus semillas. Sin embargo, la reproducción selectiva a la que ha estado sometida por el hombre y la amplia adaptabilidad que se presenta a diferentes condiciones climáticas, han dado lugar a una gran cantidad de variedades de esta especie (Acosta, 2009).

### 1.15 Ciclo del cultivo de maíz

INIAP( 2011) manifiesta que el ciclo del cultivo en variedades mejoradas llega hasta los 270 días como muestra la figura 1; sin embargo, el periodo depende de la variedad y del propósito, si es para choclo o grano seco.

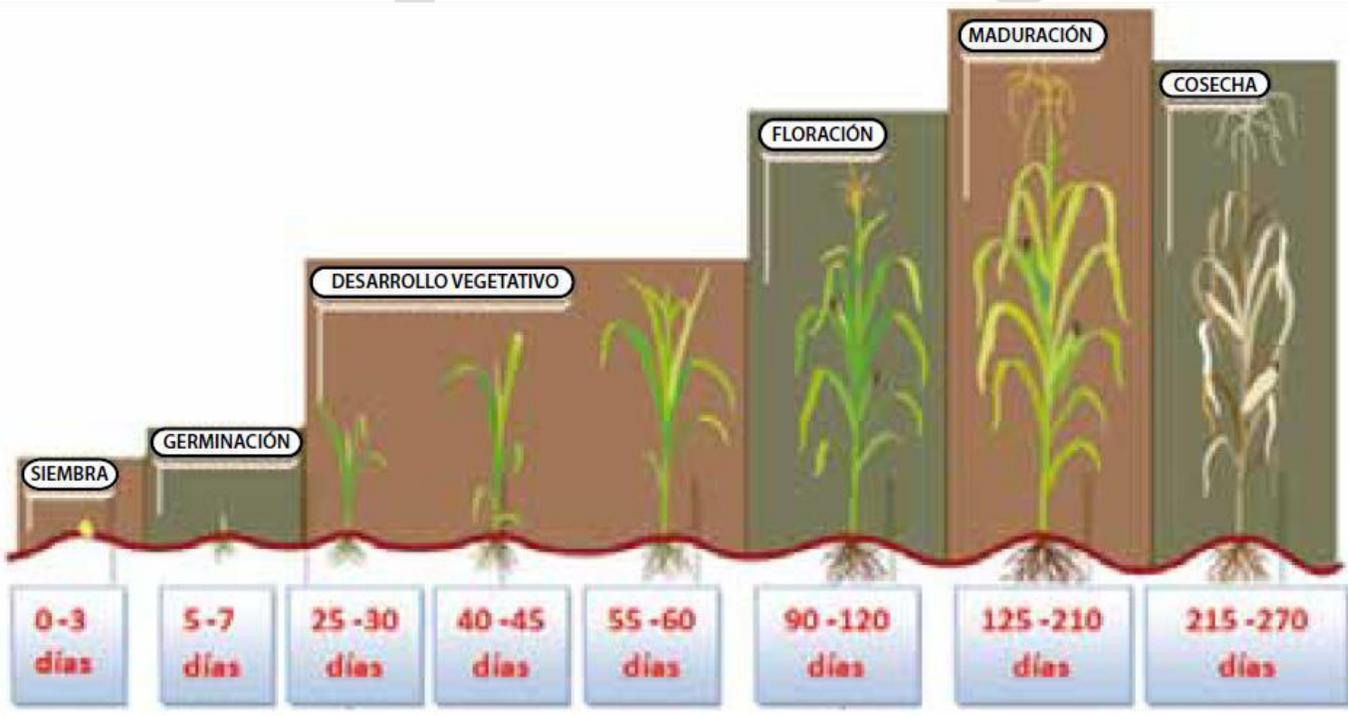


Figura 1. Ciclo del cultivo de maíz.

Fuente: INIAP (2011).

### 1.16 Morfología de la planta de maíz

El maíz es una planta herbácea de gran desarrollo vegetativo, compuesta de raíz, tallo, hojas y flores. Su dotación cromosómica es  $2n = 20$ . Fisiológicamente, pertenece al grupo de plantas C4, lo que unido al dominio del cultivo y a la mejora genética, han dado lugar a un incremento espectacular en el rendimiento de la planta de maíz. Es una

planta anual, cuyo ciclo vegetativo puede oscilar entre los 80 y 200 días desde la siembra hasta la cosecha, según los ciclos de maduración (Paliwal, 2001).

La planta es monoica y diclina, es decir, posee flores femeninas y masculinas en el mismo pie. Esta separación de los órganos sexuales permite estudiar de manera cómoda y eficaz el comportamiento genético de la especie (Poetig, 1982).

La fecundación de las flores femeninas es parcialmente alógama, con un porcentaje de alrededor del 8% de autogamia, es decir, puede ser fecundada tanto con polen de otra planta como con el suyo propio. La polinización puede ser anemófila, llevada a cabo por agentes naturales (principalmente el viento), o dirigida por el hombre, y se emplea en los métodos de mejora genética (Poetig, 1982; Violic, 2001).

### **1.16.1 Sistema radicular**

Según Silva Díaz, Alfaro Jiménez & Jiménez Aponte (2009) el sistema radicular del maíz sigue la misma estructura que en las restantes gramíneas, así podemos distinguir los siguientes tipos de raíces:

**Raíces primarias o seminales:** son emitidas por la semilla, y disponen de gran cantidad de pelos absorbentes.

**Raíces secundarias o adventicias:** son las raíces principales y constituyen casi la totalidad del sistema radicular. Se originan a partir de la corola (punto de crecimiento próximo a la superficie, unido a la semilla por el mesocotilo o rizoma) y surgen de los entrenudos basales subterráneos del tallo, dando lugar a un intenso sistema radicular fasciculado. Puede llegar a medir en profundidad dos tercios de la longitud del tallo, y su misión es netamente absorbente.

**Raíces aéreas o de sostén:** aparecen en los nudos de la base del tallo, por encima de la corola. Su función es de anclaje, favoreciendo la estabilidad de la planta y evitando los problemas de encamado.

### **1.16.2 Las hojas**

En la planta de maíz encontramos tres clases de hojas vegetativas:

Foliares: se encuentran en cada uno de los nudos del tallo principal. Son alargadas, con borde áspero y algo ondulado. Constan de dos partes, el limbo, que es amplio y laminar, se sostiene por el nervio central y se extiende desde el tallo hacia fuera. La vaina, que abraza al tallo, a la altura del entrenudo; ésta es más delgada y rígida que el limbo, y posee una gruesa nerviación central. El número de las hojas es variable, pudiendo oscilar entre 10 y 30, y presentan una disposición dística y alterna (Alfaro, et al., 2009).

