

**METAGENOMICA E INFLUENCIA DE MICROORGANISMOS EFICIENTES  
SOBRE EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN LA REJOYA,  
POPAYAN**



**ANYI TATIANA BANGUERA LOPEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
INGENIERIA AGROPECUARIA  
POPAYAN  
2023**

**METAGENOMICA E INFLUENCIA DE MICROORGANISMOS EFICIENTES  
SOBRE EL RENDIMIENTO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) EN LA REJOYA,  
POPAYAN**

**ANYI TATIANA BANGUERA LOPEZ**

**Trabajo de grado en la modalidad de investigación como requisito para optar  
al título de ingeniero Agropecuario.**

**DIRECTOR  
PhD. IVAN ENRIQUE PAZ NARVAEZ**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
INGENIERIA AGROPECUARIA  
POPAYAN  
2023**

## **NOTA DE ACEPTACIÓN**

Los directores y los Jurados han leído el presente documento, han escuchado la sustentación del mismo por sus autoras y lo encuentran satisfactorio.

---

PhD. IVAN ENRIQUE PAZ NARVAEZ  
Director

---

MSc. FABIO ALONSO PRADO CERON  
Presidente del Jurado

---

MSc. IVAN DARIO OTERO RAMIREZ  
Jurado

Popayán, Junio del 2023

## DEDICATORIA

Esta Tesis está dedicada:

A Dios, quien estuvo conmigo en cada paso hacía esta meta, quien me dio los mejores padres del mundo y una hija hermosa, personas por las cuales me he esforzado a diario y son mi inspiración para superar cada obstáculo y lograr mis metas.

A mis Padres Horacio Banguera y Mayer López quienes con su amor y esfuerzo, oraciones, palabras y consejos sabios permitieron que logre mis metas y sueños; me enseñaron la valentía, perseverancia y humildad, quienes me han apoyado en todas las decisiones y han sido mi guía en este viaje llamado vida.

A mi Hija Dulce Anahí Banguera López quien ha sido y será ese ser maravilloso que me lleva a esforzarme y luchar cada día, mi mayor inspiración, es quien hace feliz mi mundo y por es por quien busco ser una mejor persona siempre; puesto que busco ser su ejemplo a seguir.

A mi director de Tesis Iván Enrique Paz, ese gran profesional que me apoyo y ayudo en este proyecto, aconsejándome y guiándome para que todo salga bien.

A mi Familia y mis mejores amigas Diana Muñoz y Yuli Molina por sus oraciones y apoyo en cada paso de mi carrera profesional y en la universidad de la vida.

A mis Amigos Ronald Mutumbajoy, Vanesa Cuastumal, Natalia Muñoz por sus consejos y palabras de aliento, por apoyarme en los momentos más difíciles, por no dejarme sola, por brindarme su cariño y permitirme vivir a su lado las más grandes aventuras dentro del Alma Mater Unicaucana.

*ANYI TATIANA BANGUERA LOPEZ*

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios por haberme acompañado en mi carrera, por brindarme una vida llena de aprendizaje y nuevas experiencias, por darme fortaleza y por verme puesto en la vida de los mejores padres de mi mundo.

A mis padres y mi hija por ser mi guía, mi fuerza en los momentos difíciles, por ser mi apoyo y mi inspiración a ser mejor cada día, han sido el motor, quienes me han impulsado a seguir mis sueños, gracias por creer en mi desde siempre, los amo.

A mis compañeros a quienes el alma mater puso en mi camino, sobre todo a Ronald Mutumbajoy, Vanessa Arciniegas y Natalia Muñoz por su apoyo, risas, consejos y aventuras a lo largo de nuestra formación, les llevo en mi corazón.

A mi director Iván Enrique Paz Narváez, quien con sus virtudes, paciencia y constancia aportó profesionalmente para llegar a este logro, gracias por sus orientaciones y palabras de apoyo. Sin usted no se hubiese logrado esto.

A nuestros jurados y docentes quienes compartieron sus conocimientos, gracias por su dedicación, tolerancia y perseverancia, por sus sabias palabras, les debemos cada experiencia y cada aporte hacia nuestro aprendizaje.

Quiero brindar mi profundo agradecimiento a todo el personal y las autoridades, a mi alma mater; la Universidad del Cauca y a mi preciada Facultad de ciencias Agrarias por abrirme las puertas, por permitirme realizar toda la investigación dentro de la institución, ustedes con su colaboración hicieron posible mi proyecto de vida.

Finalmente, quiero decirles que los quiero y les aprecio de todo corazón; y como diría el gran músico Gustavo Cerati: “gracias totales”.

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue evaluar la influencia de microorganismos eficientes (ME) sobre el rendimiento de lechuga (*Lactuca sativa*), variedad vera e identificar los mismos a través de estudios metagenómicos. Esta se desarrolló en los lotes dentro de la finca perteneciente a la facultad de ciencias agrarias de la Universidad del Cauca, la cual está ubicada en la vereda la Rejoya situada en el municipio de Popayán. Se realizó la captura de Microorganismos y respectiva aplicación de 10g de suelo mezclado con ME de los diferentes ecosistemas según los tratamientos establecidos, Se estableció un diseño en bloques completos al azar constituido por 3 tratamientos y 3 bloques para un total de 9 parcelas, posteriormente se adicionaron directamente al suelo los respectivos tratamientos, donde el tratamiento 1 fue Suelo natural más M.E sistema de Guadual Rejoya, Tratamiento 2: Suelo natural más M.E sistema Bosque La Rejoya y tratamiento 3: Suelo natural La Rejoya. Para el estudio metagenómico se extrajo ADN y se amplificó la región ITS1 del gen ARNr ITS para la respectiva secuenciación y asignación taxonómica del OTUS. La estadística determino la dominancia inicial del grupo de hongos *Trichoderma* y al final del ciclo productivo del cultivo se observó el aumento de los hongos del género *Saccharomyces*, *Aspergillus*, *Thermoascus*, *Pseudogymnoascus* y *Savoryella* estando en una menor proporción los últimos nombrados. Los tratamiento 1 y 2 presentaron diferencias significativas en las variables de altura de planta, longitud de hojas, contenido de clorofila e incidencia de plagas y enfermedades, por el contrario el tratamiento 3 resulto el menos eficiente en cuanto a las variables analizadas, en cuanto a las variables de longitud de raíces y peso de biomasa (aérea y raíces) del cultivo de lechuga no se encontró diferencias significativas; con todo esto se concluyó que la aplicación de ME llevo al aumento del crecimiento y desarrollo vegetativo de la lechuga permitiendo la asimilación de los nutrientes sin embargo el rendimiento del cultivo fue un poco homogéneo para todos los tratamientos .

**Palabras clave:** Microorganismos, nutrientes, crecimiento, metagenómica, diversidad.

## ABSTRACT

The objective of the research was to evaluate the influence of efficient microorganisms (EM) on the yield of lettuce (*Lactuca sativa*), variety vera, and to identify them through metagenomic studies. This was developed in the lots within the farm belonging to the Faculty of Agricultural Sciences of the Universidad del Cauca, which is located in the village of La Rejoja, in the municipality of Popayán. The capture of microorganisms and the respective application of 10 g of soil mixed with EM of the different ecosystems according to the established treatments was carried out. A randomized complete block design was established, consisting of 3 treatments and 3 blocks for a total of 9 plots, then the respective treatments were added directly to the soil, where treatment 1 was natural soil plus EM system of Guadual Rejoja, Treatment 2: Natural soil plus EM system La Rejoja Forest and treatment 3: Natural soil La Rejoja. For the metagenomic study, DNA was extracted and the ITS1 region of the ITS rRNA gene was amplified for the respective sequencing and taxonomic assignment of the OTUS. The statistics determined the initial dominance of the *Trichoderma* fungi group and at the end of the productive cycle of the crop it was observed the increase of fungi of the genus *Saccharomycopsis*, *Aspergillus*, *Thermoascus*, *Pseudogymnoascus* and *Savoryella* being in a lower proportion the last named. Treatments 1 and 2 presented significant differences in the variables of plant height, leaf length, chlorophyll content and incidence of pests and diseases, while treatment 3 was the least efficient in terms of the variables analyzed, and no significant differences were found in the variables of root length and biomass weight (aerial and roots) of the lettuce crop; It was concluded that the application of EM led to an increase in the growth and vegetative development of lettuce, allowing the assimilation of nutrients; however, the crop yield was somewhat homogeneous for all treatments.

**Key words:** Microorganisms, nutrients, growth, metagenomics, diversity.

## CONTENIDO

1. INTRODUCCION	17
2. MARCO TEÓRICO	19
2.1 Marco referencial	19
2.2 Generalidades de la lechuga ( <i>lactuca sativa</i> )	19
2.2.1 Clasificación taxonómica	20
2.2.2 Morfología de la lechuga ( <i>lactuca sativa</i> )	20
2.2.3 Ciclo fenológico de cultivo de la lechuga ( <i>lactuca sativa</i> )	21
2.2.4 Perfil nutricional de la lechuga ( <i>lactuca sativa</i> )	23
2.2.5 Características edafoclimáticas	23
2.2.5.1 Suelo	23
2.2.5.2 Temperatura	23
2.2.5.3 Humedad relativa	24
2.2.5.4 Luminosidad	24
2.2.6 Manejo agronómico de la lechuga	24
2.2.6.1 Semillero	25
2.2.6.3 Distancia de siembra	25
2.2.6.4 Requerimientos de agua	25
2.2.6.5 Precipitación	26
2.2.6.6 Requerimientos nutricionales	26
2.2.6.7 Plagas y enfermedades	26
2.2.7 Antecedentes	27
2.2.8 Generalidades de los microorganismos eficientes (em)	28
2.2.9 Principales microorganismos em	29
2.3 Técnica para la identificación de hongos en el suelo	30
2.3.1 Medición de frecuencia y abundancia de diversidad fúngica	31
2.3.1.1 Índices de diversidad alfa	32
2.3.1.1.1 Dominancia y equidad	32
2.3.1.1.2 Riqueza	32



2.3.1.2	Indices de diversidad beta	33
2.3.1.2.1	Similitud y disimilitud	33
2.3.1.3	Niveles taxonómicos	33
2.4	Antecedentes de extracción de hongos y secuenciación con its	34
3.	METODOLOGIA	35
3.1	Área de estudio	35
3.2	Procedimiento para la captura de me	35
3.2.1	Preparación de sustrato	37
3.2.2	Preparación y activación de microorganismos eficientes	38
3.3	Instalación del ensayo	38
3.4	Diseño experimental	39
3.5	Composición de los tratamientos	41
3.6	Muestreos del suelo para analisis quimico	42
3.7	Metagenomica	42
3.7.1	Muestreo de adn para metagenómica	42
3.7.2	Extracción de adn fúngico y conservación	42
3.7.3	Verificación y cuantificación del adn	44
3.7.4	Secuenciamiento	45
3.8	Variables evaluadas y frecuencia de muestreo	46
3.8.1	Variables para microorganismos	46
3.8.1.1	Niveles taxonómicos	46
3.8.2	Variables para la lechuga	47
3.8.2.1	Muestreos para parámetros agronómicos	48
3.9	Procesamiento y análisis de datos	48
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	49
4.1	Análisis fisicoquímico de suelo	49
4.2	Análisis metagenómico	52
4.2.1	Diversidad de la comunidad fúngica antes y después de la aplicación de EM	52
4.2.2	Indice de diversidad alfa	52

4.2.2.1 Índice de diversidad según shannon	52
4.2.2.3 Índice de diversidad según simpson	53
4.2.2.4 Índice de riqueza según chao 1	54
4.2.3 Índice de diversidad beta	56
4.2.3.1 Similitud o disimilitud	56
4.2.3.3 Bray-Curtis	57
4.2.4 Niveles taxonómicos operativos (OTUS) encontrados antes y después de la aplicación de EM	58
4.2.4.1 Filum	59
4.2.4.2 Clase	61
4.2.4.3 Orden	62
4.2.4.4 Familia	64
4.2.4.5 Género y especie	66
4.3 Efecto de la inoculación con microorganismos en el crecimiento y desarrollo del cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> )	72
4.3.1 Altura de planta	71
4.3.1.1 Etapa de roseta	72
4.3.1.2 Etapa de acogollada	75
4.4 Longitud de hojas	76
4.5 Longitud de raíces	80
4.6 Contenido de clorofila	82
4.7 Incidencia de plagas y enfermedades	85
4.7.1 Porcentaje de plantas afectadas por hongos patógenos	86
4.7.2 Porcentaje de hojas afectadas por hongos patógenos	89
4.7.3 Plantas afectadas por nematodos	93
4.8 Rendimiento de biomasa	95
4.8.1 Biomasa aérea	95
4.8.2 Biomasa raíces	96
4.9 Relación existente entre tratamientos, los mejores rendimientos de las variables y la composición taxonómica	98

4.10 Relación de composición taxonómica con respecto al efecto supresor de plagas y enfermedades en las plantas de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> )	101
5. CONCLUSIONES	104
6. RECOMENDACIONES	105
7. BIBLIOGRAFIA	106
8. ANEXOS	129

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Ciclo fenológico del cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> )	21
<b>Figura 2.</b> Ubicación geofigura del centro de estudios vegetales perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias en el municipio de Popayán	35
<b>Figura 3.</b> Sistemas Agroecológicos Seleccionados	36
<b>Figura 4.</b> Muestras recolectadas	37
<b>Figura 5.</b> Captura y recolección de microorganismos eficientes	37
<b>Figura 6.</b> Activación de microorganismos eficientes en suelo.	38
<b>Figura 7.</b> Instalación de diseño experimental	39
<b>Figura 8.</b> Bloques experimentales	40
<b>Figura 9.</b> Distribución de plantas dentro de la unidad experimental	40
<b>Figura 10.</b> Distribución en campo, División de parcelas experimentales	41
<b>Figura 11.</b> Equipo NanoDrop 2000	45
<b>Figura 12.</b> Índice de diversidad según Shannon	53
<b>Figura 13.</b> Índice de Diversidad según Simpson	54
<b>Figura 14.</b> Índice de riqueza según Chao1	55
<b>Figura 15.</b> Heatmap Índice de similitud de diversidad Beta.	57
<b>Figura 16.</b> Índice similitud Bray- Curtis	58
<b>Figura 17.</b> Imagen de electroforesis en gel de productos PCR con cebador ITS 1SF a partir de ADN Extraído del suelo antes y después del establecimiento de cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ).	59
<b>Figura 18.</b> Filos dominantes de hongos encontrados por cada muestra	60
<b>Figura 19.</b> Clases principales de hongos encontrados por cada muestra.	62
<b>Figura 20.</b> Ordenes más dominantes de hongos encontrados por cada muestra.	64
<b>Figura 21.</b> Familias principales de hongos encontrados por cada muestra.	65
<b>Figura 22.</b> Géneros principales de hongos encontrados por cada muestra.	66
<b>Figura 23.</b> Especies dominantes de hongos encontrados por cada muestra.	67
<b>Figura 24.</b> Altura promedio de lechuga en etapa de roseta	72
<b>Figura 25.</b> Promedios de altura de planta en etapa roseta a los 45 días después de la siembra	73
<b>Figura 26.</b> Altura en etapa de acogollamiento	75
<b>Figura 27.</b> Longitud promedio de hojas en lechuga	77
<b>Figura 28.</b> Longitud (cm) de hojas en etapa de roseta a los 38 días después de la siembra	78
<b>Figura 29.</b> Longitud de raíces en etapa final de acogollaje	80
<b>Figura 30.</b> Contenido de clorofila (CCI) en etapa de formación de cabeza	83
<b>Figura 31.</b> Contenido promedio de clorofila en hojas (CCI)	84

<b>Figura 32.</b> Porcentaje de plantas afectadas por hongos patógenos	87
<b>Figura 33.</b> Porcentaje promedio de plantas afectadas por hongos patógenos	87
<b>Figura 34.</b> Porcentaje de hojas afectadas por hongos patógenos	90
<b>Figura 35.</b> Porcentaje promedio de plantas afectadas a los 77 días después de la siembra	91
<b>Figura 36.</b> Porcentaje de plantas afectadas por nematodos	93
<b>Figura 37.</b> Promedio de peso para biomasa aérea (g).	95
<b>Figura 38.</b> Promedio de peso para biomasa raíces (g).	96

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Necesidades hídricas del cultivo de lechuga	26
<b>Tabla 2.</b> Valores de interpretación para índice de Simpson	32
<b>Tabla 3.</b> Análisis fisicoquímico de suelo inicial, suelo final con cultivo y suelo final con cultivo más adición de ME.	49
<b>Tabla 4.</b> Hongos encontrados según el nivel taxonómico	68
<b>Tabla 5.</b> Prueba Duncan ( $p > 0,05$ ) para variable altura etapa Roseta	73
<b>Tabla 6.</b> Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) para altura etapa acogollado	76
<b>Tabla 7.</b> Prueba Duncan ( $p > 0,05$ ) para promedios de altura en etapa de Roseta a los 38 días después de la siembra	78
<b>Tabla 8.</b> Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) para promedios de longitud de raíces en etapa final de acogollaje	81
<b>Tabla 9.</b> Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) para variable contenido de clorofila	84
<b>Tabla 10.</b> Prueba de Duncan ( $p > 0,005$ ) en la variable plagas y enfermedades (% plantas afectadas por hongos patógenos)	88
<b>Tabla 11.</b> Prueba de Duncan ( $P > 0,05$ ) en la variable plagas y enfermedades (% hojas afectadas por hongos patógenos).	91
<b>Tabla 12.</b> Prueba de Duncan ( $P > 0,05$ ) en la variable plagas y enfermedades (Nematodos)	94
<b>Tabla 13.</b> Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) en la variable Biomasa aérea	95
<b>Tabla 14.</b> Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) en la variable Biomasa de Raíces	97

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> ANOVA para la variable Altura en etapa de Roseta	129
<b>Anexo 2.</b> ANOVA para La Variable Altura En Etapa De Acogollado	129
<b>Anexo 3.</b> Resultados del ANOVA en la variable longitud de hojas en etapa de Roseta	129
<b>Anexo 4.</b> Resultados del ANOVA en la variable longitud de raíces en etapa final de acogollaje	130
<b>Anexo 5.</b> Resultados del ANOVA en la variable contenido de clorofila	130
<b>Anexo 6.</b> Resultados del ANOVA en la variable plagas y enfermedades (% plantas afectadas por hongo patogeno)	130
<b>Anexo 7.</b> Resultados del ANOVA en la variable plagas y enfermedades (% hojas afectadas por hongo patogeno)	131
<b>Anexo 8.</b> Resultados del ANOVA en la variable plagas y enfermedades (Nematodos).	131
<b>Anexo 9.</b> Resultados del ANOVA en la variable Biomasa Aérea	131
<b>Anexo 10.</b> Resultados del ANOVA en la variable Biomasa Raíces	132
<b>Anexo 11.</b> Analisis de suelo inicial	132
<b>Anexo 12.</b> Análisis de suelo final lechuga más tratamiento	133
<b>Anexo 13.</b> Análisis de suelo final con presencia de Lechuga sin aplicación	133

## GLOSARIO

**Electroforesis:** es una técnica de laboratorio que se usa para separar moléculas de ADN, ARN o proteínas en función de su tamaño y carga eléctrica. Se usa una corriente eléctrica para mover las moléculas a través de un gel o de otra matriz. Los poros del gel o la matriz actúan como un tamiz, lo cual permite que las moléculas más pequeñas se muevan más rápido que las moléculas más grandes.