La longitud de cada hoja depende de su posición en la planta, de las temperaturas y de otros efectos del cultivo. También la nutrición mineral, en especial la de nitrógeno, aumenta la superficie foliar total en relación al número de hojas. Dicha superficie también se ve incrementada por fotoperiodos largos y se reduce ante elevadas densidades de siembras, por efecto de la competencia y del sombreado mutuo (Silva Díaz, Alfaro Jiménez, & Jiménez Aponte, 2009).

### **1.16.3 El tallo**

Acevedo Vergara, et al. (2011) plantea que el tallo es leñoso y de gran porte, que puede medir desde 50 cm hasta 4 m. Está formado por entrenudos más o menos distantes, siendo más cortos los entrenudos en la base del tallo. Tanto el número de nudos como el de entrenudos son variables.

Según el autor antes mencionado también el tallo del maíz es el único de la familia de las gramíneas que posee médula en su interior. Es grosor del tallo pueden oscilar entre 2 y 6 cm y disminuye en sentido ascendente. Su sección es circular, aunque va sufriendo una depresión desde la base hasta el nudo de inserción de la mazorca, siendo máximo en dicho nudo. Desde ese punto hasta el pedúnculo de la inflorescencia masculina, la sección vuelve a ser circular.

El pedúnculo de inserción de la mazorca en el tallo es relativamente corto, dependiendo de cada variedad.

A partir de las 4 semanas siguientes a la germinación, aproximadamente, aparecen en el tallo los nudos y entrenudos y se diferencia interiormente la inflorescencia masculina. Después los entrenudos van distanciándose entre sí dando altura a la planta y van

distinguiéndose unos pequeños abultamientos laterales que son el esbozo de las espigas que darán lugar a las mazorcas (INIAP, 2011).

De los nudos más cercanos a la base pueden nacer tallos secundarios o hijuelos que no suelen producir mazorcas, o en el caso de producirlas suelen abortar. Mediante la mejora genética se ha conseguido que el maíz no produzca hijuelos, para evitar competencias en la planta (Poetig, 1982) .

#### **1.16.4 La semilla**

El fruto del maíz, al igual que el del resto de las gramíneas se le denomina cariósido, y es seco e indehisciente. Se clasifica como grano desnudo, es decir, las glumillas que lo protegen se desprenden del mismo espontáneamente. La coloración característica del grano de maíz, viene dada por la pigmentación de la capa más externa del albumen, de base proteica, llamada aleurona; las capas internas del endospermo suelen ser de pigmentación amarilla o blanca (Poetig, 1982).

#### **1.17 Importancia económica del maíz**

En la actualidad sigue siendo uno de los cultivos más importantes en la base de la alimentación humana y animal a nivel mundial, en la economía y en la investigación y en el desarrollo científico del reino vegetal. Según datos del Ministerio de Medio Ambiente y del Medio Rural y Marino, y del Anuario de Producciones de la FAO, en el año 2007 la producción mundial de maíz alcanzó una cifra de alrededor de 690 millones de toneladas, y superó a las producciones de trigo y arroz, que hasta ese año habían sido los cereales principales (FAO, 2014).

La superficie cultivada de maíz a nivel mundial ha ido aumentando en los últimos años, situándose en ese año de 2007, en unos 154 millones de hectáreas (ha) con un rendimiento promedio de 4474 kg.ha<sup>-1</sup>.

Los principales países productores de maíz son Estados Unidos con 31 millones de ha y China con unos 24 millones de ha, y otros como Argentina, México y Rumanía. Estados Unidos es el país que más exportaciones realiza en el comercio internacional y es el responsable del 55%, aproximadamente, del total exportado en el citado 2007.

Países como Argentina y China también evolucionan notablemente, aunque con aumentos más moderados (Acevedo Vergara, et al., 2011).

### **1.18 MAIG-Dorado**

La variedad de maíz MAIG-Dorado tiene como año de liberación el 2018, permite plantas de buena altura y frutos robustos. Según el Catálogo de Variedades del Instituto de Investigaciones de Grano para esta variedad de Cantillo Perez, Rodríguez Acosta, & Villanueva Amador (2018) plantean que el grano es dentado de color amarillo de 8,5 mm de longitud; presenta de 16 a 18 hojas con coloración de la estigma y la panícula morado, 240 son los centímetros que esta planta puede alcanzar en un ciclo biológico de 140 días y económico de 90 días (grano tierno) 150 días (grano seco).

## **Capítulo 2. Materiales y métodos**

### **Período y localización de la investigación**

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, de la provincia de Cienfuegos, Cuba.

#### **2.1.1 Identificación de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias en el banco del laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agrarias**

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

Para la selección de estas estructuras nos apoyamos en el banco de CBS del Laboratorio de Microbiología del Departamento de Ciencias Biológicas Aplicadas, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad de Cienfuegos, previamente recolectada e identificadas en otras investigaciones por Muñoz Sarduy (2020). Para corroborar la selección del banco de CBS del laboratorio 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 identificación bajo microscopio estereoscopio.

##### **2.1.2 Identificación de cianobacterias**

Aquellas muestras seleccionadas que presentaban semejanza con las características morfológicas de cianobacterias, fueron observadas en el microscopio óptico, utilizando un portaobjeto y agregando una muestra por medio de un asa microbiológica, según la

metodología empleada por Hernández Benítez & Araujo Vidal (2016) identificándose las morfoespecies buscando la presencia de heterocistes.

## 2.2 Determinación de la influencia de los tratamientos con diferentes proporciones de Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias y cachaza sobre las variables morfo agronómicas en el cultivo del maíz

### 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 municipio de Lajas, de un plato exterior, de la zafra del año 2019, fue una cachaza vieja por lo que esta deshidratada y fermentada.

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

Tabla 1. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	% de sustrato orgánico mezclado
T1	Testigo 100% Suelo
T2	50 %Suelo 50%CBS
T3	50% Suelo 50% Cachaza
T4	75% Suelo 25% CBS
T5	75% Suelo 25% Cachaza
T6	50% Suelo 25% CBS 25% Cachaza
T7	50% Suelo 30% CBS 20% Cachaza
T8	50% Suelo 20% CBS 30% Cachaza

Tabla 2. Distribución de las bolsas

T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	Réplica 1
T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T1	Réplica 2
T3	T4	T5	T6	T7	T8	T1	T2	Réplica 3
T4	T5	T6	T7	T8	T1	T2	T3	Réplica 4
T5	T6	T7	T8	T1	T2	T3	T4	Réplica 5
T6	T7	T8	T1	T2	T3	T4	T5	Réplica 6

### **Caracterización del suelo**

La clasificación del suelo se realizó según la Segunda Clasificación Genética de Suelo (IS, 1999). Y para la caracterización se tuvo en cuenta algunas propiedades físicas evaluadas de manera visual según el Método de Evaluación Visual (EVS) de Shepherd (2000) y la guía de Campo (Benites, 2015), basado en la observación de importantes propiedades del suelo.