**EM o ME:** microorganismos eficientes, mezcla de diferentes tipos de microorganismos aeróbicos y anaeróbicos benéficos altamente eficaces presentes en la naturaleza, juntos aceleran la descomposición natural de materia orgánica y promueven un proceso de fermentación antioxidante, evitando malos olores y contribuyendo a la regeneración, equilibrio y bienestar del ecosistema

**Espaciador transcrito interno (ITS):** es el ADN espaciador situado entre el ARN ribosómico de subunidad pequeña (ARNr) y los genes de ARNr de subunidad grande en el cromosoma o la región transcrita correspondiente en la transcripción del precursor de ARNr policistrónico. Se utiliza en la filogenia de hongos o cianobacterias eucariotas y de códigos de barras de ADN.

**Metagenómica:** es el estudio de la estructura y función de todas las secuencias de nucleótidos aisladas y analizadas de todos los organismos (habitualmente microbios) en una muestra a granel. La metagenómica se utiliza frecuentemente para estudiar una comunidad específica de microorganismos, como los que residen en la piel humana, en el suelo o en una muestra de agua.

**Secuenciación del ADN:** se refiere a la técnica general de laboratorio para determinar la secuencia exacta de nucleótidos, o bases de una molécula de ADN. La secuencia de las bases (a la que se suele hacer referencia por la primera letra de su nombre químico: A, T, C y G) codifica la información biológica que las células usan para desarrollarse y funcionar.

**Unidad taxonómica operativa (OTU):** es una unidad de clasificación seleccionada y utilizada para individualizar a objetos de estudio, ya sea una especie u otro taxón de cualquier categoría, una población, y hasta un individuo, y de este modo poder ordenarlos en una clasificación y en la construcción de un árbol filogenético, sin juzgar si se corresponden a una entidad biológica particular.



## 1. INTRODUCCION

Los microorganismos eficientes (EM) son una combinación de microorganismos naturales entre los que se encuentran especies aeróbica, anaeróbicas y fotosintéticas que pertenecen a los géneros *Lactobacillus* (bacterias ácido lácticas), *Saccharomyces* (levaduras) y *Rhodopseudomonas* (bacterias fotosintéticas o fototróficas) los cuales favorecen la germinación de semillas, incrementan la floración, aumentan el crecimiento y desarrollo de los frutos como de la biomasa, garantizan una producción exitosa en las plantas, mejoran la estructura física de los suelos, incrementan la fertilidad química de los mismos y suprimen a varios agentes fitopatógenos causantes de enfermedades (Tanya y Leiva, 2019).

La tecnología EM fue desarrollada en Japón, la cual ha sido una innovación tecnológica económica para pequeños productores puesto que pueden implementarla desde sus propios lugares de producción. Los microorganismos usualmente son catalogados como agentes de control biológico (BCA) que dependen de diferentes factores para expresar sus potenciales efecto-benéficos. (Marschner y Timonen, 2005; Harman, 2006; Hoitink *et al.*, 2006; Siddiqui y Akhtar, 2008; Radjacommare *et al.*, 2010).

Con el surgimiento de la agricultura convencional en los años 50 y 60 justificándose en la gran demanda de alimentos debido al crecimiento de la población mundial, esta ha traído consigo ciertas desventajas como lo ha sido la alta dependencia de fertilizantes de síntesis química y agrotóxicos, imponiendo su paradigma ante la agricultura tradicional. Actualmente las consecuencias del uso y abuso estos, han causado pérdida de fertilidad de suelos, erosión de estos y pérdida de la biota presente en él, provocando un desequilibrio en el ambiente natural que ha llevado a la presencia de plagas y enfermedades en los cultivos. (León y Rodríguez, 2002).

Observando este panorama, el presente trabajo busco evaluar la eficiencia de los microorganismos eficientes (ME) en el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) e

identificar la diversidad de los mismo con el fin de obtener información sobre el reacción de estos en el crecimiento (tallo, raíces, hojas), contenidos de clorofila y cantidad de biomasa obtenida durante el ciclo de cultivo, comprobando su utilidad al buscar el aumento de la productividad de una manera amigable al ambiente que genere ingresos económicos y reduzca los costos de producción.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 MARCO REFERENCIAL**

En Colombia la lechuga es una hortaliza de gran importancia debido al volumen de consumo. Se cultiva desde el nivel del mar hasta los 2.800 m de altura y se produce en cualquier época del año. Su popularidad ha aumentado en forma progresiva, por tratarse de un producto de sabor agradable, nutricional, medicinal y de bajo contenido calórico. (Guzmán *et al.*, 2014).

Esta hortaliza es importante desde el punto de vista del área sembrada y del valor de la producción. Los principales departamentos productores de lechuga en el año 2013 fueron Cundinamarca con una participación del 56% con respecto al total nacional, seguido de Nariño (24,9%), Antioquia (15%), Valle del Cauca (1,4%) y Norte de Santander (1,3%) (AGRONET, 2015), los mayores rendimientos en la producción de lechuga se observan en el departamento de Nariño, seguido de Antioquia y Cundinamarca. A nivel del departamento del Cauca los mayores productores se encuentran en el municipio de Timbío con un reporte para el 2016 de 450 toneladas en un área de 33 ha sembradas de las cuales 24ha fueron cosechadas, seguido del municipio de Silvia con 8ha sembradas, 5 cosechas y un total de 108 toneladas, estos dos con una participación en producción de lechuga a nivel nacional del 0.6% (AGRONET, 2016).

### **2.2 GENERALIDADES DE LA LECHUGA (*Lactuca sativa*)**

La lechuga es originaria de la costa sur del Mediterráneo, habiendo sido domesticada, probablemente en Egipto (Vallejo, 1986). La lechuga se ubica en el grupo de las hortalizas de hoja y se consume prácticamente en fresco. Su importancia ha ido incrementándose en los últimos años, debido a la diversificación de tipos varietales (Corpoica, 2014). En Colombia la lechuga es de gran importancia desde el punto de vista del área sembrada y el valor de la producción (Ecologic Maintenances, 2012).

**2.2.1 Clasificación taxonómica.** Osorio y Lobo (1983) citados por COORPOICA (2014) mencionan lo siguiente:

**Reino:** Vegetal

**División:** Espermatofita

**Clases:** Angiosperma

**Subclase:** Dicotiledónea

**Familia:** Compositae (Asteráceas)

**Tribu:** Cichorieae

**Género:** Lactuca

**Especie:** Sativa

**Varietal botánica:** Capitata (lechuga de cabeza, lisa o mantequilla)

Longifolia (romana o cos)

Inybabacea (lechugas de hoja o foliares)

## **2.2.2 Morfología de la lechuga (*Lactuca sativa*)**

**2.2.2.1 Raíz.** La raíz principal es pivotante, corta, puede llegar a penetrar hasta 30 cm de profundidad, con pequeñas ramificaciones; crece muy rápido, con abundante látex, tiene numerosas raíces laterales de absorción, las cuales se desarrollan en la capa superficial del suelo con una profundidad de 5 a 30 cm (Granval, 1991; Valadez, 1997; Álzate, 2008).

**2.2.2.2 Tallo.** El tallo es pequeño, muy corto, cilíndrico y no se ramifica cuando la planta está en el estado óptimo de cosecha; sin embargo, cuando finaliza la etapa comercial, el tallo se alarga hasta 1,20 m de longitud con ramificación del extremo y presencia, en cada punta, de las ramillas terminales de una inflorescencia (Valadez, 1997).


**2.2.2.3 Hojas.** Por su forma son lanceoladas, oblongas o redondas. El borde de los limbos es liso, lobulado, ondulado, aserrado o dentado, lo cual depende de la variedad. Su color es verde amarillento, claro u oscuro; rojizo, púrpura o casi morado, dependiendo del tipo y el cultivar (Granval, 1991; Valadez, 1997).




**2.2.2.4 Las flores.** Están agrupadas en capítulos dispuestos en racimos o corimbos, compuestos por 10 a 25 floretes con receptáculo plano, rodeado por brácteas imbricadas. El florete tiene pétalos periféricos ligulados, amarillos o blancos. Los interiores presentan corola tubular de borde dentado. El androceo está formado por cinco estambres adheridos a la base de la corola, con presencia de cinco anteras soldadas que forman un tubo polínico, que rodea el estilo. El cáliz es filamentososo y, al madurar, la semilla forma el papus o vilano, que actúa como órgano de diseminación anemófila, o sea, por el viento. Los pétalos son soldados (gamosépalos) (Leslie, 1954; Whitaker, 1964; Valadez, 1997).


**2.2.2.5 Semilla.** El fruto es un aquenio típico y la semilla es exalbuminosa, picuda y plana, la cual botánicamente es un fruto (Osorio, 1983), tiene forma aovada, achatada, con tres a cinco costillas en cada cara, de color blanco, amarillo, marrón o negro, mide de 2 a 5mm. En su base se encuentra el vilano o papus plumoso, que facilita la diseminación por el viento; este se desprende fácilmente, con lo cual el aquenio de la semilla queda limpio (Granval, 1991; Valadez, 1997).

**2.2.3 Ciclo fenológico de cultivo de la lechuga (*Lactuca sativa*).** A continuación, se presenta el ciclo fenológico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*)

**Figura 1.** Ciclo fenológico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*)

<p><b>Figura 1.</b> Etapa plántula de la lechuga.</p>  <p>Fuente: (Córdoba Times, 2014)</p>	<p style="text-align: center;"><b>Etapa plántula</b></p> <p>Periodo comprendido desde la emergencia (germinación) hasta la aparición de la tercera o cuarta hoja verdadera. Tiene una duración de 3 a 5 semanas.</p>
--	--

<p><b>Figura 2.</b> Etapa de roseta de la lechuga.</p>  <p>Fuente: Maceto huerto paso a paso, 2014</p>	<p><b>Etapa roseta</b></p> <p>Esta etapa se caracteriza por la aparición de nuevas hojas, se disminuye la relación largo-ancho de folíolos y hay acortamiento de los pecíolos. En la formación de roseta la planta puede tener en total 12 a 14 hojas. (Galván, 2008).</p>
<p><b>Figura 3.</b> Desarrollo de la cabeza.</p>  <p>Fuente: Gourmet urbano, 2014</p>	<p><b>Formación de cabeza</b></p> <p>Continúa el descenso de la relación largo/ancho en las nuevas hojas, caracterizado por el encurvamiento de la nervadura central sobre el punto de crecimiento de la planta. Hojas curvadas continúan saliendo hasta que son completamente envueltas por las hojas exteriores. Hay variedades que no forman cabeza.</p>
<p><b>Figura 4.</b> Lechuga madura</p>  <p>Fuente: Taringa, 2014</p>	<p><b>Madurez</b></p> <p>En esta etapa se ha formado un gran número de hojas en el interior, generando un cogollo firme. Tiene una duración de 60 a 120 días sobremadurez. Las hojas se continúan expandiendo hasta que se forman grietas por la presión.</p>

<p><b>Figura 5.</b> Florecimiento de la lechuga.</p>  <p>Fuente: Bital, 2014</p>	<p><b>Floración</b></p> <p>El tallo floral emerge a través de la parte superior del cogollo. Las flores se forman a los 50 a 70 días. Después de 12 a 14 días del desarrollo de la flor, el involucro se seca y se abre generando semillas.</p>
---	---

Fuente: Martínez Pérez, 2008

**2.2.4 Perfil nutricional de la lechuga (*Lactuca sativa*).** La lechuga es utilizada para la alimentación humana e incluso animal. El valor nutritivo de la lechuga difiere según su variedad. La lechuga en general provee fibra, carbohidratos, proteína, y una mínima cantidad de grasa, tiene acción antioxidante, lo cual está relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares e incluso cáncer. Contiene alto porcentaje de agua (90-95%) (Osorio y Lobo, 1983).

**2.2.5 Características edafoclimáticas.** La productividad del cultivo de lechuga y sus características de color, sabor y textura, depende de las condiciones edafoclimáticas como son la luminosidad (Montesdeoca, 2008), el tipo de suelo, temperatura logrando adaptarse muy bien a climas frescos y húmedos; y humedad relativa (Tarigo, 2004).

**2.2.5.1 Suelo.** Los suelos preferidos por la lechuga son los ligeros, arenoso-limosos, con buen drenaje, situando el pH óptimo entre 6,7 y 7,4 (SIAP, 2012). Este cultivo es tolerante a pH ácidos y es medianamente tolerante a la salinidad (Ureña, 2010).

**2.2.5.2 Temperatura.** La temperatura óptima de germinación oscila entre 18 y 20°C. Durante la fase de crecimiento del cultivo se requieren temperaturas entre

14-18°C por el día y 5-8°C por la noche, pues la lechuga exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Durante el acogollado se requieren temperaturas en torno a los 12°C por el día y 3-5°C por la noche. Este cultivo soporta peor las temperaturas elevadas que las bajas, ya que como temperatura máxima puede soportar hasta los 30°C y como mínima temperaturas de hasta -6 °C. Cuando la lechuga soporta temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia (SIAP, 2012).

**2.2.5.3 Humedad relativa.** El sistema radicular de la lechuga es muy reducido en comparación con la parte aérea, por lo que es muy sensible a la falta de humedad y soporta mal un periodo de sequía, aunque éste sea muy breve. La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos agradece menos del 60%. La alta humedad causa problemas porque favorece el ataque de enfermedades producidas por hongos (Osorio, 1983).

**2.2.5.4 Luminosidad.** La lechuga es una planta anual que bajo condiciones de fotoperiodo largo (más de 12 horas – luz) acompañado de altas temperaturas (más de 26°C) emite su tallo floral, siendo más sensibles las lechugas de hoja que las de cabeza. El cultivo de lechuga exige mucha luz, pues se ha comprobado que la escasez de luz provoca que las hojas sean delgadas y que en múltiples ocasiones las cabezas se suelten. Se recomienda considerar este factor para la densidad de población adecuada y para evitar el sombreado de plantas. La productividad del cultivo de las lechugas, así como su color, sabor y textura, depende en gran parte de una alta luminosidad solar. Por esta razón la ubicación de nuestro país es óptima para este tipo de cultivo especialmente en los pequeños valles interandinos (Concepción, 2019).

**2.2.6 Manejo agronómico de la lechuga.** El manejo de las labores culturales indicadas o buenas prácticas agrícolas como la selección de la semilla, preparación del terreno, siembra (densidad), requerimiento hídrico, nutrición (fertilización); y manejo integrado de plagas y enfermedades garantizan un cultivo con gran producción, seguridad de inocuidad y rentabilidad (ICA-CCI, 2009).