No se determinó la concentración inicial de nitrógeno, ni contenido de semillas de arvenses, ni la presencia de patógenos en el suelo.

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 cm<sup>2</sup>) 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 (López Fleites & Gil Díaz, 2011) .

## 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, teniendo en cuenta lo recomendado por León Noguera & Ravelo Ortega (2010) para este tipo de cultivo.

## Riego

Para el riego se tuvo en cuenta las precipitaciones en el periodo experimental, según muestra la figura 2, en los días donde no hubo precipitaciones se realizó el riego por inundación (Pacheco Seguí, 1987) de forma manual para ello se utilizó agua de lluvia almacenada.

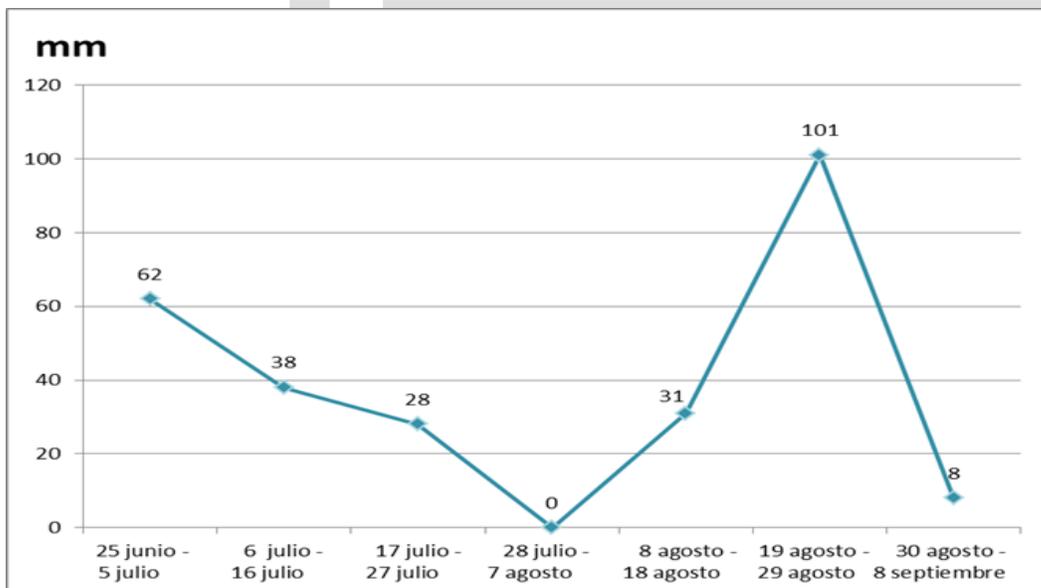


Figura 2. Precipitaciones en el periodo comprendido del 25 de junio al 8 de septiembre del 2021 medido por el Pluviómetro 913 del municipio de Lajas.

## **Selección de las variables morfo agronómicas a medir**

El período 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 (Sangoquiza Caiza, et al., 2021).

### **Altura de planta**

Se mide con una cinta métrica la distancia en centímetro desde la base de emergencia en la semilla hasta la hoja bandera (Marín Gómez, 2008).

### **Diámetro del tallo**

Se mide con pie de rey en centímetros en la base del tallo ya que este disminuye en sentido ascendente según Acevedo Vergara, et al.,( 2011).

### **Otros indicadores a medir**

Aparición del coleóptilo sobre la superficie del suelo y desarrollo radicular fueron otros de los indicadores a medir

### **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 según Sangoquiza Caiza, et al., (2021) 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. El valor de P establecido fueron de 0,05.

## Capítulo 3. Resultados y Discusión

### 3.1 Identificación de las Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias en el banco del laboratorio de Microbiología de la Facultad de Ciencias Agrarias

#### 3.1.1 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, además nos apoyamos en la descripción realizada por Muñoz Sarduy (2020). En este caso presentaban color variable de acuerdo a las morfoespecies dominante, en la gama de colores desde parduzcas intensas, pardo verdoso o pardo negruzco, verde oscuro hasta tonalidades claras con aspecto liso y gelatinoso como se muestra en la figura 3 coincidiendo con el criterio expuesto en investigaciones de Castillo-Monroy & Maestre (2011).



Figura 3. Costras biológicas del suelo dominadas por cianobacterias observadas bajo microscopio estereoscópico.

#### 3.1.2 Identificación de cianobacterias

Una vez llevada la muestra al microscopio óptico se logró identificar la presencia de *Nostoc sp.* según la Clave de géneros y especies de Barreno & Pérez-Ortega (2003) que describe este género con filamentos formados por células uniformemente redondeadas con aspecto de collar de color verde azulado y células hiladas llamadas heterocister (células encargadas de la fijación de nitrógeno atmosférico).

### **3.2 Determinación de la influencia de los tratamientos con diferentes proporciones de Costras Biológicas del Suelo (CBS) dominadas por cianobacterias y cachaza sobre las variables morfo agronómicas en el cultivo del maíz**

#### **Caracterización del suelo**

El tipo de suelo que presenta es Pardo con Carbonatos Típico, según los criterios de clasificación establecidos en la Segunda Clasificación Genética de Suelo (IS, 1999), formado a partir de proceso de evolución Sialitización en un medio rico en Carbonato de Calcio, existe predominio de minerales arcilloso de tipo 2:1(Montmorillonítica), la carbonatación y su lavado influyen en la formación y distribución del humus.

Perfil del tipo A (B) C con coloración variable como es Pardo oscuro grisáceo, ocupa relieve ligeramente ondulado y la Materia Orgánica con valores de 3 % (mediana), el pH muestra valor de 6.4 (medianamente ácido). El drenaje tanto interno como externo es bueno.

La clase textural es loam arcilloso o arenoso, con predominio del tipo arcilloso 2:1, por ello su Capacidad de Cambio Catiónico es de 25 - 55 cmol (+). Kg-1 considerada como ligeramente alta, así como la fertilidad natural.

#### **Variables morfo agronómicas a medir**

##### **Número total de hojas por planta**

Consideramos que 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 3 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 3 Media del número total de hojas a los 48 días de las plantas para los diferentes tratamientos.

<b>Tratamientos</b>	<b>Número de hojas unidades.</b>
<b>T1</b>	8
<b>T2</b>	10
<b>T3</b>	9
<b>T4</b>	9
<b>T5</b>	10
<b>T6</b>	9
<b>T7</b>	10
<b>T8</b>	9

Estos resultados se corroboran en el análisis estadístico de la tabla 4 donde si existen diferencias entre la cantidad promedio de hojas de las plantas para los diferentes tipos de tratamiento del suelo, evidenciado por los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA), donde, como el valor- $p = 0.0000$  es menor que la significancia prefijada  $\alpha = 0.05$ , se acepta que el promedio de hojas de las plantas para los diferentes tratamientos es diferente.

Tabla 4. Análisis ANOVA para el número total de hojas de las plantas para los diferentes tratamientos.

<b>Fuente</b>	<b>Suma de Cuadrados</b>	<b>GI</b>	<b>Cuadrado Medio</b>	<b>Razón-F</b>	<b>Valor-P</b>
<b>EFFECTOS PRINCIPALES</b>					
A:Tratamientos	93,1979	7	13,314	36,83	0,0000
B:BLOQUE	2523,41	7	360,487	997,26	0,0000
<b>RESIDUOS</b>	133,385	369	0,361478		

TOTAL (CORREGIDO)	2749,99	383			
-------------------	---------	-----	--	--	--

De la Prueba de Múltiple Rangos (LSD), se obtiene la tabla 5.

Tabla 5. Pruebas de Múltiple Rangos (LSD) en el número de hojas de las plantas para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Número de hojas* unidades.
<b>T1</b>	5,66 <sup>a</sup>
<b>T2</b>	7,12 <sup>f</sup>
<b>T3</b>	5,83 <sup>ab</sup>
<b>T4</b>	6,29 <sup>d</sup>
<b>T5</b>	6,85 <sup>e</sup>
<b>T6</b>	6,04 <sup>bc</sup>
<b>T7</b>	6,79 <sup>e</sup>
<b>T8</b>	6,10 <sup>cd</sup>

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

\* Media LS

En la tabla 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 indican que los tratamientos son estadísticamente iguales).

En la figura 4 se presenta el gráfico de medias que corrobora lo analizado anteriormente.

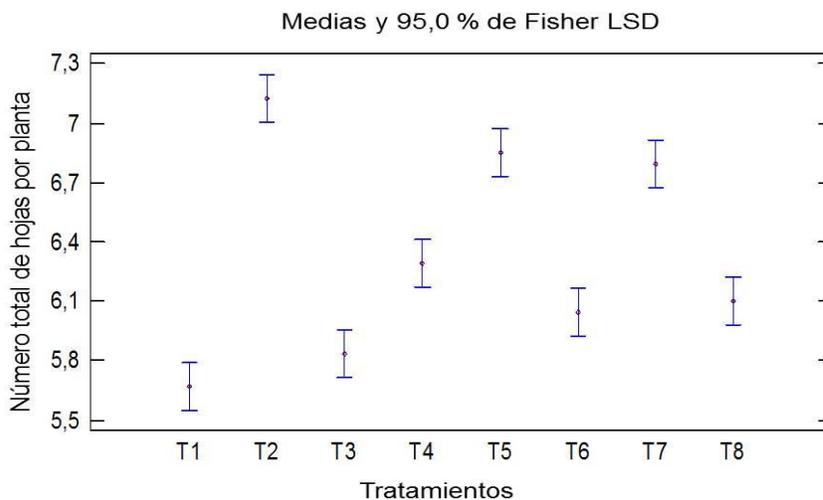


Figura 4. Medias del número de hojas de las plantas para los diferentes tratamientos.

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

<b>Tratamientos</b>	<b>Altura de la planta (cm)</b>
<b>T1</b>	70,3
<b>T2</b>	119,5
<b>T3</b>	83,3
<b>T4</b>	76
<b>T5</b>	109,3
<b>T6</b>	90,8
<b>T7</b>	119,8
<b>T8</b>	89,8

Similares resultados coinciden con el criterio planteado por Hernández Reyes, et al. (2019), donde observó mayor altura de planta en el tratamiento con cianobacterias aisladas del 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.

Estos resultados se corroboran en el análisis estadístico de la tabla 7 donde sí existen diferencias entre la cantidad promedio de la altura de las plantas para los diferentes tipos de tratamiento, evidenciado por los resultados obtenidos del análisis de varianza

(ANOVA), donde, como el valor- $p = 0.0000$  es menor que la significancia prefijada  $\alpha = 0.05$ , se acepta que el promedio de la altura de la plantas de las plantas para los diferentes tratamientos es diferente.

Tabla7. Análisis ANOVA para la altura de las plantas por los diferentes tratamientos.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamientos	27732,5	7	3961,78	84,88	0,0000
B:BLOQUE	241047,	7	34435,3	737,75	0,0000
RESIDUOS	17223,5	369	46,676		
TOTAL (CORREGIDO)	286003,	383			

De la Prueba de Múltiple Rangos (LSD), (Tabla 8).

Tabla 8. Pruebas de Múltiple Rangos (LSD) en la altura de las plantas para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Altura de la planta* cm
T1	39,91 <sup>a</sup>
T2	63,70 <sup>d</sup>
T3	46,89 <sup>b</sup>
T4	46,64 <sup>b</sup>
T5	59,91 <sup>c</sup>
T6	48,25 <sup>b</sup>
T7	64,18 <sup>d</sup>
T8	48,12 <sup>b</sup>

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

\* Media LS

De la tabla anterior se puede concluir que existen diferencias estadísticamente significativas con un nivel del 95% de confianza para la altura promedio de la planta para los diferentes tratamientos (Medias con la misma letra indican que los tratamientos son estadísticamente iguales). Esto se explica que 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 mayor influyeron en la altura de la planta, destacándose el T7 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.

En la figura 5 se presenta el gráfico de medias que corrobora lo analizado anteriormente.

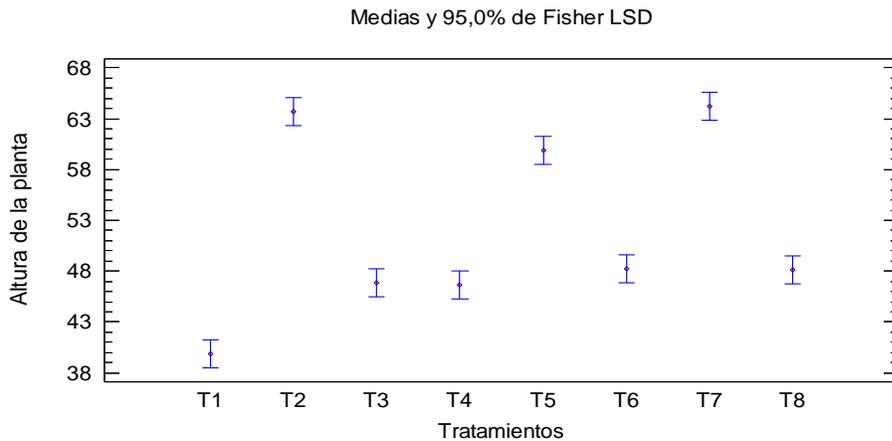


Figura 5. Medias de la altura de las plantas para los diferentes tratamientos.