**2.2.6.1 Semillero.** La multiplicación de la lechuga suele hacerse con planta en cepellón obtenida en semillero. Se recomienda el uso de bandejas de poliestireno de 294 alveolos, sembrando en cada alveolo una semilla a 4 o 5 mm de profundidad. Se lleva a cuarto oscuro durante 3 días y luego a invernadero permitiendo un constante riego. Una vez transcurridos 30-40 días después de la siembra en almacigo, la lechuga será trasplantada cuando tenga 5-6 hojas verdaderas y una altura de 8 cm., desde el cuello del tallo hasta las puntas de las hojas (Pacheco, 2008).

**2.2.6.2 Preparación de terreno.** Para se necesita realizará la labranza de suelo que permita una profundidad mínima de 30cm, la nivelación de terreno si este presenta pendientes hacer curvas a nivel, finalmente el surcado y la formación de las camas, y se deja un pequeño surco con el fin de colocar la tubería, para hacer el riego por goteo (Suquilanda, 1996; Sánchez, 2009). Se recomienda la no desinfección química del suelo, debido a que es un cultivo de ciclo corto siendo muy sensible a estos productos, por tal razón la solarización es una gran opción (Parra, 2015). Se recomienda hacer la aplicación de abono orgánico unos meses antes de la siembra (Suquilanda, 1996). La plantación se realiza en era con una altura de 25 cm. Para evitar el contacto directo de las plantas con la humedad evitando así los ataimbaquimgoques por hongos (Suquilanda, 1996).

**2.2.6.3 Distancia de siembra.** La distancia de siembra, para los caballetes se traza a 60 o 65 cm de distancia entre ellos y las plantas, se disponen a ambos costados, sobre la marca que deja el riego, esto a unos 15 o 25 cm sobre las líneas (Imbaquingo, 2013).

**2.2.6.4 Requerimientos de agua.** La lechuga (*Lactuca sativa*) tiene un ciclo de 70<sup>a</sup> 130 días (Jackson *et al.*, 1999). Antes de la germinación los riegos se deben efectuar 2 a 3 veces al día, si se mantiene una humedad constante y favorable las semillas germinan a los 4 a 6 días, después de germinado se debe mantener un riego frecuente que durante los primeros 20 días debe ser diario y después se van espaciando unos 2 a 4 días según el tipo de suelo hasta la cosecha. Como la lechuga tiene un ritmo de crecimiento muy rápido y su órgano de consumo son las hojas, no debe sufrir sequía, ya que se afectan los rendimientos y la calidad de ésta, por ello siempre se debe regar a unos 85 a 90% de la capacidad de campo (Castaño, 2019).

**Tabla 1.** Necesidades hídricas del cultivo de lechuga

<b>Tabla. Necesidades Hídricas del cultivo de lechuga</b>							
Temperatura media Diaria (°C)	0°C	5°C	10°C	15°C	20°C	25°C	30°C
Riego ( litros /m2 y Dia	0	0.7	1.3	2	2.7	3.3	4

Fuente: Medina; 2017

**2.2.6.5 Precipitación.** El cultivo requiere precipitaciones que fluctúen entre los 1200 a 1500 mm anuales, necesitando entre 250 a 350 mm durante su período vegetativo. El exceso de humedad de campo es perjudicial para este tipo de cultivo pues favorece la proliferación de las enfermedades fungosas y bacterianas (Pérez, 1994).

**2.2.6.6 Requerimientos nutricionales.** Según Cooman (2000) el cultivo de lechuga extrae las siguientes cantidades de nutrientes:

**N:** 13-22 g/m<sup>2</sup> (130-270 kg/ha)

**P<sup>2</sup>O<sup>5</sup>:** 4,5-7,2 g/m<sup>2</sup> (45 - 72 kg/ha)

**K<sup>2</sup>O:** 20-40 g/m<sup>2</sup> (200-400 kg/ha)

**CaO:** 3,5-6,6 g/m<sup>2</sup> (35 – 66 kg/ha)

**MgO:** 1,2- 4,8 g/m<sup>2</sup> (12 -48 kg/ha)

**S:** 1 g/m<sup>2</sup> (10 kg/ha)

**2.2.6.7 Plagas y enfermedades.** Algunas de las plagas más importantes en lechuga son el gusano cogollero (*Spodoptera sp*), trips (*Frankliniella spp*), Nematodos (*Meloydogyne sp*), tierreros (*Agrotis ípsilon*) y babosas (*Milax gagates*). Las enfermedades con mayor incidencia sobre este cultivo son aquellas causadas por hongos entre las que están la pudrición blanca (*Erwinia carotovora*), pudricion blanca (*Sclerotinia fuckel*), antracnosis (*Microdochium panattoniana*) y la botrytis (*Botrytis cineria*) (ICA; 2012). Para el manejo de estas se recomienda hacer un manejo integrado (MIP) que se basa en la combinación de acciones

físicas, mecánicas, biológicas, químicas y culturales, incluyendo la preparación del terreno, la siembra y la nutrición del cultivo, con lo que se pretende reducir o descartar por completo el uso de herbicidas y plaguicidas, y así minimizar los efectos negativos para el medio ambiente (ICA-CCI, 2009).

**2.2.7 Antecedentes.** Aquí se muestran algunos de los estudios realizados tanto a nivel nacional como internacional sobre el efecto de microorganismos (M.E) usados a nivel agrícola.

Campo *et al.*, (2014), evaluó en el municipio de Popayán, Cauca- Colombia el efecto de microorganismos eficientes de montaña en la producción de cultivo de acelga. Compararon el efecto de M.E de diferentes agro ecosistemas (café, bosque, potreros) con M.E comerciales y un testigo sin aplicación. Evaluaron variables como altura de planta, largo de hoja y daño por plagas y enfermedades. A través de este estudio llegaron a la conclusión de que los mejores rendimientos se obtuvieron a través de la aplicación con los microorganismos capturados, donde se evidenció el desarrollo y rendimiento en las variables, por ejemplo, el mejor peso promedio para la parcela con una aplicación semanal de ME fue el T2 café (384 g), seguido de T3 potrero (370 g), T1 bosque (363 g), T4 ME comerciales (224 g) y por último T5 sin aplicación (184 g). En cuanto a la parcela con dos aplicaciones semanales, el mayor valor peso promedio fue el T3 (391 g), seguido de T1 (374 g), T2 (361 g), T4 (200 g) y por último T5 (196 g) donde este es el testigo y los demás son los ME de diferentes agroecosistemas, además de que estos ME influyeron de manera positiva sobre las propiedades del suelo en el incremento de materia orgánica (6.3% al 13.2%), el pH, incidencias de plagas y enfermedades (catalogada como leve con <10%) y también en el contenido de nitrógeno (fluctuó de 0,3 a 0,6 ppm), y potasio.

Calero *et al.*, (2019), realizó un estudio de microorganismos eficientes (M.E) y Fitomas E, siendo este último un bio-estimulante derivado de la industria azucarera obtenido y desarrollado en el Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), el cual ejerce una gran influencia en el desarrollo de las plantas, en el caso del cultivo de frijol se analizaron el efecto de la mezcla de estos dos y también su efecto individual. Llegando a la conclusión de que los M.E tiene un efecto positivo cuando se aplica de manera individual y foliar mejorando el crecimiento del follaje en un 22% aumentando así el área

fotosintética, analizaron que la mezcla de estos (M.E y fitomas E) actúan sobre la planta de manera efectiva aumentando la producción de hojas por cada una de estas. Los mejores resultados se obtuvieron de manera individual tanto en M.E y los fitomas E donde hubo un incremento de los indicadores morfológicos de planta en comparación al tratamiento sin aplicación.

Igualmente Calero *et al.*, (2019), en otro estudio realizado en este país evalúa las diferentes formas de aplicación de los M.E en la producción de plántulas de tomate en 3 variedades (Amalia, Rilia, seen-2). Analizaron la inoculación de semillas con los M.E y además evaluaron las variables de diámetro, altura de planta, número de hojas y el rendimiento (plántulas m<sup>2</sup>), concluyendo que el tratamiento con M.E tuvo un efecto positivo sobre las variables logrando un incremento de las mismas en un 25% en comparación al control sin la aplicación. También se observó un aumento del 38% en la producción de plántulas y el número de plantas por superficie, siendo superiores al tratamiento control.

**2.2.8 Generalidades de los microorganismos eficientes (EM).** En los inicios de los años sesenta, el profesor Teruo Higa comienza la búsqueda de una alternativa que reemplazara los fertilizantes y pesticidas sintéticos, popularizados después de la Segunda Guerra Mundial para la producción de alimentos en el mundo entero, a partir de esto se desarrolla una nueva tecnología a través del uso de microorganismos eficientes (EM) en la Facultad de Agricultura de la Universidad de Ryukyus en Okinawa, Japón. El profesor al estudiar las funciones individuales de diferentes microorganismos, encuentra que el éxito de su efecto potencializado estaba en su mezcla. Desde entonces, esta tecnología ha sido investigada, desarrollada y aplicada en una multitud de usos agropecuarios y ambientales, y es utilizada en más de 80 países del mundo (Arias, 2010). Teóricamente este producto comercial se encuentra conformando esencialmente por tres diferentes tipos de organismos: levaduras, bacterias ácido lácticas y bacterias fotosintéticas, las cuales desarrollan una sinergia metabólica que permite su aplicación en diferentes campos de la ingeniería, según sus promotores (Rodríguez, 2009).

Estos son un cultivo mixto líquido de microorganismos benéficos (*Rhodopseudomonas spp*, *Lactobacillus spp*, *Sacharomyces spp*, *actinomicetos* y *hongos fermentadores*), capturados de sistemas naturales, los cuales no han sido

sometidos a modificación genética y se relacionan de forma simbiótica coexistiendo entre sí, lo cual ha generado efectos positivos para un ambiente en equilibrio. (Acosta, 2012; y Campo, *et al.*; 2014).

**2.2.9 Principales microorganismos EM.** Según Fundases (2014), las especies principales de microorganismos incluyen:

**-Bacterias ácido-lácticas.** Bacterias como *Lactobacillus spp.* producen ácido láctico a partir de azúcares y otros carbohidratos sintetizados por bacterias fototróficas y levaduras. (Ecologic Maintenances, 2012 y Feijoo, 2016). Entre ellas. *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactics*. Los productos finales de la fermentación son ácidos: láctico y acético, peróxido de hidrógeno, diacetilo, bacteriocinas y productos secundarios generados por la acción de lactoperoxidasa sobre el peróxido de hidrógeno y tiocianato (Shirai, 1996). Las bacteriocinas son moléculas que tienen estructura tipo péptido o proteína biológicamente activas, las cual presentan acción bactericida sobre receptores específicos de las células; además, la composición química de estas sustancias es muy variada y su modo de acción específico (Vázquez, 2009).

**-Bacterias fototróficas.** *Rhodopseudomonas plastrus*, *Rhodobacter spaeroides*, son bacterias autótrofas que sintetizan sustancias a partir de secreciones de raíces, materia orgánica y gases dañinos, usando la luz solar y el calor del suelo como fuentes de energía. Las sustancias sintetizadas comprenden aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas (Feijoo, 2016). Las bacterias fotosintéticas son microorganismos autosuficientes e independientes (Ramírez, 2006).

**-Levaduras.** *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*, son hongos unicelulares que representan un puente biológico entre las bacterias y los organismos superiores, manteniendo las ventajas de los microorganismos en cuanto a su fácil manipulación y crecimiento rápido. (Valdivieso, 2013; Feijoo, 2016). Según lo expuesto por Valenzuela (2012); y Serrano (2009), las levaduras sintetizan y utilizan las substancias antimicrobianas que intervienen en el crecimiento de las plantas, a partir de los aminoácidos y azúcares producidos por las bacterias fotosintéticas, así como las de la materia orgánica y de las raíces de las plantas.

Las sustancias bioactivas, tales como hormonas y enzimas producidas por las levaduras incrementan la actividad celular y el número de raíces. Sus secreciones son substratos útiles para ciertos microorganismos efectivos, tales como las bacterias ácido-lácticas y los Actinomicetes.

**-Los actinomicetos.** *Streptomyces albus*, *Streptomyces griseus*. Son una estructura intermedia entre bacterias y hongos, que pueden coexistir con las bacterias fotosintéticas y producen sustancias antimicrobianas a partir de los aminoácidos y la materia orgánica secretados por éstas. Ambas especies (actinomicetos y bacterias fotosintéticas), mejoran la calidad de los suelos desarrollados, al incrementar su actividad antimicrobiana) Según Condor, *et al.*, (2007). Los actinomicetos controlan hongos y bacterias patogénicas y también aumentan la resistencia de las plantas, mediante un mecanismo de producción de antibióticos que provocan inhibición de patógenos del suelo y benefician el crecimiento y la actividad de Azotobacter y de las micorrizas (Asia Pacific Natural Agriculture Network, 2003; Coutinho, 2011; Feijoo, 2016).

**-Hongos de Fermentación.** Los hongos como *Aspergillus oryzae*, *Mucorhiemalis sp* y *Penicillium sp.* actúan descomponiendo rápidamente la materia orgánica para producir alcohol, esteres y sustancias antimicrobianas. Esto es lo que produce la desodorización y previene la aparición de insectos perjudiciales y gusanos (Ramírez, 2006). Ibáñez (2011), explica que los hongos tienen la capacidad de aumentar la fragmentación de los componentes de la materia orgánica lo que facilita su obtención para la nutrición de las plantas.

### 2.3 TÉCNICA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE HONGOS EN EL SUELO

La genómica se ha desarrollado como consecuencia de los avances realizados en biología molecular e Informática (Paz, 2018). Su objetivo es caracterizar molecularmente genomas enteros y aportar información acerca de la secuencia y de la función de cada sector del genoma en diferentes condiciones de desarrollo y ambientales (Levitus *et al.*, 2010). Sin embargo, de la posibilidad de estudiar todos los genomas microbianos asociados a genomas más complejos, sin necesidad de realizar aislamiento y cultivo de especies particulares, nace la metagenómica, la

cual, se basa en el estudio del ADN de cualquier comunidad microbiana proveniente de ambientes particulares (suelo, agua de mar, intestino humano, etc.), para determinar la presencia de genes, sus funciones, su diversidad, estructura y las diferencias existentes entre las comunidades (Paz, 2018).

Los métodos desarrollados para acceder al conocimiento genético de las comunidades de hongos parten de la extracción del ADN de las muestras, clonado de fragmentos de ADN según el interés, usando marcadores o resultantes de la amplificación de secuencias del gen ADNr 18s o genes asociados a funciones fisiológicas y finalmente secuenciado y análisis. Es de anotar que un marcador molecular es un segmento de ADN con una ubicación definida en un cromosoma y con características heredables que permite la detección de polimorfismo genético a nivel de ADN (Vallejo, 2010).

### **2.3.1 Medición de frecuencia y abundancia de diversidad fúngica**

**2.3.1.1 Índices de diversidad Alfa.** La diversidad alfa se refiere a la riqueza de especies que detectamos en una comunidad en un determinado sitio más o menos homogéneo (Whittaker, 1972).

**2.3.1.1.1 Dominancia y equidad.** Representada por Shannon y Simpson

- **Shannon:** El índice refleja la heterogeneidad de una comunidad sobre la base de dos factores: el número de especies presentes y su abundancia relativa (Shannon y Weaver, 1949). El índice de Shannon-Wiener, normalmente, varía de 1 a 5, e interpreta a valores menores de 2 como diversidad baja, de 2 a 3.5 media y superiores a 3.5 como diversidad alta (Margalef, 1972).
- **Simpson:** Es una medida de Dominancia que enfatiza el rol de las especies más comunes y refleja mejor la riqueza de especies (Dousdebes, 2017). Como el índice de Simpson ( $\lambda$ ) refleja el grado de dominancia en una

comunidad, la diversidad de esta puede calcularse como 1-D (Dousdebes, 2017). Al utilizar la forma 1-D, la interpretación es inversa: a mayores valores de 1-D, la diversidad será mayor, y a menores valores, la diversidad del sitio será menor (Krebs, 1985). En la tabla 3 se muestra los valores de interpretación para el Índice de Simpson. (Dousdebes, 2017).

**Tabla 2.** Valores de interpretación para índice de Simpson

Valores	Interpretación
0,00-0,35	Diversidad baja
0,36-0,75	Diversidad media
0,76-1,00	Diversidad alta

Fuente: Krebs, 1985

#### 2.3.1.1.2 Riqueza. Representada por Chao 1.

- **Chao 1:** Es un estimador del número de especies en una comunidad basado en el número de especies raras en la muestra (Chao, 1984). Estima el número de especies esperadas considerando la relación entre el número de especies representadas por un individuo (singletons) y el número de especies representadas por dos individuos en las muestras (doubletons) (Alexander Von Humboldt, 2004).

**2.3.1.2 Índices de diversidad Beta.** La diversidad beta se refiere al grado de cambio den la composición de especies entre diferentes comunidades en un ecosistema (Whittaker, 1972). Los métodos para cuantificar la diversidad beta se pueden dividir en dos clases: de similitud-disimilitud y los de recambio/reemplazo de especies. Estas similitudes o diferencias pueden ser tanto de índole cualitativa (utilizando datos de presencia-ausencia) como de carácter cuantitativo (utilizando datos de abundancia proporcional de cada especie o grupo de estudio (Alexander Von Humboldt, 2004).



**2.3.1.2.1 Similitud y disimilitud.** Expresa el grado de semejanza en composición de especies y sus abundancias en dos muestras (Humboldt, 2004).

- **Mapa de calor:** El mapa de calor (Heatmap) compara la similitud en la diversidad a nivel porcentual. Valores cercanos a 1 indican alta similitud entre muestras, reforzándose con el índice beta que va entre 0 y 3.
- **Bray- Curtis:** Para evaluar la diversidad beta se analizó que tan semejantes son las comunidades entre cada una de las muestras empleando el Índice de similitud de Bray-Curtis teniendo en cuenta que entre más cercano este al valor de 1, mayor similitud tendrán estas. (Krebs, 1985).

**2.3.1.3 Niveles Taxonómicos.** Clasificación o agrupamiento sistemático de los organismos y ordenamiento lógico basado en la afinidad natural (Montoya, 1997). Los taxones de son: filum, clase, orden, familia, género y especie. Esta última se refiere a individuos que están estrechamente relacionados, los organismos son iguales en el mayor número de características genotípicas y fenotípicas.

## **2.4 ANTECEDENTES DE EXTRACCIÓN DE HONGOS Y SECUENCIACIÓN CON ITS**

Aquí se muestran algunas investigaciones realizadas a nivel nacional como internacional sobre extracción de hongos y secuenciación ITS usada para identificación de estos.

En el presente estudio realizado por Llacsá, 2015 para la Identificación de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrícicos asociados a *Centrolobium ochroxylum* Rose ex Rudd. “amarillo” y *Loxopterygium huasango* Spruce ex Engler. “hualtaco” procedentes de la Zona de Amortiguamiento del Parque Nacional Cerros de Amotape, Peru; se aisló e identificó mediante técnicas de caracterización molecular, bacterias y hongos endófitos asociados a las raíces de

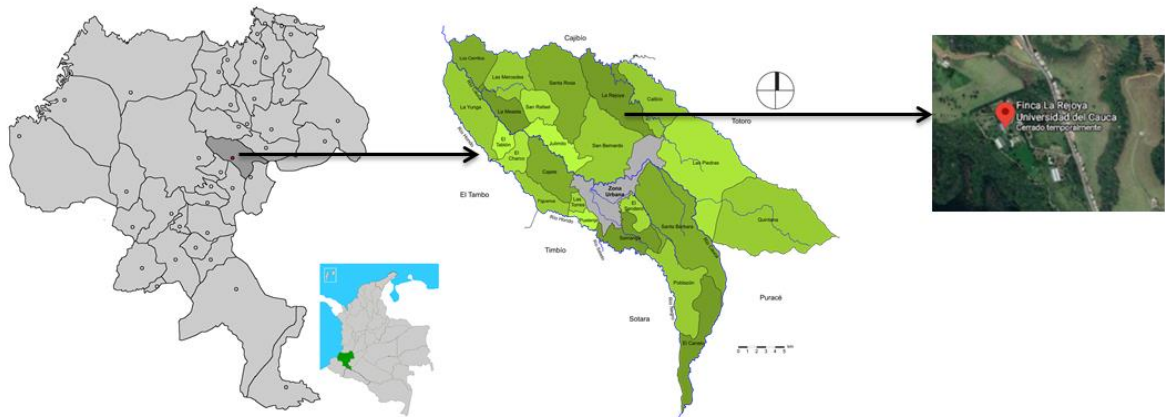
*Centrolobium ochroxylum* y *Loxopterygium huasango*. Las muestras fueron obtenidas a partir de raíces y suelo rizosférico, se sembraron y aislaron en medio de cultivo generales y específicos, el ADN genómico fue extraído de cada cultivo puro con un kit comercial de acuerdo al protocolo de extracción de ADN de IncaBiotec S.A.C, Los resultados obtenidos de la amplificación se observaron en un gel de 1.5% de agarosa con TAE 1X y 3 ul de bromuro de Etidio para 60 mL de gel preparado, para su migración se tomó 10 uL de amplicón y 2 uL de tampón de depósito y se colocó en la cámara de electroforesis, posteriormente se visualizó en transiluminador UV, con la finalidad de observar si existe un producto amplificado, se realizó un análisis de la secuencia 16S RNAr para bacterias y de la región ITS (Espacio Transcrito Interno) para hongos utilizando primer universales ITS-1 (TCCGTAGGTGAACCTGCGG) e ITS-4 (TCCTCCGCTTATTGATATGC) para cada secuencia. La secuenciación fue realizada por la empresa Macrogen en la ciudad de New York, Estados Unidos; Las secuencias obtenidas se alinearon en el software de alineamiento de secuencias manuales y automáticas mega 5 (<http://www.megasoftware.net/>) el análisis en línea se realizó mediante el software libre: herramienta de búsqueda y alineamiento local básico (BLAST; <ftp://ftp.ncbi.nlm.nih.gov/blast/>) para verificar el grado de similitud entre las secuencias obtenidas con secuencias existentes en el banco de genes (GenBank). Mediante el análisis de caracterización molecular se identificaron 11 cepas fúngicas asociadas a *Loxopterygium huasango*, 4 cepas bacterianas y 4 fúngicas asociadas a *Centrolobium ochroxylum*. Se encontró *Rhizobium tropici*, que es una bacteria fijadora de nitrógeno y formadora de nódulos asociado a leguminosas, los otros microorganismos identificados fueron endófitos que para los árboles del bosque, constituyen aliados importantes para sobrevivir. Con este método se identificó parte de los microorganismos cultivables asociados a las especies forestales en estudio.

### 3. METODOLOGIA.

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDIO.

El estudio se desarrolló en el centro de estudios vegetales perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca, la cual está ubicada en la vereda la Rejoya situada en el municipio de Popayán, a una altura de 1900 msnm, temperatura de 19°C, precipitación de 2000 mm/año y un 85% de humedad relativa (Luna Feijoo y Mesa Reinaldo, 2016).

**Figura 2.** Ubicación geográfica del centro de estudios vegetales perteneciente a la Facultad de Ciencias Agrarias en el municipio de Popayán

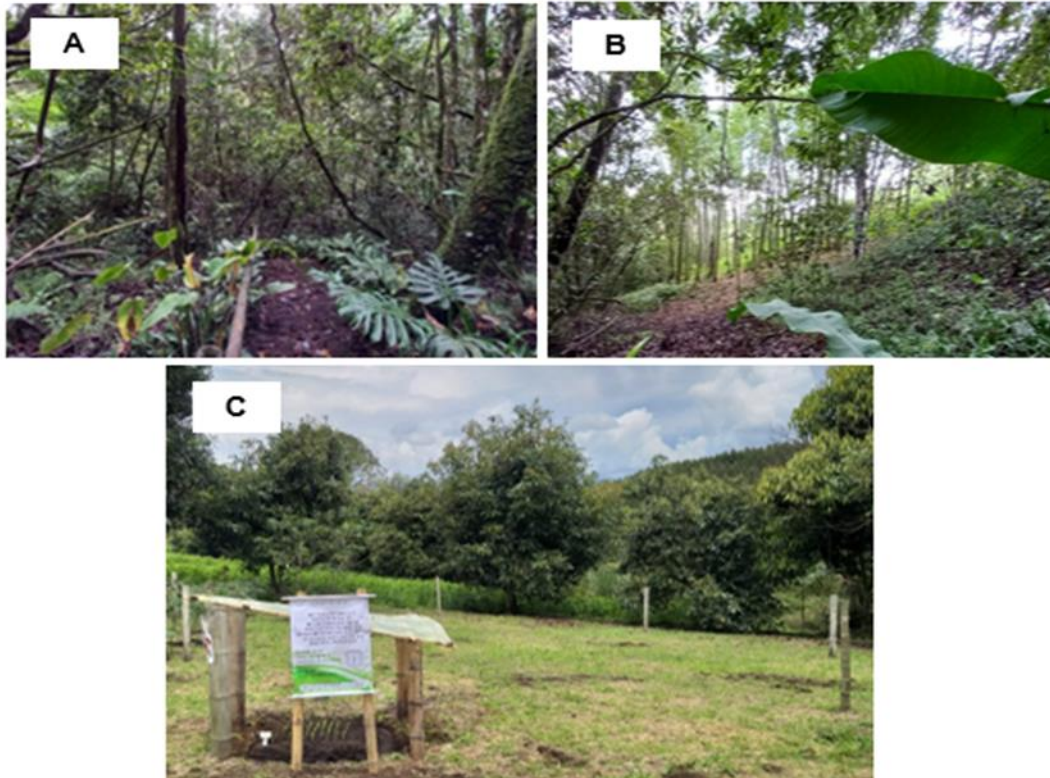


Fuente. [https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:MunsCauca\\_Popayan.png](https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:MunsCauca_Popayan.png),

Para el desarrollo de la investigación se realizaron los siguientes pasos:

#### 3.2 PROCEDIMIENTO PARA LA CAPTURA DE ME

Se seleccionaron 2 sistemas boscosos diferentes; ubicados en la finca La Rejoja donde se hizo la respectiva captura de los microorganismos eficientes a evaluar. Se seleccionó un sistema suelo donde se establecieron las respectivas parcelas (figura 3).

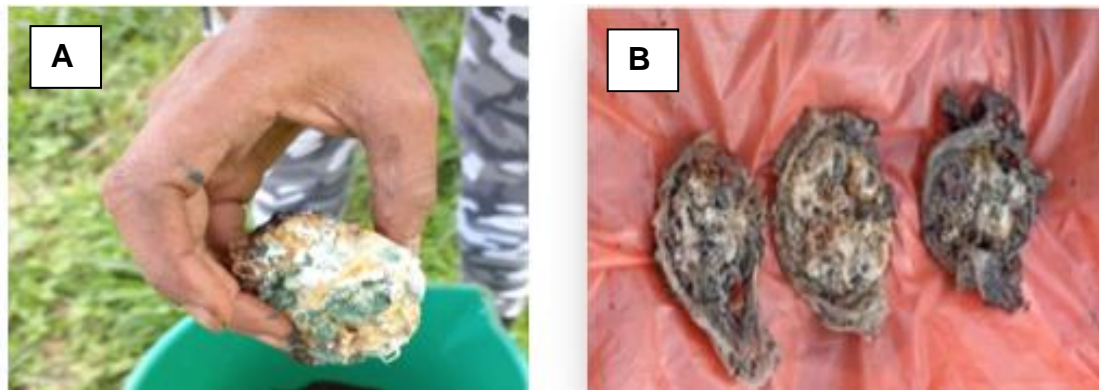


**Nota:** A- Sistema Bosque de tipo secundario, considerado como una zona de vida subtropical siendo este un bosque húmedo (Holdridge, 1982). B- Sistema Guadual intervenido ocasionalmente para cosecha de las guaduas. C- Sistema suelo el cual estuvo en proceso de descanso con presencia de gramíneas.

Fuente: elaboración propia

**Figura 3.** Sistemas Agroecológicos Seleccionados

**3.2.1 Preparación de sustrato.** Se realizó la cocción por 15 a 20 minutos de 1 kg de arroz sin sal y sin aceite hasta tener una consistencia blanda. Se llenaron 21 vasos plásticos hasta la mitad con el sustrato, se cubrió la parte superior de los mismos con la tela nylon y se aseguró con bandas elásticas. Posteriormente se llevó a campo un total de 11 vasos por sistema para la captura de los microorganismos (figura 4) y se hizo la recolección 15 días después para realizar el respectivo proceso de activación de estos; ver figura 5. (Campo *et al.*, 2014).



A. Microorganismo capturados del sistema gradual

B. Microorganismos capturados del sistema bosque

Fuente: elaboración propia

**Figura 4.** Muestras de microorganismos eficientes recolectado



**Nota:** A. Preparación de vasos con su respectivo material. B. Recolección de vasos con microorganismos de los diferentes ecosistemas seleccionados. C. Preparación de suelo para proceso de activación de los microorganismos

Fuente. Elaboración Propia

**Figura 5 .** Captura y recolección de microorganismos eficientes

**3.2.2 Preparación y activación de microorganismos eficientes.** Se utilizó una mezcla de 1kg de suelo más 1 vaso de microorganismos capturados (figura 6); de la cual se adiciono una cantidad de 10g por plántula sembrada. (Paz, 2021).



Fuente. Elaboración propia

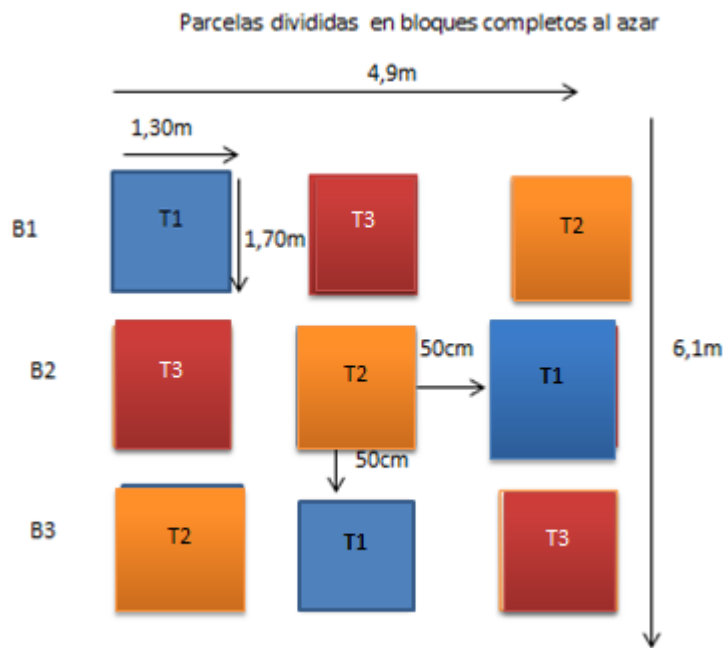
**Figura 6.** Activación de microorganismos eficientes en suelo

### **3.3 INSTALACIÓN DEL ENSAYO.**

Se construyeron un total de 9 parcelas experimentales sin emplear ningún tipo de desinfección al suelo.

### 3.4 DISEÑO EXPERIMENTAL.

Se estableció un diseño en bloques completos al azar constituido por 3 tratamientos y 3 bloques con el fin de reducir y controlar la varianza del error experimental manifestado por la pendiente del suelo (figura 7).



Fuente. Elaboración propia

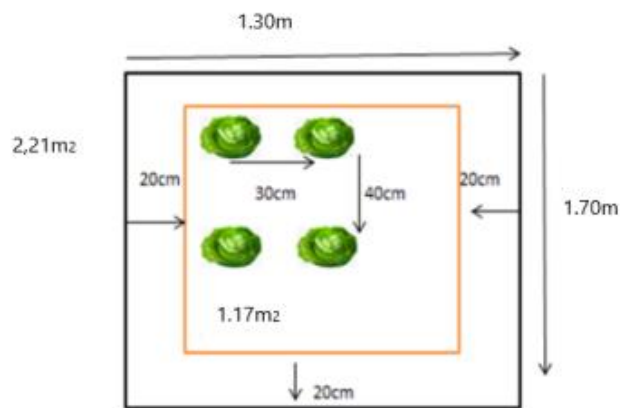
**Figura 7.** Distribución en campo, división de parcelas experimentales

Cada unidad experimental estuvo representada por parcelas de 2.3 m<sup>2</sup> con 16 plantas de lechuga cressa sembradas a distancia de 30cm x 40cm (figura 8 y 9). Se establecieron 9 parcelas experimentales con un total de 48 plantas por bloque y 144 en todo el ensayo, para tener en cuenta el efecto de borde (figura 10).



Fuente. Elaboración propia

**Figura 8.** Bloques experimentales



Fuente. Elaboración propia.

**Figura 9.** Distribución de plantas dentro de la unidad experimental





Fuente. Elaboración propia.

**Figura 10.** Instalación de diseño experimental

### **3.5 COMPOSICIÓN DE LOS TRATAMIENTOS**

A continuación, se presenta la distribución de los tratamientos en la investigación, sugerida por Paz (2021).

T1= 10g de Suelo natural más M.E sistema de bosque secundario 1 (gradual)

T2= 10g de Suelo natural más M.E sistema de bosque secundario 2 (nativo)

T3= Suelo natural (testigo)

### **3.6 MUESTREOS DEL SUELO PARA ANALISIS QUIMICO**

Al inicio del ensayo donde se establecieron las parcelas se tomó un 1kl de suelo compuesto por varias submuestras a profundidad de 20cm con el fin de conocer las condiciones químicas iniciales del suelo. Al final del ensayo se tomaron 2 muestras de suelo; la primera compuestas por submuestras provenientes de parcelas con aplicación de microorganismos eficientes (ME) y la segunda compuesta por submuestras provenientes de parcelas sin aplicación de ME. Estas fueron llevadas al laboratorio de la secretaria de suelos del Departamento del Cauca donde se analizaron parámetros como la textura del suelo, el pH, nutrientes disponibles, porcentaje de materia orgánica y saturación de aluminio.