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 ni tampoco los encontrado en caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) por Cuenya, et al., 2007).

Lo antes planteado pudiera deberse según Zérega(1993) 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 de 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 B<sub>12</sub>, 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 considerar que los tratamientos T2 y T7, son 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 9).

Tabla 9. Media del diámetro del tallo a los 48 días de las plantas para los diferentes tratamientos.

<b>Tratamientos</b>	<b>Diámetro del tallo (cm)</b>
<b>T1</b>	1,7
<b>T2</b>	2,1
<b>T3</b>	1,8
<b>T4</b>	1,9
<b>T5</b>	2,0
<b>T6</b>	1,9
<b>T7</b>	2,0
<b>T8</b>	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*.

La tabla 10 muestra los resultados obtenidos del análisis de varianza (ANOVA).

Tabla10. Análisis ANOVA para el diámetro del tallo de las plantas por los diferentes tratamientos.

Fuente	Suma de Cuadrados	GI	Cuadrado Medio	Razón-F	Valor-P
EFFECTOS PRINCIPALES					
A:Tratamientos	3,44875	7	0,492679	38,93	0,0000
B:BLOQUE	95,5662	7	13,6523	1078,74	0,0000
RESIDUOS	4,67	369	0,0126558		
TOTAL (CORREGIDO)	103,685	383			

Como el valor- $p = 0.0000$  es menor que la significancia prefijada  $\alpha = 0.05$ , se acepta que el diámetro del tallo de las plantas para los diferentes tratamientos es diferente. Este resultado indica que existen diferencias significativas para el diámetro del tallo en todos los tratamientos, aspecto este que coincide con Bolívar, Méndez Natera, & Otahola Gómez( 2009).

De la Prueba de Múltiple Rangos (LSD), se obtiene la tabla 11.

Tabla 11. Pruebas de Múltiple Rangos (LSD) para el diámetro del tallo de las plantas para los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Diámetro del tallo* cm
T1	1,05 <sup>a</sup>
T2	1,31 <sup>g</sup>
T3	1,15 <sup>c</sup>
T4	1,28 <sup>ef</sup>
T5	1,32 <sup>g</sup>
T6	1,24 <sup>d</sup>
T7	1,25 <sup>de</sup>
T8	1,11 <sup>b</sup>

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

\* Media LS

De la tabla 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 diferentes tratamientos (Medias con la misma letra indican que los tratamientos son estadísticamente iguales).

En la figura 6 se presenta el gráfico de medias que corrobora lo analizado anteriormente

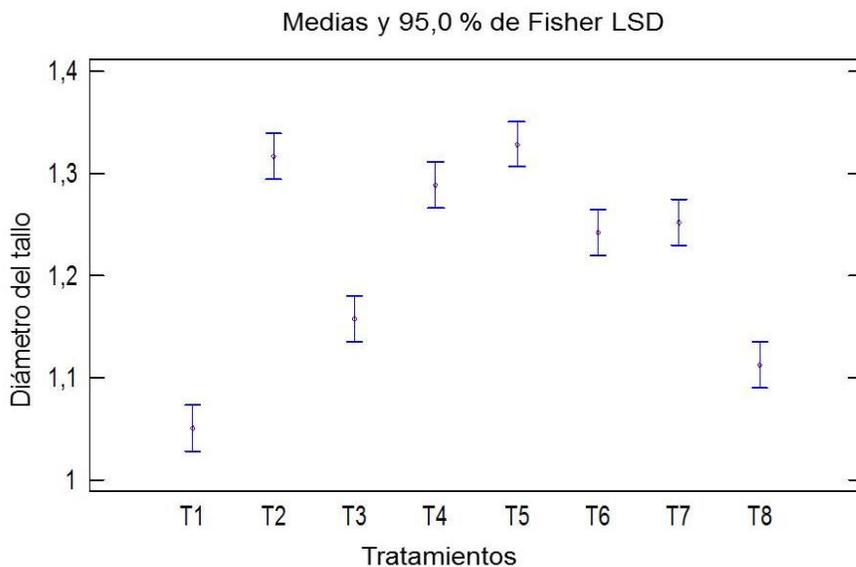


Figura 6. Medias del diámetro del tallo de las plantas para los diferentes tratamientos.

De 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 no coincide con lo reportado por Oñate Zúñiga (2016) que establece para este cultivo una duración aproximada 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 12 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 12. 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 por Defalco, et al. (2001) y 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 por algunos autores como una etapa de la germinación, estos plantean que puede ocurrir en uno o varios días, aspecto este que coincide con los resultados de nuestra 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, resultado que coinciden con este estudio pues 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.

Es válido destacar que durante el periodo experimental ninguna planta presentó dificultades en su desarrollo ni murió por lo que el establecimiento de las mismas fue satisfactorio al transcurrir los 54 días las 48 plantas persistían, también como muestra la figura 7 la presencia de plantas arvenses fue mínima.



Figura 7. Presencia de plantas arvenses en las bolsas.

El desarrollo radicular es débil al principio del período vegetativo (Oñate Zúñiga, 2016) sin embargo la figura 8 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 (Coyne, Nicol, & Claudius-Cole, 2009).



Figura 8. Raíces de plantas de maíz tomadas de diferentes tratamientos

1 Tratamiento 1) 100 % suelo; 2 Tratamiento 2) 50 %suelo y 50%costras; 3 Tratamiento 3) 50% suelo y 50%cachaza;4 Tratamiento 4) 75% suelo y 25% costra;5 Tratamiento 5) 75% suelo y 25% cachaza;6 Tratamiento 6) 50% suelo ,25% costra y 25% cachaza; 7

Tratamiento 7) 50% suelo, 30% costra y 20% cachaza; 8) Tratamiento 8) 50% suelo, 20% costra y 30% cachaza.

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 13, 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% CBS.

Tabla 13. Longitud y peso seco de las raíces.

<b>Tratamientos</b>	<b>Longitud cm.</b>	<b>Peso seco g.</b>
<b>T1</b>	21	0,37
<b>T2</b>	36	1,22
<b>T3</b>	27	0,83
<b>T4</b>	25	1,16
<b>T5</b>	30	0,48
<b>T6</b>	24	0,52
<b>T7</b>	25	0,89
<b>T8</b>	26	0,67

Con todos estos resultados es importante señalar que el tratamiento 2 (50% CBS) resultó ser el más efectivo en la evaluación de las 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

1. 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 CBS con un mayor porcentaje de dominancia por cianobacterias.
2. El tratamiento empleado con 50%(T2) de CBS resultó ser estadísticamente de mayor influencia sobre las variables morfo agronómicas evaluadas, aunque las combinaciones del CBS 30% con cachaza 20% (T7) también pudieran ser utilizadas en la fertilización del cultivo.
3. 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 variables morfo agronómicas.

## Recomendaciones

1. Repetir el estudio, pero con la culminación del ciclo fenomenológico del maíz, con el fin de evaluar otras variables morfo agronómicas como número de mazorcas por plantas y cantidad de granos por mazorcas.
2. Realizar estudios empleando Costras Biológicas del Suelo dominadas por otros organismos como líquenes y musgos.
3. Realizar estudios empleando Costras Biológicas del Suelo dominadas por cianobacterias combinado con *Rhizobium* en el cultivo del frijol.

## Bibliografía

- Acevedo Vergara, R., Jaramillo Escalante, C., Cabello Holley, M., Larenas de la Fuente, V., González Navarrete, I., & Leyton Buccicardi, G. (2011). *Cropcheck Chile: Manual De Recomendaciones Cultivo De Maiz*. Santiago: Programa: Convenio Subsecretaria de Agricultura – Fundación Chile.
- Acosta, R. (2009). El cultivo del maíz, su origen y clasificación. *Cultivos tropicales*, 30(2).
- Aguilar, V., Cacheux, I., & Álvarez, H. (2004). Las costras biológicas del suelo y las zonas áridas. *Red de revistas científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal. Universidad Nacional Autónoma de México*, 75, 24-27.
- Alfaro, Y., Segovia, V., Monasterio, P., & Silva, R. (2009). Evaluación del rendimiento, sus componentes y la calidad de grano en híbridos simples de maíz amarillo. *Revista Científica UDO Agrícola*, 9(4), 728-742.
- Alvarez, B. D. (2009). *Biofertilizantes como insumos en agricultura sostenible*. Editorial Universidad.
- Anderson, D., Harper, K., & Rushforth, S. (1982). Factors influencing development of cryptogamic crusts in Utah desert. *Journal of Range Management*, 180-185.
- Aranibar, J., Ottero, L., Macko, S., & Feral, C. (2004). Nitrogen cycling in the soil-plant system along a precipitation gradient in the Kalahari sands. *Global Change Biology*, 10, 359-373.
- Arreola Enriquez, J., Palma López, D., Salgado García, S., & Camacho Chiu, W. (2004). Evaluación de abono organo-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Revista Terra Latinoamericana*, 22(3), 351-357.
- Arreola Enriquez, J., Palma López, D., Salgado García, S., Camacho Chiu, W., & Obrador Olán, J. (2004). Evaluación de abono organo-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana*, 22(3), 351-357.
- Barreno, E., & Pérez–Ortega, S. (2003). Clave de géneros y especies.
- Belnap, J. (2006). The potential roles of biological soilcrusts in dryland hydrologic cycles. *Hydrological Processes*, 20(15), 3159-3178.
- Belnap, J., & Lange, O. (2003). Biological Soil Crusts: Structure, Function, and Management. *Berlin: Springer-Verlag*, 3-33.
- Belnap, J., Rosentreter, R., & Leonard, S. (2001). Biological Soil Crust: Ecology and Management. *Berlin: Springer-Verlag*, 3-33.

- Benites, J. (2015). Guía de Campo para la EVS Evaluación visual del suelo.
- Binkley, D., & Hart, S. (1989). The components of nitrogen availability assessments in forest soils. *Advances in Soil Science*, 10, 57-112.
- Bliss, L., & Gold, G. (1999). Vascular plant reproduction, establishment, and growth and the effects of cryptogamic crusts within a polar desert ecosystem, Devon Island, NWT. *Canadian Journal of Botany*, 77, 623-636.
- Boeken, B., Ariza, C., Gutterman, Y., & Zaady, E. (2004). Environmental factors affecting dispersal, germination and distribution of *Stipa capensis* in Negev Desert, Israel. *Ecological Research*, 19, 533-540.
- Bolívar, C., Méndez Natera, J., & Otahola Gómez, V. (2009). Germinación y el crecimiento de plántulas de maíz en laboratorio, invernadero y campo. *Revista de Agricultura Tropical*, 36, 23-33.
- Bowker, M. (2007). Biological soil crust rehabilitation in theory and practice: an underexploited opportunity. *Restoration Ecology*, 15(1), 13-23.
- Bowker, M., Maestre, F., & Escolar, C. (2010). Biological crusts as a model system for examining the biodiversity-ecosystem function relationship in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 43(3), 405-417.
- Calderon Díaz, I., Trujillo Tapia, N., & Ramírez Fuentes, E. (2014). ¿Cianobacterias que comen petróleo? *Ciencia y Mar*, 47-52.
- Cantillo Perez, I., Rodríguez Acosta, E., & Villanueva Amador, E. (2018). *Catalogo de Variedades del Instituto de Investigaciones de Grano*.
- Carvajal, J., & Mera, A. (2010). Fertilización biológica: técnicas de vanguardia para el desarrollo agrícola sostenible. *Producción + Limpia*, 6(2), 77-96.
- 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.
- Celaya-Michel, H., & Castellanos-Villegas, A. (2011). Mineralización de nitrógeno en el suelo de zonas áridas y semiáridas. *Terra Latinoamericana*, 29(3), 343-356.
- 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.
- Coyne, D., Nicol, J., & Claudius-Cole, B. (2009). Nematología práctica: Una guía de campo y laboratorio.