### **3.7 METAGENÓMICA**

La metodología para recolección de muestras ME, extracción, cuantificación y secuenciación de ADN para el análisis del genoma de la comunidad fúngica se expone a continuación:

**3.7.1 Muestreo de ADN para metagenómica.** Para determinar la metagenómica de los ME capturados en las trampas situadas en los ecosistemas seleccionados como también los presentes en el suelo donde se establecieron las parcelas se tomó tres muestras compuestas (una por cada ecosistema: bosque, guadual y suelo solo), y para determinar la metagenómica existente en el suelo rizosférico de la Lechuga se tomaron 12 muestras, 3 al inicio del ensayo (una por cada tratamiento), y nueve (una por parcela al final del ciclo de la lechuga), para un total de 15 muestras.

**3.7.2 Extracción de ADN fúngico y conservación.** Para la extracción del ADN fúngico, se utilizó el kit GenElute Soil DNA Isolation, siguiendo los pasos y recomendaciones del fabricante; no obstante se hicieron modificaciones al protocolo de extracción buscando adaptar este a los equipos de laboratorio.

Para el preparado del lisado se realizaron los siguientes pasos:

- Se agregaron 250 mg de muestra de suelo a un tubo de perlas provisto y agregue 750  $\mu$ L de tampón de lisis G para mezclar este y el tampón de lisis G
- Se realizó un proceso de sonicación por 5 minutos a temperatura ambiente con el uso de un equipo ultra sonido (modificación al protocolo).
- Añadió 200  $\mu$ L de aditivo de lisis A y agito brevemente en el vórtex de lecho plano durante 5 a máxima velocidad.
- Se Centrifugaron las muestras; modificándose el tiempo y las revoluciones a 5 minutos y a 14.000 rpm, luego se transfirió el sobrenadante limpio a un tubo de microcentrífuga sin ADNasa sin ningún contacto con el sedimento.
- Posteriormente se agregó 100  $\mu$ L de Binding Buffer I, con movimientos e inversión para lograr una mejor mezcla de la solución la cual fue incubada en hielo por 5 minutos.
- El lisado resultante se centrifugo durante 5 minutos a 12.000 rpm (modificación del protocolo), para sedimentar cualquier proteína y partículas de suelo. Con una pipeta se procedió a transferir 700  $\mu$ L de sobrenadante a un tubo de microcentrífuga sin ADNasa evitando contacto con el sedimento.
- Se agregó 50  $\mu$ L de solución OSR, mezclando e invirtiendo el tubo 5 veces, la cual se incubo durante 5 minutos en hielo. Después se centrifugo por 5 minutos a 12.000 rpm (modificación al protocolo); para sedimentar cualquier proteína y partículas de suelo. Con una pipeta se transfirió 700  $\mu$ L del sobrenadante limpio a un tubo de microcentrífuga sin ADNasa evitando contacto con el sedimento.
- Por último se agregaron 400  $\mu$ L de Lysis Buffer QP y 550  $\mu$ L de etanol al 100% y se agito en vórtex brevemente.

Para el montaje de la columna de centrifugado, para cada tubo de muestra, se mezcló suavemente el lisado, el tampón de lisis QP y el etanol con una pipeta y se aplicó 600  $\mu$ L del lisado clarificado en la columna, se centrifugo durante 30 segundos a 10.000 rpm. Se desechó el flujo y se procedió a ensamblar nuevamente la columna de centrifugado con el tubo de recolección.

Para el lavado de la columna se aplicó 500  $\mu$ L de Binding Buffer B a la columna y se centrifugo durante 1 minuto a 10,000 rpm, se desechó el flujo y se ensambló la columna de centrifugado con su tubo de recolección.

-Se procedió a aplicar 500  $\mu$ L de solución de lavado A; a la columna y se centrifugo durante 1 minuto a 10,000 rpm. Se desechó el flujo y se ensambló la columna de centrifugado con su tubo de recolección.

-finalmente se centrifugo la columna durante 5 minutos a 12.000 rpm para secar completamente la resina. Se Desechó el tubo de recolección.

El paso final fue la elución del ADN para lo cual se colocó la columna en un tubo de elución nuevo de 1,7 ml, se añadió 100  $\mu$ L de tampón de elución B a la columna e incubo durante 1 minuto a temperatura ambiente. Se centrifugo durante 1 minuto a 10.000 rpm. El ADN genómico purificado se almaceno a  $-20^{\circ}$  C.

Fuente. SigmaAldrich

**3.7.3 Verificación y cuantificación del ADN.** Para observar la integridad del ADN extraído de todas las muestras se sometió a electroforesis (80 voltios) en gel de agarosa al 0,8 % en tampón BE 0,5.

Para determinar la concentración y pureza se utilizó el espectrofotómetro ND Colibrí de Thermo Scientific (Paz y Menjivar, 2019). El equipo NanoDrop 2000 (figura 11) consta de una cubierta y una plataforma circular conocida como pedestal al cual se le adiciono la cantidad de 0,5 $\mu$  a 2 $\mu$  de las muestras de ADN, posteriormente este indica la concentración y pureza. (Thermo Scientific, 2020).



Fuente. Elaboración propia.

**Figura 11.** Equipo NanoDrop 2000

El procedimiento realizado para la espectrofotometría del ADN se muestra a continuación:

En el equipo ND conectado a un computador determinó la concentración y la pureza de las muestras de ADN basándose en la capacidad de absorbancia del compuesto presente en la solución a una longitud de onda determinada. La concentración de las muestras de ADN se calculó teniendo en cuenta el valor de absorbancia a una longitud de onda de 260nm. La relación de absorbancias A260/280 y A260/230 se utilizaron para evaluar la pureza de estas. La relación A260/280 es muy estable y se considera un ADN de pureza óptima a aquel con un valor entre 1,8-2,0 y es aceptable al tener una relación A260/280 > 1,6 (Banco Nacional de ADN Carlos III, 2020).

Una vez obtenido el ADN se conservó a -20°C, hasta que fue enviado para secuenciamiento.

**3.7.4 Secuenciamiento.** Las muestras de ADN fueron enviadas a secuenciar al laboratorio Novogene ubicado en China con el fin de analizar los cambios ocurridos en la diversidad fúngica desarrollada en la rizosfera de la lechuga establecida en cada tratamiento, se amplificó el fragmento de la región ITS (espaciador transcrito interno) en el ADN ribosómico, incluidos ITS1-5F (5-

GGAAGTAAAAGTCGTAACAAGG-3) para identificar los géneros teniendo en cuenta que es la región aceptada como código de barras genético para los hongos (Schoch *et al.*, 2012). El amplicón se secuenció en la plataforma de extremos emparejados de Illumina para generar lecturas sin procesar de extremos emparejados de 250 pb, Para estudiar la composición de la comunidad microbiana en cada muestra, se obtuvieron Unidades Taxonómicas Operativas (OTU) agrupando el 97% de identidad en las etiquetas efectivas de todas las muestras, y luego se identificaron.

### **3.8 VARIABLES EVALUADAS Y FRECUENCIA DE MUESTREO.**

Las variables evaluadas en este estudio se presentan a continuación.

**3.8.1 Variables Para microorganismos.** Se midió la frecuencia y abundancia de diversidad fúngica, antes y después de establecido en ensayo mediante los índices de diversidad alfa y beta (Paz, 2019).

Para estimar la riqueza y diversidad de especies en las comunidades, se utilizó e implementó un análisis basado en OTUs utilizando el software QIIME y R (Caporaso *et al.*, 2010). Enfocado en el OTU, el programa QIIME calculó mediciones de diversidad alfa basándose en los índices de dominancia y equidad según Shannon y Simpson como también Chao 1.

Se analizó la diversidad beta. Esta se calculó mediante el software QIIME donde compara todas las comunidades mediante la generación de cálculos Unifrac tanto en la versión ponderada como en la no ponderada representada por un mapa de calor, este parámetro medio las similitudes entre las comunidades de las muestras e igualmente a través de este programa se analizó el índice de diversidad según Bray-Curtis.

**3.8.1.1 Niveles Taxonómicos.** Se realizó el agrupamiento sistemático de los organismos y el ordenamiento lógico basado en la afinidad natural (Montoya, 1997). Los taxones fueron: filum, clase, orden, familia, género y especie. Esta

última se refiere a individuos que están estrechamente relacionados, los organismos son iguales en el mayor número de características genotípicas y fenotípicas.

**3.8.2 Variables para la lechuga.** Las variables que se tuvieron en cuenta para la evaluación en lechuga se presentan a continuación.

- **Altura de la planta:** La altura de planta se tomó desde la base del suelo hasta la última hoja formada (Toledo, 1982). Para la medición de esta variable se tomó un total de 9 plantas por parcela con una frecuencia de medida de 15 días hasta el final del ciclo productivo de la lechuga (*Lactuca sativa*).
- **Longitud de la hoja:** La longitud de las hojas de lechuga (*Lactuca sativa*) se tomó teniendo en cuenta la base inferior de la hoja hasta la parte superior de la misma (Guo & Sun, 2001). Para su medición se seleccionaron 9 plantas por parcela, esta se realizó cada 15 días hasta el final del ciclo productivo del cultivo.
- **Longitud de raíces:** La longitud del sistema radicular se midió teniendo en cuenta cuello del tallo de la planta hasta el ápice radicular y se cuantificó al momento de la cosecha en la cual se tomó un total de 9 plantas al azar para dicha medición.
- **Contenido de clorofila:** La medición del contenido de clorofila se realizó mediante un clorofilometro el cual realiza un análisis óptico, no invasivo de manera directa sobre la hoja de las plantas de lechuga, el Medidor de concentración de clorofila utilizado fue de la marca Opti-sciencies CCM-200 plus con una absorbancia óptica en dos bandas de ondas diferentes 653nm (Clorofila) y 931nm (infrarrojo cercano). Este sensor óptico estima el contenido de clorofila en hoja mediante la transmitancia a diferentes longitudes de onda, e indican el estado nutritivo de la planta basándose en la relación existente entre el contenido foliar de clorofila y el contenido foliar de nitrógeno (Schepers *et al.*, 1992). La lectura de las longitudes fue llevadas a un valor índice (CCI) permitiendo una medición indirecta

conociendo así el contenido de clorofila de las hojas, midiéndose cada 15 días (Callejas, 2013).

- **Incidencia de plagas y enfermedades:** esta variable se cuantifico teniendo en cuenta las unidades de muestreo (número plantas y hojas) afectadas por las plagas y enfermedades sin tener ningún interés en alguna en especial (ICA, 2015), esta medida se realizó cada 15 días.
- **Peso de biomasa:** Para el cálculo de la biomasa fresca total se extrajo un total de 9 plantas completas de lechuga, por tratamiento, al final del ciclo productivo, se separaron los componentes de la biomasa aérea: hojas, tallos y la biomasa radical, para la cuantificación de esta última el suelo fue removido por completo en los primeros 15 cm de profundidad, y se extrajo de manera minuciosa la mayor cantidad de raíces finas y gruesas, así estos dos componentes se pesaron en fresco (Jiménez, 2019).

**3.8.2.1 Muestras para parámetros agronómicos.** Se realizaron muestreos cada 15 días a lo largo del ciclo del cultivo para cuantificar los parámetros agronómicos como: altura de planta, longitud de hoja, longitud de raíces, índice del contenido de clorofila, incidencia de plagas y enfermedades; y biomasa (área y radicular)

**3.9 Procesamiento y análisis de datos.** Para el análisis estadístico e interpretación de los resultados metagenómicos, el laboratorio NOVAGENE empleo el programa Qiime (V 1.7.0) y R para realizar el análisis filogenético y de frecuencias, y calcular indicadores de diversidad Alfa (Shannon, Simpson y Chao1) y beta (similitud y disimilitud: Jaccard y Bray-Curtis).

Para la interpretación de los resultados agronómicas se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar diferencias entre tratamientos y prueba de comparación de promedios (Duncan) para seleccionar los mejores efectos según los tratamientos (Paz, 2018).



## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 ANÁLISIS FISICOQUÍMICO DE SUELO

A continuación, se muestra los resultados del análisis de suelos (tabla 3) donde se conoció las condiciones de este antes y después de la siembra del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) y la aplicación ME.

**Tabla 3.** Análisis fisicoquímico de suelo inicial, suelo final con cultivo y suelo final con cultivo más adición de ME.

Elementos	suelo inicial general sin cultivo	suelo final más lechuga	suelo final con lechuga más Tratamiento
Textura	FA	F	FA
pH	5,64	5,5	5,28
N (ppm)	86,8	47,6	75,6
MO (%)	12,55	6,84	10,73
P (ppm)	4,37	3,31	4,76
Saturación Al (%)	0	0	5,81
Al (meq/100g)	0	0	0,2
K (meq/100g)	0,3	0,54	0,46
Ca (meq/100g)	1,95	1,72	2,39
Mg (meq/100g)	1,51	1,19	0,92
B (ppm)	0,41	0,37	0,29
Cu (ppm)	0,39	0,46	0,32
Fe (ppm)	1,78	2,37	2,29
Mn (ppm)	2,41	2,1	2,16
Zn (ppm)	0,92	0,2	0,19

FA: franco arcilloso F: franco N: nitrógeno MO: materia orgánica P: fosforo Al: aluminio K: potasio Ca: calcio Mg: magnesio B: boro Cu: cobre Fe: hierro Mn: manganeso.

Fuente. Elaboración propia.

Al comparar los resultados de los tres análisis de suelos (inicial general sin cultivo, suelo final más lechuga y suelo final con lechuga más Tratamiento gradual y bosque) en un transcurso de 120 días, se pudo observar:

Para el caso del pH hubo disminución con el paso del tiempo, esto estuvo relacionado con el proceso de mineralización de la materia orgánica ocurrido en las parcelas con cultivo, especialmente en aquellas sin aplicación de EM, acompañado de los periodos de humedad que ocurrieron durante el tiempo del ensayo. Sin embargo, la baja de pH también pudo darse por las diferentes reacciones a que dio lugar la microbiota en el suelo, dado que al existir mayor biomasa microbiana hubo mayor liberación de CO<sub>2</sub> implicando disminución del pH en la solución del suelo (Paredes, 2010)

La menor disminución de MO (menos mineralización) ocurrida en parcelas con cultivo más EM (T1), se debió posiblemente a que los microorganismos usaron menos materia orgánica para suplir las necesidades de nutrientes requeridas (Paz, 2022), lo que se pudo constatar con el mayor contenido de nitrógeno disponible observado en suelos T1.

En el caso del nitrógeno se observa mayor gasto en parcelas con cultivo pero sin EM, en contraste en parcelas con cultivo más EM se registró mayor disponibilidad, relacionándose esto con la mayor diversidad de hongos mineralizadores de materia orgánica encontrada. Un ejemplo de estos son los del genero *Trichoderma* entre los que están el *T. Koningiopsis* y *T. harzianum* estos hongos toma nutrientes de los hongos que parasita y de materiales orgánicos, ayudando a su descomposición, por lo cual las incorporaciones de materia orgánica y compostas favorecen su proliferación (Ramos, 2008); como también aquellos de tipo saprofito como el *Saccharomycopsis figuligera*, *Aspergillus flavus* y *Thermoascus aurantiacus* (Klich, 2002). Los microorganismos como hongos y bacterias promueven el reciclaje de nutrientes en el suelo e incrementan la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Morocho, 2019).

Similar ocurrió con el fosforo donde el mayor gasto ocurrió en parcelas con cultivo y sin EM. En las parcelas con cultivo y EM el posible trabajo de los hongos solubilizadores de fosforo como por ejemplo los del genero *Aspergillus*, (Acosta, 2019) se refleja en la mayor disponibilidad de este.

La solubilización del P del suelo es el proceso por el cual las reacciones de precipitación se revierten, liberándose el P en la solución del suelo, mediado por la acción metabólica de hongos, bacterias y raíces de las plantas (Goldstein, 2007). Paz, 2020 menciona que el fósforo solubilizado por la población microbiana de la rizosfera, puede aumentar cuando el pH del suelo disminuye, así como ocurrió en esta investigación donde el pH bajo al final de ensayo. El mismo autor cita a hongos del género *Aspergillus*, *Penicillium* y bacterias como *Pseudomonas*, *Enterobacter* con solubilizadores de fósforo.