- Cruz Salazar, M. (2009). *Uso biofertilizante de dos cultivos de Cianobacterias, uno axénico y otro en Consorcio, a nivel de invernadero para Producción parcialmente orgánica de fréjol Phaseolus vulgaris*. (Tesis de grado). Escuela Politécnica del Ejército).
- Cuenya, M., García, M., Díaz, C., Romero, E., & Chavanne, E. (2007). Efecto del agregado de cachaza y de diferentes densidades de plantación en la capacidad productiva de un semillero saneado de la variedad de caña de azúcar (*Saccharum spp.*). *Rev. Ind. Agríc. Tucumán*, 84(1), 1-8.
- Defalco, L., Detling, J., Tracy, C., & Warren, S. (2001). Physiological variation among native and exotic winter annual plants associated with microbiotic crust in the Mojave Desert. *Plant and Soil*, 234, 1-14.
- Deras Flores, H., & Flor de Cerrano, R. (2018). *Guía sobre el cultivo del maíz (CENTA)*. El Salvador.
- Downing, A., & Selkirk, P. (1993). Bryophytes on the calcareous soils of Mungo National Park, and arid area of southern central Australia. *Great Basin Naturalist*, 53(1), 13-23.
- Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2011). *Manejo integrado del cultivo del maíz suave*. [http://www.unl.edu.ec/agropecuaria/wp-content/uploads/2012/-03/manejo-de-cultivo-de-maiz\\_iniap-GIZ1.pdf](http://www.unl.edu.ec/agropecuaria/wp-content/uploads/2012/-03/manejo-de-cultivo-de-maiz_iniap-GIZ1.pdf).
- Eldridge, D., & Greene, R. (1994). Microbiotic soil crusts: A review of their role in soil and ecological processes in the rangelands of Australia. *Australian Journal of Soil Research*, 389-415.
- 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.
- FAO. (2002). Los fertilizantes y su uso. <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/fertuso.pdf>.
- FAO. (2014). Organic Agriculture. Glosario de agricultura orgánica. <http://www.fao.org/organicag/en/>.
- Ferrera, R. (2007). Microbiología agrícola. Hongos, bacterias, micro y macrofauna, control biológico y planta-microorganismo, Trillas de Colombia,.
- Figuroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista UDO Agrícola*, 4(1), 1-20.

- Fletcher, J., & Martin, W. (1948). Some effects of algae and molds in the rain-crust of desert soils. *Ecology*(29), 95-99.
- Franco. (2004). Azolla-Anabaena como abono alternativo en la producción de arroz en el litoral ecuatoriano. *Escuela Politécnica de Litoral*, 21.
- Garbisu, C., Blanco, A., Alkorta, I., Llama, M., & Serra, J. (1999). Biotecnología con cianobacterias. *Investigación y ciencia*, 64-71.
- 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, R. (2005). Usos y aplicaciones de macroalgas, microalgas y cianobacterias en agricultura ecológica. *Fundación Cátedra Iberoamericana*  
[http://www.uib.es/catedra\\_iberamericana/publicaciones/seae/mesa1/macroalgas.html](http://www.uib.es/catedra_iberamericana/publicaciones/seae/mesa1/macroalgas.html).
- 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*.
- Gardner, J., & Belnap, J. (1993). Soil microstructure in soils of the Colorado Plateau: The role of the cyanobacterium *Microcoleus vaginatus*. *Great Basin Naturalist*, 47, 40-47.
- Ghosh, N. (2002). Promoting Bio-fertilizers in Indian Agriculture. *Institute of Economic Growth University Enclave*, 2-4.
- Gupta, V., Kumar, R., Sood, A., Chaudhary, V., & Prasanna, R. (2013). New insights into the biodiversity applications of cyanobacteria (blue-green algae) Prospects and challenges. *Algal Research*, 79-97.
- Gutierrez, M. (1997). Transporte de aminoácidos en cianobacterias , Avances en el metabolismo del nitrógeno:de la Fisiología a la Biología molecular. *IV Reunión Nacional, Marbella*, 73-80.
- Harper, K., & Pendleton, R. (1993). Cyanobacteria and cyanolichens: can they enhance availability of essential minerals for higher plants. *Great Basin Naturalist* , 53(1), 59-72.
- Hawkes, C. (2003). Microorganismos del suelo, plantas en peligro de extinción y la conservación del Matorral de Florida. *Ecosistemas*.
- 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 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.
- Iglesias, M., & Montero, R. (2005). Inoculación de cianobacterias en el cultivo de soja, efectos sobre la infectividad de *Bradyrhizobium japonicum* y la producción de materia seca. *Comunicaciones científicas y tecnológicas*, 1-4.
- IS. (1999). Segunda Clasificación Genética de Suelo .
- Jiménez , A., Huber Sannwald, E., & Belnap, J. (2009). Biological soil crusts exhibit a dynamic response to seasonal rain and release from grazing with implications for soil stability. *Journal of Arid Environments*, 1158-1169.
- Jiménez, A. (2005). *Caracterización funcional de costras biológicas de suelo en un pastizal semiárido de San Luis Potosí*. (Tesis de maestría). Instituto Potocino de Investigación Científica y Tecnológica).
- Khadatara, S., & Suryawanshi, D. (2016). Isolation blue green algae from maize fields of Mohol Tahasil in Solapur. *IJSR*, 1597-1599.
- León Hernández, B. (2020). *Propuesta para conformar el sustrato de vitroplantas en fase de aclimatación, en función de la retención de humedad y manejo del riego*. (Tesis de grado). Universidad de Cienfuegos).
- León Noguera, P., & Ravelo Ortega , R. (2010). *Fitotecnia general aplicada a las condiciones tropicales*. Felix Varela.
- Li, X., Wang, X., Li, T., & Zhang, J. (2002). Microbiotic soil crust and its effect on vegetation and habitat on artificially stabilized desert dunes in Tengger Desert, north China. *Biology and Fertility of Soils*, 147-154.
- López Fleites, R., & Gil Díaz, V. (2011). Generalidades del Cultivo del Maíz.
- López, M. (2008). Efecto de biofertilizantes bacterianos sobre el crecimiento de un cultivar de maíz en dos suelos contrastantes venezolanos. *Agronomía Tropical*, 391-401.
- Madigan, M., Martinko, J., & Parker, J. (2003). *Biología de los Microorganismos. Décima ed., Illinois, Pearson Prentice Hall*.
- Maestre, F., Bautista, S., Cortina, J., & Bellot, J. (2001). Potential of using facilitation by grasses to establish shrubs on a semiarid degraded steppe. *Ecological Applications*, 1641-1655.