El porcentaje de saturación aumento con la disminución de pH, sin embargo, no fue limitante, ya que los valores de aluminio en el rango inferior de 1 meq/100 g no afectó el desempeño del cultivo. Uno de los criterios para considerar al aluminio como un problema en el suelo es cuando el contenido de Al es superior a 2 meq/100 g<sup>-1</sup> (Casierra, 2007)

El potasio muestra un aumento en las parcelas con aplicación EM y en aquellas sin aplicación (T3) consecuencia de la mineralización de la materia orgánica por parte de los microorganismos (hongos y bacterias). Actualmente se conocen muchos microorganismos capaces de destruir las estructuras minerales que contienen potasio; bacterias como *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Clostridium* y hongos como *Aspergillus* y *Penicillium* que actúan de varias formas solubilizando el potasio de distintos minerales y materia orgánica (Delgado, 2002). El Calcio, muestra una disminución en T3 como consecuencia del consumo por el cultivo, aunque se observa un aumento de este en parcelas T1 y T2 (EM gradual y bosque), producto posiblemente de una mineralización más eficiente.

En el caso del magnesio y elementos menores como Bo, Cu y Zn presenta una disminución al final de periodo del ensayo, debido en gran parte al consumo generado por el cultivo de lechuga y las perdidas por lixiviación. El mayor consumo de estos elementos registrado en T3 puede insinuar que tanto cultivo como microorganismos los consumieron. Pero adicionalmente el magnesio pudo haber disminuido en disponibilidad por el cambio de pH hacia más acidez (Intagri, 2022). El Zn pudo también perderse por movilización, ya que por lo general este elemento tiende a desplazarse hacia otros horizontes del suelo (Paz, 2022).

El aumento del hierro en la fase final del ensayo se debió al bajo pH registrado; lo cual permitió el rompimiento de la estructura de los minerales arcillosos y en consecuencia se liberó Fe (Espinosa, 1999). Con relación al manganeso, este puede aumentar cuando se genera acidez en los suelos (Paz, 2022) como ocurrió al final del periodo. También esto muestra que hubo un consumo de

manganeso por parte de la planta; ya que se presentó una cantidad menor de este elemento en el tratamiento sin aplicación T3 en comparación con el tratamiento con EM gradual (T1).

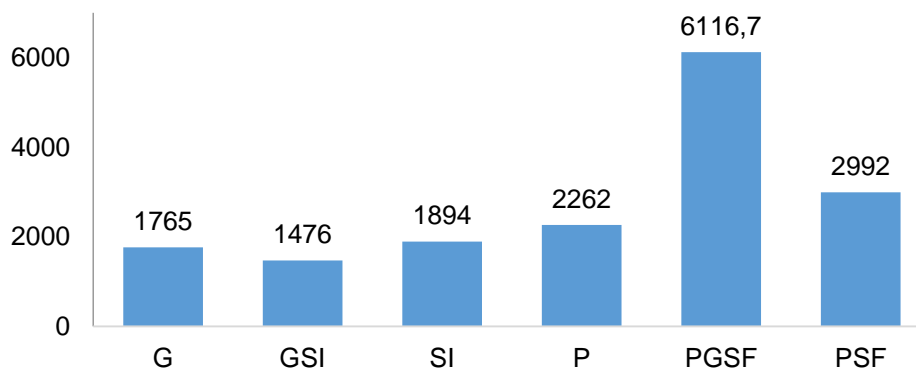
## 4.2 ANÁLISIS METAGENÓMICO

Se realizó un estudio metagenómico donde se analizó la dinámica de la población fúngica y un estudio filogenético con el fin identificar las relaciones de estos con las variables antes nombradas.

**4.2.1 Diversidad de la comunidad fúngica antes y después de la aplicación de EM.** La medición de biodiversidad se ha centrado en la búsqueda de parámetros para caracterizar comunidades ecológicas, Por ello, los componentes de medición alfa, beta son de gran utilidad para conocer la relación y los cambios presentes en la estructura de los ecosistemas.

**4.2.2 Índice de diversidad alfa.** Se refiere a la riqueza de especies de una comunidad particular a la que consideramos homogénea (Whittaker, 1972). Los índices para cuantificar la diversidad a nivel local o alfa son:

**4.2.2.1 Índice de diversidad según Shannon.** La diversidad según el índice de Shannon (figura 12) evidencio alta diversidad fúngica en todas las muestras. Se observó una mayor diversidad de EM en la muestra **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo) y la muestra del referente conocida como **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), es de resaltar que las muestras fueron tomadas al final del ciclo del cultivo de lechuga. **GSI** (gradual más suelo inicial) mostró la de menor diversidad en comparación a las demás muestras, la diferencia porcentual de entre **PGSF** y **GSI** es del 76%; lo que demuestra el aumento de diversidad fúngica a través de los 120 días para la muestra **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo) donde generalmente se vio representada en mayor proporción por las especies *Saccharomycopsis figuligera*, *Aspergillus flavus* y *Thermoascus aurantiacus*.



**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo)

**Figura 12.** Índice de diversidad según Shannon

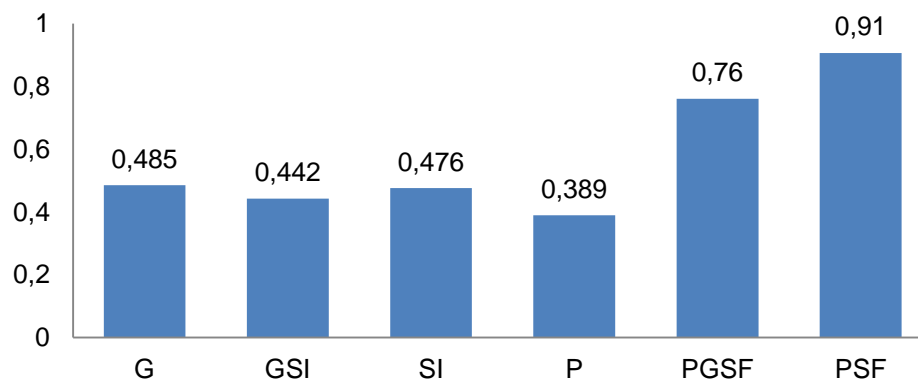
El resultado anterior se debió posiblemente a las condiciones presentes en el suelo, dado por la alta cantidad de materia orgánica, y el proceso de mineralización promovido por hongos (Deyn *et al.*, 2004) que degradaron elementos como el carbono, el nitrógeno (N) y el fósforo (P) así asegurando adecuadas condiciones nutricionales para la gran diversidad fungica (Torsvik, 2002).

**4.2.2.3 Índice de diversidad según Simpson.** El índice de Simpson muestra la dominancia de especies en cada una de las muestras.

La figura 13 indica un rango de diversidad media a alta en todas las muestras. Se observan valores entre 0,389 para la muestra **P** (Sustrato de bandejas de germinación) y 0,90 para la muestra que referencia a **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo); siendo este último el de mayor valor, indicando que en esta muestra existen más grupos dominantes que en las demás; uno de estos grupos pertenece al género *Trichoderma* de la cual se destaca la especie *T. Koningiopsis* que se encuentra en mayor porcentaje a nivel poblacional. Para la muestra **PGSF** los hongos de mayor dominancia fueron aquellos pertenecientes a las especies de *Saccharomyces figuligera*, *Aspergillus flavus* y *Thermoascus*

*aurantiacus*, La diferencia porcentual entre **PGSF** y **PSF** al final del ciclo productivo, frente al suelo inicial (**SI**) es del 39% y 48% respectivamente, lo que demuestra el aumento de la diversidad durante el periodo de 120 días del cultivo.

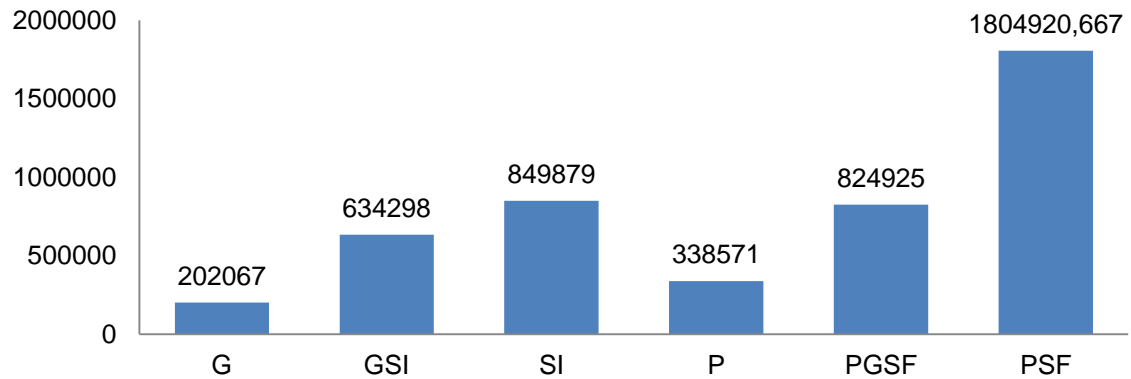
La presencia de la planta posiblemente impulso la diversidad fúngica en la rizosfera al liberar exudados útiles para el metabolismo fúngico, lo que les proporcione un nicho ecológico ideal, expresándose relaciones simbióticas mutualistas entre hongos y las plantas (González, 2005).



**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo).

**Figura 13.** Índice de Diversidad según Simpson

**4.2.2.4 Índice de riqueza según Chao 1.** En figura 14 según el índice de chao1 permite observar cual fue la muestra con mayor número de especies raras encontradas, (Colwell, 2013).



**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo).

**Figura 14.** Índice de riqueza según Chao1

Nuevamente la muestra **PSF**, muestra la mayor riqueza de especies raras o particulares en la muestra sin especificar cuales fueron estas, seguido de **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo). La muestra que representa al ecosistema gradual (**G**) arrojó el menor valor de Chao 1, indicando mayor homogeneidad y menor número de grupos taxonómicos particulares.

**GSI** (guadual más suelo inicial), muestra una diferencia positiva del 69% con **G**, indicando un cambio significativo en favor de la diversidad, ajustándose la comunidad fúngica de **G** a las nuevas condiciones del suelo

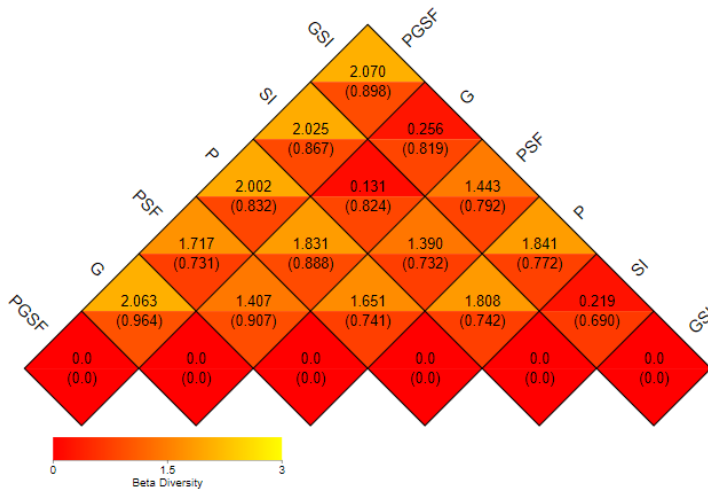
Se ha observado que cambios en el pH del suelo genera cambios en la estructura del microbiota del suelo, como efecto de la adaptación a las condiciones del nuevo medio (Enwall, 2005). Pereira, (2007), indica que algunos hongos pueden verse afectados por la presencia de suelo ácidos.

**4.2.3 Índice de diversidad beta.** Evidencio el grado de cambio o reemplazo en la composición de especies entre diferentes comunidades en las muestras (Whittaker, 1972).

**4.2.3.1 Similitud o disimilitud.** Valores cercanos a 1 indican alta similitud entre muestras, reforzándose con el índice beta que va entre 0 y 3. Se observa en el figura 15, como las muestras con mayor similaridad fueron **G** (guadual puro) y **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo) ya que al contraponerlas presentan un porcentaje del 96%, quizás este resultado se deba a que las muestras tienen un sustrato en común, el cual corresponde al gradual, cabe resaltar que el origen inicial de la muestra **PGSF** es **G** más **SI** lo que lleva a que esta comparta comunidad fúngica similar, un ejemplo de estas es la presencia de las especies *Trichoderma harzianum*, *Trichoderma koningiopsis* y *Aspergillus flavus*, las cuales son aquellas en mayor proporción dentro de estas muestras .

Cabe resaltar que **PGSF** es el que contiene los ME del gradual, talves las especies en este tratamiento suprimieron el crecimiento de las presentes en el suelo a través de las conocidas como competencias inter específicas en la cual los individuos pertenecientes a dos o más especies utilizan un recurso que es escaso desplazando y/o eliminando a otra especie (Gaxiola,2012), de tal forma que los nutrientes limitantes permitieron a la población sobrevivir y luego reproducirse, mostrándose dominante en ese ambiente específico lo cual las vuelve exclusivas, marcando una gran influencia sobre el crecimiento y actividad de la población (Montaño, 2014), como muestra de esto es la disminución de la población fúngica del genero *Trichoderma* y el aumento de especies como *Aspergillus flavus*, *Thermoascus aurantiacus* y *Saccharomycopsis fibuligera*, es posible que el cambio de la comunidad fúngica haya sido impulsada por las condiciones ambientales fluctuantes durante el desarrollo del cultivo.

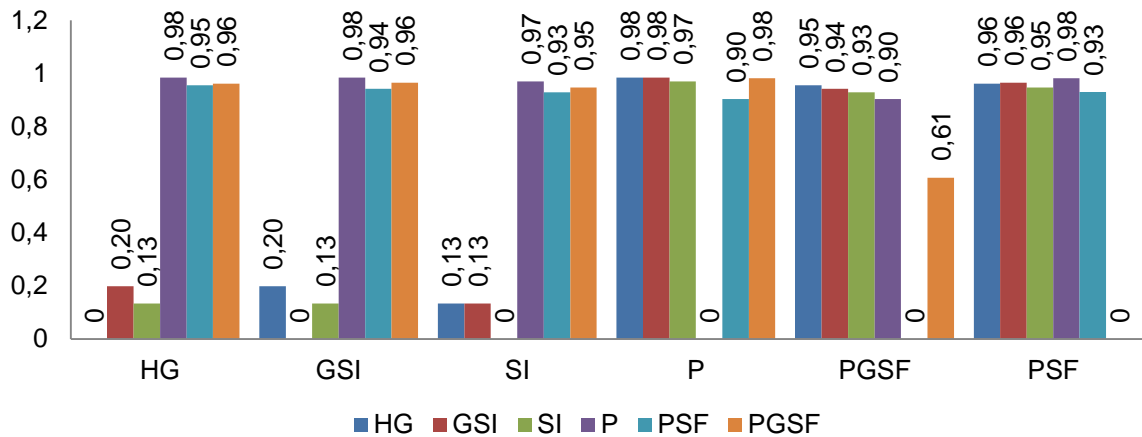




**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación con plántulas), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento guadual más cultivo).

**Figura 15.** Heatmap Índice de similitud de diversidad Beta.

**4.2.3.3 Bray-Curtis.** El figura 16 muestra la similitud de unas muestras frente a otras, se puede observar muestras como **G** (guadual puro), que con respecto a las muestras **GSI** y **SI** (muestras iniciales) solo comparten una diversidad del 20% y 13%, lo que representa una baja similitud de las especies presentes, igualmente se observa esto en muestras como **GSI** en relación a **G** (20%) y **SI** (13%), seguido de **SI** en torno a **G** (13%) y **GSI** (13%). En cuanto a muestras como **PGSF**, esta comparte con **PSF** una similitud de especies del 61% al final del ciclo productivo del cultivo de lechuga, lo que equivale a más de la mitad de las mismas. Concluyendo finalmente que las muestras restantes según el índice de Bray-Curtis muestran valores cercanos a 1, lo cual permite intuir que comparten la mayoría de las especies encontradas entre las que se encuentran aquellas de la especie *Savoryella aquatica*, *Pseudogymnoascus roseus*, *Trichoderma harzianum*, *Thermoascus aurantiacus*, *Aspergillus flavus*, *Saccharomycopsis fibuligera* y *Trichoderma Koningiopsis*.

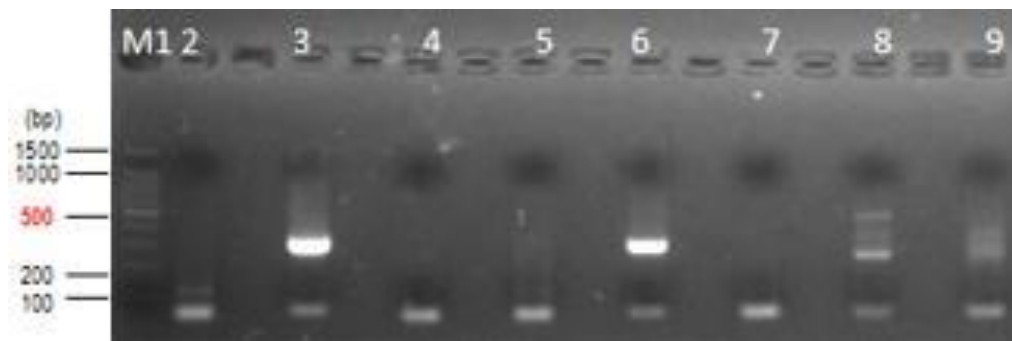


**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo).

**Figura 16.** Índice similitud Bray- Curtis

**4.2.4 Niveles taxonómicos operativos (OTU) encontrados antes y después de la aplicación de EM.** El resultado de secuencias provenientes de 9 muestras (figura 17) permitió observar la clasificación de las unidades taxonómicas operativas (OTU).