- Maestre, F., Huesca, M., Zaady, E., Bautista, S., & Cortina, J. (2002). Infiltration, penetration resistance and microphytic crust composition in contrasted microsites within a Mediterranean semi-arid steppe. *Soil Biology and Biochemistry*, 895-898.
- Maestre, H. Z. (2002). Infiltration, penetration resistance and microphytic crust composition in contrasted microsites within a Mediterranean semi-arid steppe. *Soil Biology and Biochemistry*, 34, 895-898.
- Maqubela, M. (2008). Nostoc cyanobacterial inoculation in South African agricultural soils enhances soil structure, fertility, and maize growth. *Springer Science + Business Media B.V*, 10(1007).
- Marín Gómez, L. (2008). Evaluación agronómica de variedades comerciales de maíz (*Zea mays*, L.) en relación a sus ciclos de maduración. (Tesis de grado). *Escuela Universitaria Politécnica La Almunia de Doña Godina*.
- Matheus, J. (2004). Evaluación agronómica del uso de compost de residuos de la industria azucarera (biofertilizante) en el cultivo del maíz (*Zea mays* L.). *Revista Bioagro.*, 16(3), 219-224.
- 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.
- Molina, D. (2009). Producción de un biofertilizante a partir de un aislamiento de *Azotobacter nigricans* obtenido en un cultivo de *Stevia rebaudiana* Bert. *Universitas Scientiarum*, 71-78.
- Montaño. (2005). Estudio de la aplicación de *Azolla-Anabaena* como bioabono en el cultivo de arroz en el Litoral ecuatoriano. *Revista Tecnológica ESPOL*, 18(1), 147-151.
- Muñoz Sarduy, D. (2020). *Estudio prospectivo de la presencia de costras biológicas (CBS) para evaluar su empleo como indicador de calidad biológica en áreas degradadas de la CPA "Mártires de Barbados" en la provincia Cienfuegos*. (Tesis de grado). Universidad de Cienfuegos).
- Obid, S., Idris, A., & Ahmed, B. (2016). Effect of bio-fertilizer on growth and yield of two maize (*Zea mays* L.) Cultivars at Shambat, Sudan. *Sch. J. Agric. Vet. Sci.*, 3(4), 313-317.
- 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).

- Ortiz Méndez, G. (2015). *Evaluación del valor como biofertilizantes de nostoc sp. y anabaena sp. en plántulas de menta (mentha spicata)*. (Tesis de grado).Universidad Santo Tomas , Bogotá).
- Pacheco Seguí, J. (1987). *Riego y Drenaje*. Pueblo y Educación.
- Paliwal, R. (2001). El maíz en los trópicos . Mejoramiento y producción. *Colección FAO: Producción y Protección Vegetal* , 1-3.
- Pérez, F. (1997). Microbiotic crusts in the high equatorial Andes; and their influence on paramo soils. *Catena*, 31, 173-198.
- Pérez, O. (2003). Uso y manejo agronómico de cachaza en Guatemala. *Revista de la Asociación de Técnicos Azucareros de Guatemala*, 6-11.
- Poetig, R. (1982). Maize. The plant and its parts. *Maize for Biological Research*. W.F.Sheridan.
- Ramírez Cárdenas, C., & Ayala Islas, A. (2014). Identificación de Algas y Cianobacterias. *Jóvenes Investigadores*, 1(1), 193-198.
- Ríos Obregón, J., Bernal Gutiérrez, R., López González, L., & Jiménez Hernández, J. (2018). Análisis cinético de la biodegradabilidad anaerobia de la cachaza con pretratamiento termoalcalino en la producción de metano. *Revista Amazónica y Ciencia y Tecnología*, 7(1), 1-13.
- Rivera Aguilar, V., Godínez Álvarez, H., Manuell 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.
- Rogers, R. (1977). Soil surface lichens in arid and subarid south-eastern Australia. III. The relationship between distribution and environment. *Australian Journal of Botany*, 301-316.
- Sahu, D., Priyadarshani, I., & Rath, B. (2012). Cyanobacteria - as potential biofertilizer. *CIBTech J. Microbiol*, 1(2-3), 20-26.
- Sangoquiza Caiza, C., Viera Tamayo, Y., Yáñez Guzmán, C., & Zambrano Mendoza, J. (2021). Efecto del estrés salino sobre el crecimiento de plántulas de maíz variedad "Tayuyo" en condiciones in vitro. *Centro Agrícola*, 48(2), 14-23.
- Segui, N. (2019). *Técnicas de restauración en zonas áridas de Mendoza: supervivencia y crecimiento de plantines de Prosopis flexuosa y Prosopis chilensis con distinta época de trasplante y procedencia*. (Tesis de grado)Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza. Argentina), 71.

- Seyed, H., Ghassempour, A., Riahi, H., Shariatmadari, Z., & Khanjir, M. (2013). Endogenous auxins in plant growth-promoting Cyanobacteria—*Anabaena vaginicola* and *Nostoc calcicola*. *J. Appl. Phycol*, 25, 379-386.
- Shepherd. (2000). Guía de Campo para la EVS Evaluación visual del suelo.
- Silva Díaz, W., Alfaro Jiménez, Y., & Jiménez Aponte, R. (2009). Características morfológicas y agronómicas de líneas de maíz amarillo en diferentes fechas de siembra. *Revista UDO Agrícola*, 9(4), 743-755.
- Toledo, V. (2006). *Caracterización de la costra microbiótica y su influencia biológica y física en suelos de la región árida de Quíbor, estado Lara*. (Tesis doctoral). Universidad Central de Venezuela.
- Toledo, V., & Florentino, A. (2009). Las Costras Microbióticas del Suelo. *Revista de Investigación*, 33(68), 199-216.
- Tripathi, R. (2007). Role of blue green algae biofertilizer in ameliorating the nitrogen demand and fly-ash stress to the growth and yield of rice (*Oryza sativa* L.) plants. *Elsevier*(70).
- Valcárcel, F., & Díaz, A. (2014). Tecnología realizadas con biofertilizantes. *Boletín Tecnológico*.
- Violic, A. (2001). Manejo integrado de cultivos. *Colección FAO: Producción y Protección Vegetal*, 247-290.
- West, N. (1990). Structure and function of microphytic soil crusts in wildland ecosystems of arid to semi-arid regions. . *Advances in Ecological Research*. Ed: Begon, M. *Academic Press*, 179-223.
- Whitton, B. (1992). Diversity, ecology, and taxonomy of the Cyanobacteria. *N.H. Mann, N. G. Carr (Eds.), Photosynthetic Prokaryotes*, 1-51.
- Zaady, E., Groffman, P., & Shachak, M. (1998). Nitrogen fixation in macro- and microphytic patches in the Negev desert. *Soil Biology and Biochemistry*, 449-454.
- Zérega, L. (1993). Manejo y uso agronómico de la cachaza en suelos cañameleros. *Caña de Azúcar*, 11(2), 71-92.
- Zhang, Y., Chen, J., Wang, L., & Wang, X. (2007). The spatial distribution patterns of biological soil crust in the Gurbantunggut Desert, Northern Xinjiang, China. *Journal of Arid Environments*, 599-610.