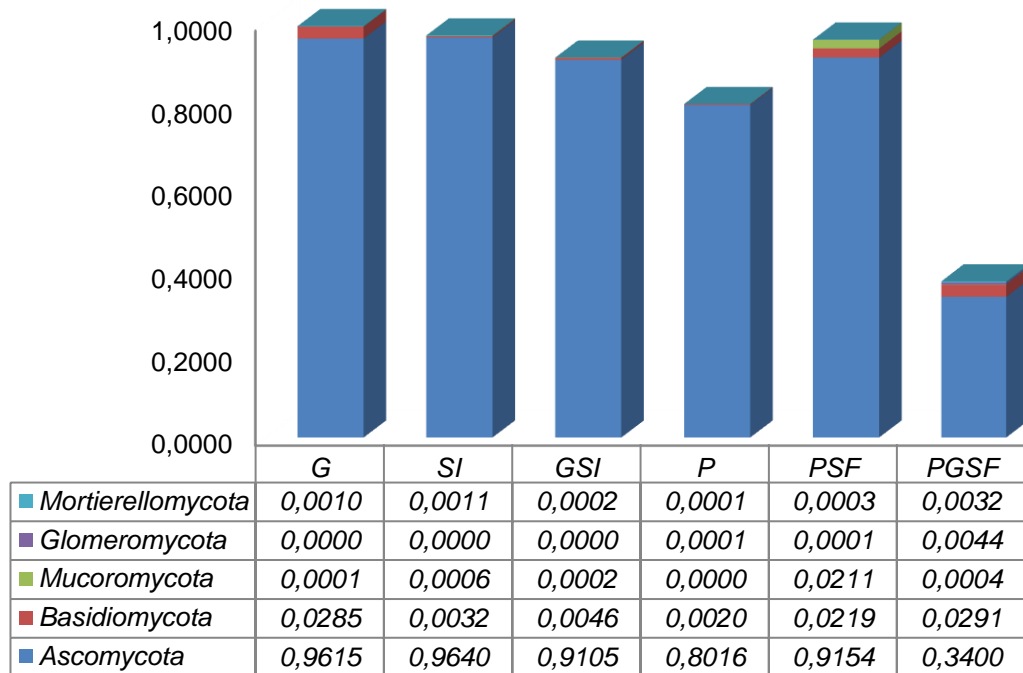
Para este estudio, el set de datos se constituyó por 4.511.797 secuencias de las cuales se identificó un total de 8.805 OTUs. A continuación, se muestran las secuencias de interés taxonómico teniendo en cuenta las categorías: Filum, Clase, Orden, Familia, Genero y Especie.



**Nota:** M1, escalera Trans 100bp (cargado 1  $\mu$ L); muestras clasificadas en el orden de la tabla superior (Todas cargadas 3  $\mu$ L).

**Figura 17.** Imagen de electroforesis en gel de productos PCR con cebador ITS-1SF a partir de ADN Extraído del suelo antes y después del establecimiento de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*).

**4.2.4.1 Filum.** La figura 18, muestra el porcentaje de las secuencias clasificadas a nivel de filum, donde los grupos de clase de hongos dominantes presentes en las muestras tomadas corresponden mayoritariamente a los *Ascomycota*, en un rango que va del 34% en **PGSF** al 96% en G en las que se destacan aquellos del genero *Trichoderma*. Se puede observar que las muestras iniciales sin presencia de cultivo (**G, SI, GSI y P**) cuentan con los mayores porcentajes de este filum. Sin embargo, al contraponer la muestra **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo) con **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), se ve una disminución de estos en tan solo 6% al final del ciclo de producción del cultivo de lechuga, mientras que al comparar **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo) respecto a **GSI** (gradual más suelo inicial), la diferencia es de 62.68%, lo cual muestra que la dominancia de este filum disminuyó.



**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación con plántulas), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento guadual más cultivo).

**Figura 18.** Filos dominantes de hongos encontrados por cada muestra

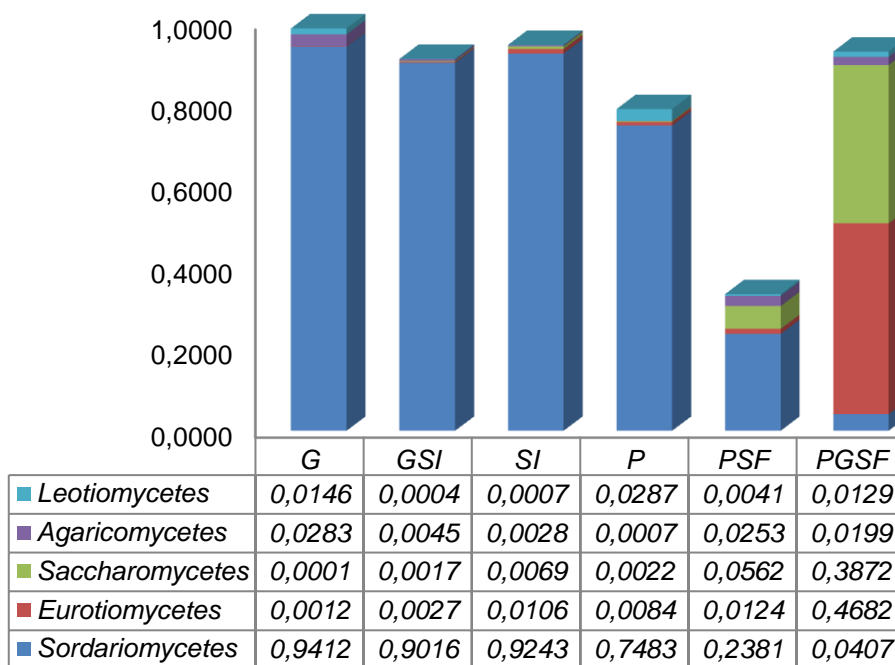
Es posible que la disminución de la dominancia de *Ascomycota* este asociada con la reducción de pH, como se observa en la tabla 3, (Havlin, 2014). Sigue en dominancia *Basidiomycota* en poca proporción, donde los mayores porcentajes se encuentran en las muestras **G** (guadual puro) 2,85%, **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo) 2,1% y **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento guadual más cultivo) 2,91%. Estos valores muestran que hubo un aumento de este Filum frente al suelo inicial después del establecimiento del cultivo y después de la adicción de ME como tratamiento, se desconoce cuál pudo ser el factor impulsor específico para esta población.

Se observó que en las muestras iniciales **G**, **SI** Y **GSI** no hay presencia de hongos del filum *Glomeromycota*, sin embargo se muestra población fúngica de este filum

en la muestra proveniente del sustrato (**P**) como en las recolectadas al final del ciclo productivo del cultivo, estando en una mayor proporción en la muestra **PGSF**, con esto es posible inferir que los hongos pertenecientes al filum *Glomeromycota* estuvieron en la muestra P y se multiplicaron posiblemente gracias a la presencia de la planta como también de otros hongos con los cuales al estar en consorcio pudo formar relaciones positivas promoviendo su desarrollo, cabe resaltar que estos forman asociaciones biotróficas obligatorias con una gran cantidad de plantas hasta en un 90% y por lo tanto tienen el potencial de influir significativamente en la biodiversidad y la aptitud de las plantas; algunos son eficaces para controlar hongos y otros patógenos microbianos. Los hongos *Glomeromycota* entran en simbiosis de micorrizas arbusculares con sus huéspedes vegetales, donde sirven como enlaces para el intercambio de nutrientes entre las partes de la planta que se encuentran por encima y por debajo del suelo, estos no causan a la planta ningún efecto adverso (Taylor, 2015).

**4.2.4.2 Clase.** De acuerdo con la figura 19, se destaca a los hongos de la clase *Sordariomycetes* como la más dominante en cada una de las muestras. Se observó el mayor porcentaje para la muestra G con 94,12%, seguida de SI con 92,43%, GSI con 90,15% y P con 74,83%. Lo que evidencia que hubo un gran número de hongos de la clase *Sordariomycetes* al inicio de la investigación cuando no se encontraba establecido el cultivo, un ejemplo de estos son los hongos del genero *Trichoderma* que se caracterizan por predominar en ecosistemas de bosques o suelos agrícolas, estos tienen bajo requerimiento nutrimental y se presentan en un rango de temperatura (25-30°C) para su crecimiento (Sandle, 2014); mientras que a final la población se reduce en un 75% en PSF y 95,5% en PGSF en presencia del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) con y sin tratamiento.

Es posible que se haya dado interacciones negativas al introducir los ME cosechados (gran presencia de la clase *Sordariomycetes* en el suelo ya intervenido y donde se establecería el cultivo) debido a la competencia por espacio o nutrientes (Beltran, 2017); como también las condiciones ambientales pudieron influir en la reducción de la población fúngica de esta clase, ya que hubieron fluctuaciones de temperatura caracterizándose generalmente por días fríos y de altas precipitaciones al inicio del establecimiento del cultivo de lechuga.



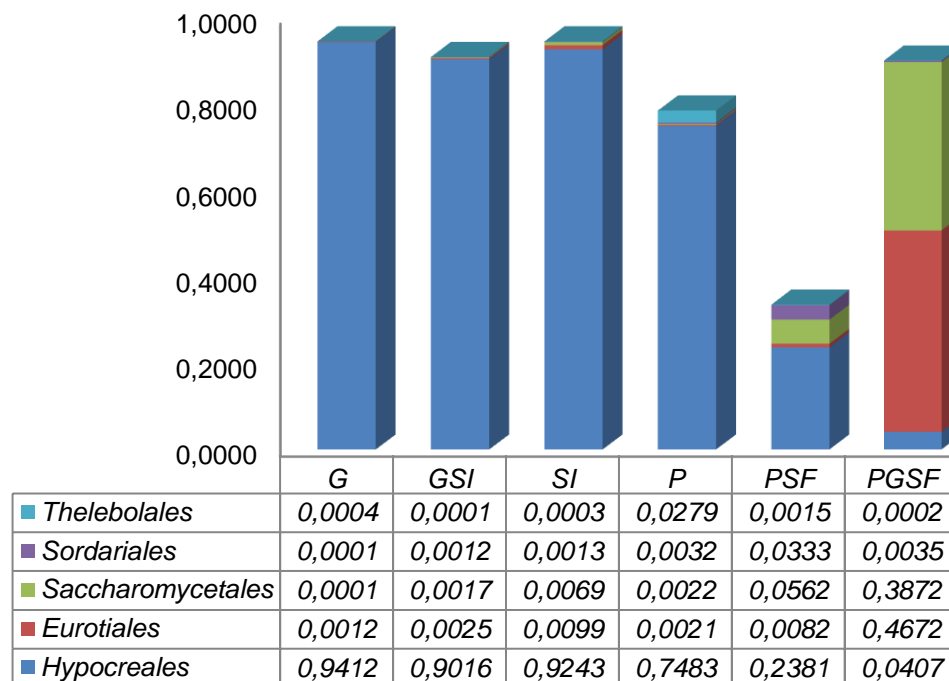
**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación con plántulas), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo).

**Figura 19.** Clases principales de hongos encontrados por cada muestra.

En cuanto a la clase de *Eurotiomycetes* y *Saccharomycetes* se observa un aumento de esta clase de hongos al final del ciclo, con valores de 46,82% y 38,71% respectivamente en **PGSF** (presencia de cultivo más ME gradual). Es posible que la planta haya dado las condiciones óptimas para el aumento de esta población en su rizosfera, es de resaltar que los hongos crean relaciones benéficas como la simbiosis con la planta que lo permiten (Sylvia *et al.*, 2004). Las clases *Agaricomycetes* y *Leotiomyces* al parecer no fueron impulsadas por el cultivo.

**4.2.4.3 Orden.** Se logró identificar un total de 541,991 secuencias pertenecientes a estos ordenes dentro de los cuales se destacaron los *Hypocreales* con

porcentajes superiores al 74% en las muestras iniciales (**G**, **SI**, **GSI**, **P**). En este caso el mayor porcentaje para este orden pertenece a la muestra **G** (guadual puro) representando el 94,12%. Se puede observar (grafico 20) que esta población disminuyo al final de la investigación cuando el cultivo se había establecido (PSF: 23,80% y PGSF: 4,07%), quizás este cambio se dio a los factores ya nombrados como pH bajo, interacciones negativas de los microorganismos que les llevo a competir por espacio y nutrientes, esto hace que dominen cierto microorganismo como es el caso del orden de los *Eurotiales* (46,72%) entre los que se encontraron los hongos del genero *Aspergillus* y *Thermoascus*; y *Saccharomycopsis* destacándose entre el ultimo nombrado la especie *Saccharomycopsis fibuligera* (38,7%) que para la muestra **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo) contaron con un mayor porcentaje, en este caso esta muestra tiene en común con **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo) la presencia de las plantas de lechuga, por lo cual podría decirse que estas condicionaron el aumento de los ME al final del ciclo de producción.



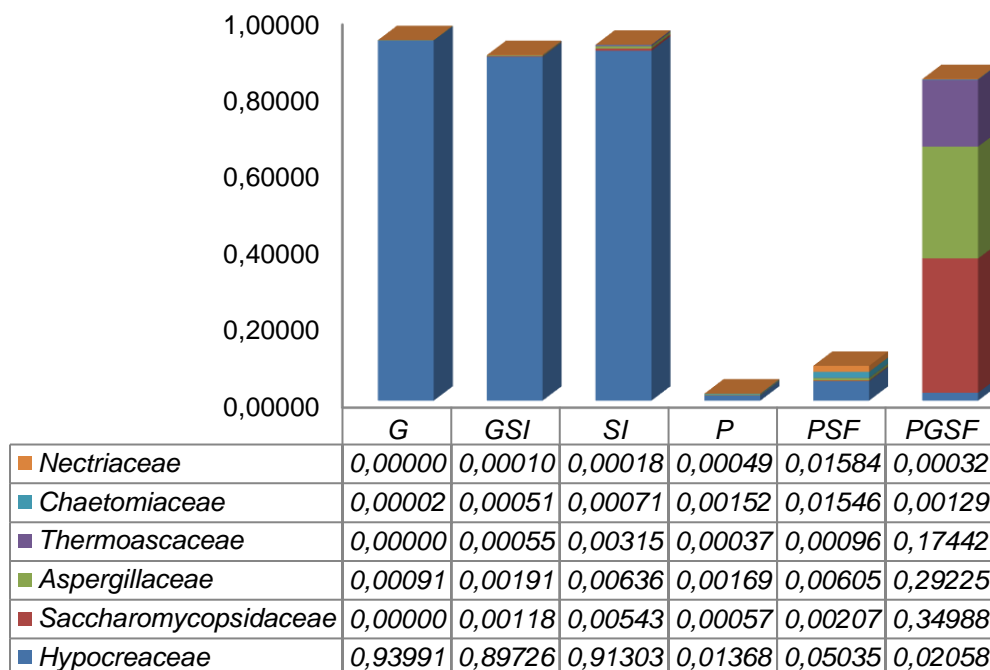
**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación con plántulas), **PSF** (sustrato más

suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo).

**Figura 20.** Ordenes más dominantes de hongos encontrados por cada muestra.

**4.2.4.4 Familia.** En la figura 21 se puede observar las familias que más dominancia tuvieron. Se muestra a *Hypocreaceae* como la más dominante para las muestras provenientes del guadual puro, del suelo Inicial solo y del guadual más suelo inicial con representaciones del 93.9, 91.3 y 89.7% con poca diferencia entre ellas. Se observa también que al establecerse el cultivo esta familia disminuye considerablemente en las muestras originadas de PSF, PGSF. Sin embargo en las muestras **PGSF** otras familias lograron un aumento significativo de su población al final del ciclo del cultivo, como *Saccharomycopsidaceae* (34,98) %, *Aspergillaceae* (29,22%) y *Thermoascaceae* (17,44%). Esto pudo deberse a que este consorcio fúngico logro las condiciones ambientales apropiadas (Temperatura, nutricionales, húmedas) durante el periodo de investigación o que la rizosfera dio las condiciones adecuadas para su desarrollo y reproducción. También que se haya presentado un proceso de inhibición hacia la familia Hypocreaceae llevándola una notoria (Andrews,1983).



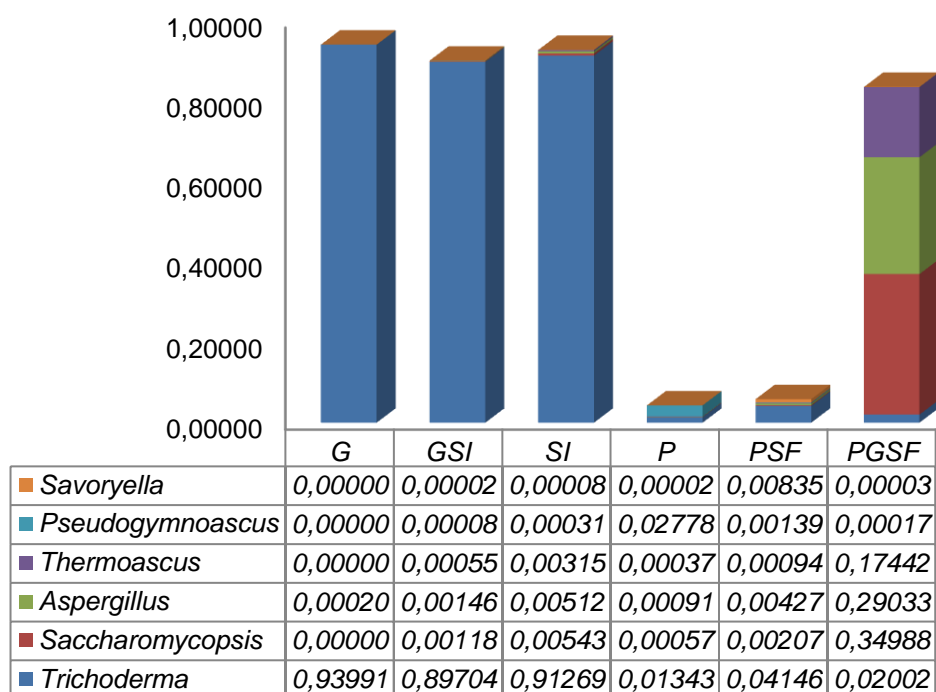


**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (sustrato de bandejas de germinación con plántulas), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento guadual más cultivo).

**Figura 21.** Familias principales de hongos encontrados por cada muestra.

**4.2.4.5 Género y especie.** En cuanto al género el grafico 22, se obtuvo similar comportamiento que para la taxa familia. *Trichoderma* como el más dominante para las muestras provenientes del guadual puro, del suelo Inicial solo y del guadual más suelo inicial con representaciones del 93.9, 91.2 y 89.7% y cuya especie dominante fue *Trichoderma Koningiopsis* seguida de *Trichoderma harzianum* con 13.6% de representación. Estas especies se caracterizan por predominar en ambientes como suelos agrícolas, pastizales y bosques (Zhang et al., 2005). Cabe resaltar que el suelo inicial usado para el dónde se sembró *Lactuca sativa*, se encontraba con presencia de gramíneas, lo que puede justificar la dominancia de este género en las parcelas de investigación.

Para las muestras provenientes de **PGSF** géneros como *Saccharomycopsis* (34,9%), *Aspergillus* (29,0%) y *Thermoascus* (17,4%) lograron un aumento significativo de su población al final del ciclo del cultivo. Estos géneros estuvieron representados por las especies *Saccharomycopsis figuligera* (34,98%), *Aspergillus flavus* (28,87%) y *Thermoascus aurantiacus* (17,44%).

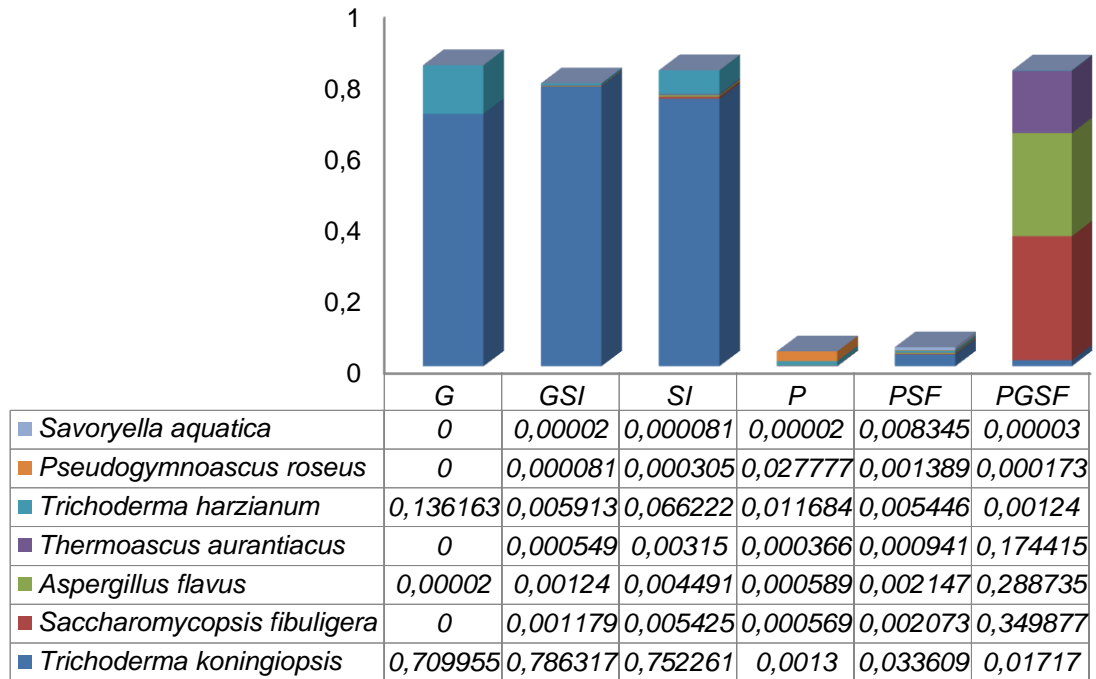


**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación con plántulas), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo).

**Figura 22.** Géneros principales de hongos encontrados por cada muestra.

Lo anterior permite inferir que la introducción de la planta de lechuga al sistema indujo cambios en el suelo, generados por la rizosfera, tales como: la cantidad y tipo de lixiviados de la raíz; y las prácticas agrícolas producen cambios en la aireación y la humedad del suelo, produciendo alteraciones en la densidad y

diversidad de las especies microbianas, ya que se origina una compleja red trófica que permite la sobrevivencia de unos y la inhibición de otros (Toro, 2004).



**Nota:** **G** (guadual puro), **SI** (suelo Inicial sin tratamiento/sin cultivo), **GSI** (guadual más suelo inicial), **P** (Sustrato de bandejas de germinación con plántulas), **PSF** (sustrato más suelo final/ sin tratamiento más cultivo), **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo).

**Figura 23.** Especies dominantes de hongos encontrados por cada muestra.

Las condiciones ambientales posiblemente pudieron influir en la presencia y ausencia de los hongos encontrados. Al inicio del ciclo productivo del cultivo las precipitaciones fueron regulares y el promedio de radiación solar fue de 5 horas, teniendo en cuenta lo anterior, estas condiciones posiblemente permitieron un desarrollo adecuado de los hongos del género *Trichoderma* ya que estos se desarrollan en rangos de temperatura mesofilicos, siendo la óptima entre 15°C y 30°C. (Nampootiri, 2004). Sin embargo al final del ciclo productivo las condiciones

ambientales fueron más extremas; de semanas con alta radiación solar por lo cual para esta etapa final del cultivo se encontró 2 tipos de hongos que se caracterizan por ser de tipo termófilos los cuales son *Saccharomycopsis figuligera* y *Thermoascus aurantiacus* (Forsberg,1993); como también se observa la presencia de *Aspergillus flavus* que a pesar de ser mesofilo tiene una gran capacidad de adaptarse a un amplio espectro de condiciones ambientales y poseen conidios resistentes a la variación de la temperatura, los que proporcionan un buen mecanismo para su dispersión posibilitando a la vez convivir con los 2 antes nombrados (Samson, 2007).

Las condiciones presentes en el suelo posiblemente influyeron en la presencia de estos hongos, En la tabla 3 se muestra un mayor porcentaje de materia orgánica al final del ciclo productivo de cultivo con presencia de la planta de lechuga y la adición de los tratamientos T1 (guadual) y T2 (bosque), esto quizás potencio el crecimiento de los hongos *Saccharomycopsis figuligera* y *Thermoascus aurantiacus* y *Aspergillus flavus* ya que se caracterizan por su capacidad de degradar MO, estos emplean enzimas hidrolíticas para cumplir su función (Fuentes, 2009). Los hongos del genero *Aspergillus* se caracteriza por hacer parte de los microorganismos solubilizadores de fosfatos (MSF); con la degradación de la MO, quizás el hongo contribuyo a incrementar la disponibilidad de P para las plantas principalmente mediante mecanismos como la disminución del pH por la producción de ácidos, formación de quelatos y la liberación de enzimas extracelulares (Illmer,1995). Teniendo en cuentas lo anterior, se observó una disminución de pH y aumento de fosforo en el suelo final con lechuga más tratamiento guadual y bosque (tabla 3) siendo estas las condiciones en las cuales se logra una proliferación optima del hongo (Illmer, 1995) por lo que posiblemente se potencio su presencia.

En la tabla 4 se observa que muestras compartían la presencia de hongos similares teniendo en cuenta el nivel taxonómico.

**Tabla 4.** Hongos encontrados según el nivel taxonómico

Nivel taxonómico	Hongos identificados	Muestras					
		Iniciales			Finales		
		G	GSI	SI	P	PSF	PGSF
Filum	<i>Mortierellomycota</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Glomeromycota</i>				X	X	X
	<i>Mucoromycota</i>	X	X	X		X	X
	<i>Basidiomycota</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Ascomycota</i>	X	X	X	X	X	X
Clase	<i>Leotiomycetes</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Agaricomycetes</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Saccharomycetes</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Eurotiomycetes</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Sordariomycetes</i>	X	X	X	X	X	X
Orden	<i>Thelebolales</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Sordariales</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Saccharomycetales</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Eurotiales</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Hypocreales</i>	X	X	X	X	X	X
Familia	<i>Nectriaceae</i>		X	X	X	X	X
	<i>Chaetomiaceae</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Thermoascaceae</i>		X	X	X	X	X
	<i>Aspergillaceae</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Saccharomycopsidaceae</i>		X	X	X	X	X
	<i>Hypocreaceae</i>	X	X	X	X	X	X
Genero	<i>Savoryella</i>		X	X	X	X	X
	<i>Pseudogymnoascus</i>		X	X	X	X	X
	<i>Thermoascus</i>		X	X	X	X	X
	<i>Aspergillus</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Saccharomycopsis</i>		X	X	X	X	X
	<i>Trichoderma</i>	X	X	X	X	X	X
Especie	<i>Savoryella aquatica</i>		X	X	X	X	X
	<i>Pseudogymnoascus roseus</i>		X	X	X	X	X
	<i>Trichoderma harzianum</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Thermoascus aurantiacus</i>		X	X	X	X	X
	<i>Aspergillus flavus</i>	X	X	X	X	X	X
	<i>Saccharomycopsis fibuligera</i>		X	X	X	X	X
	<i>Trichoderma Koningiopsis</i>	X	X	X	X	X	X

 Hongos no encontrados en la muestra    X: hongos similares dentro de la muestra

Se puede observar como la mayoría de las muestras comparten similitud de la población fúngica encontrada, sin embargo la tabla 4 indica como a nivel del filum *Glomeromycota* difieren las muestras iniciales, puesto que no está presente; mientras tanto en las muestra finales como en la de sustrato aparece este filum, lo que llevo a intuir que posiblemente estos provinieron del sustrato de las bandejas de germinación de las plantas de lechuga, que al incorporarse al suelo quizás encontrar las condiciones ambientales adecuadas como temperatura, nutrición y humedad (Estrada, 2019) que impulso su crecimiento.

La tabla 4 indica como el filum *Mucoromycota* aparece en todas las muestras con excepción de aquella perteneciente al sustrato de las bandejas de germinación de las plántulas de lechuga (**P**). Cabe resaltar que este filum se caracteriza por asocio a las plantas en relaciones endofíticas, micorrizas y son grandes descomponedores de materia organica (Spatafora, 2017); lo cual les hace más presentes en suelos de las muestras que le contienen, siendo estas provenientes de suelos con alto contenido de materia orgánica (MO) con una mayor disponibilidad de nutrientes; lo contrario de la muestra de sustrato **P** la cual es turba negra proveniente de la descomposición de material vegetal que se caracteriza por ser más mineralizado con menor contenido en materia orgánica la cual es muy descompuesta y procede de capas más profundas del suelo (Delgado, 2016), lo que la hace muy pobre en el contenido de nutrientes (castillo, 2022) condiciones por la que posiblemente no se encuentran presentes los hongos del filum *Mucoromycota*.

En la muestra G (guadual puro) se puede observar que no existe la presencia de hongos a nivel taxonómico de especie como lo son *Savoryella aquatica*, *Pseudogymnoascus roseus*, esto posiblemente se debió a hongos del genero *Trichoderma* ya que estudios comprobaron que estos en presencia de *Pseudogymnoascus roseu* produjeron cantidades significativas de dióxido de carbono, etanol y antibióticos solubles en agua como así como antifúngicos, metabolitos fijos o volátiles que son considerados responsables de la antibiosis e inhibición del crecimiento y la esporulación de los hongos (Kwasna, 2000).

En la tabla 4 se puede observar que no existe la presencia de hongos del genero *Thermoascus aurantiacus* y *Saccharomycopsis fibuligera* en la muestra de guadual puro (G), talves se deba al hecho de que estos hongos son de tipo

termófilo (Forsberg,1993), por ejemplo las temperaturas óptimas y máximas para la germinación de ascosporas en *T. aurantiacus* es de aproximadamente 47,5°C y 60°C, respectivamente y la temperatura mínima para la germinación de ascosporas fue de 32,5°C -35°C (Deploey, 1995), por lo que el ecosistema gradual quizás no es el apropiado para su reproducción, puesto que este se caracteriza por temperaturas entre 17°C y 26°C (Vélez, 2018).

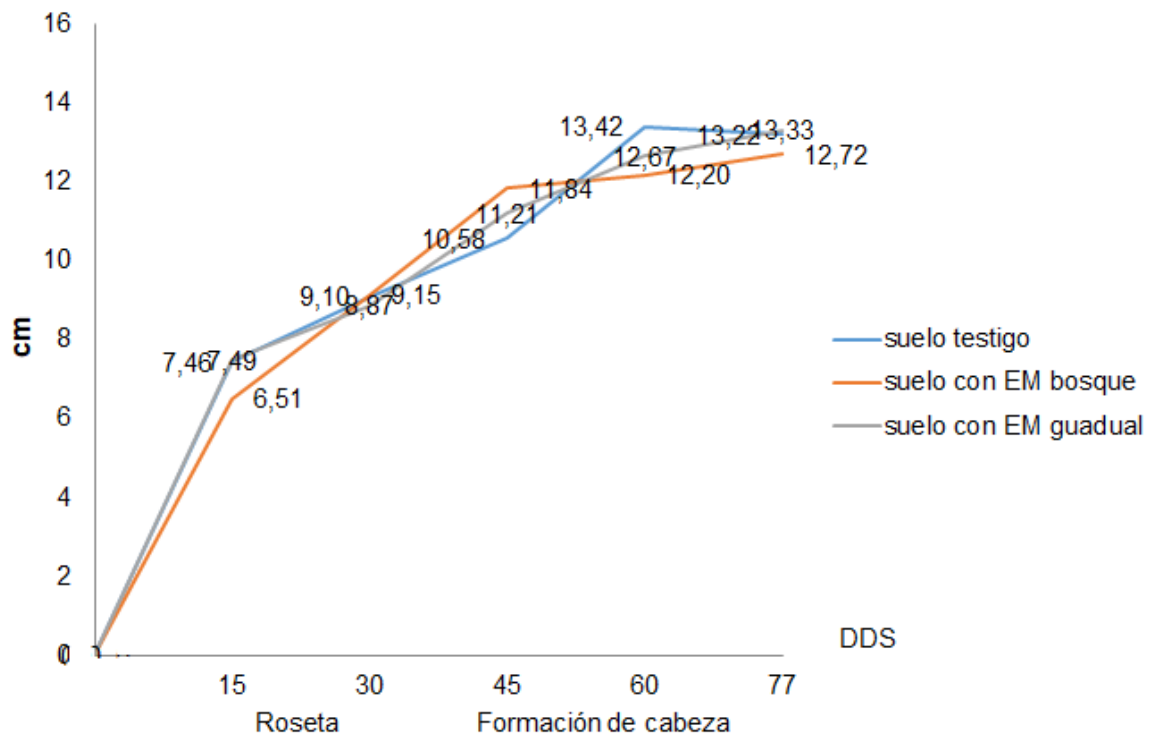
### **4.3 EFECTO DE LA INOCULACIÓN CON MICROORGANISMOS EN EL CRECIMIENTO Y DESARROLLO DEL CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*).**

En investigación se evaluaron 6 variables a nivel agronómico para el cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), las cuales fueron altura de la planta, longitud de la hoja, longitud de raíces, contenido de clorofila, incidencia de plagas y enfermedades; y peso de biomasa.

A continuación, se describe el análisis de tendencia y estadístico de cada una de las anteriores nombradas.

**4.3.1 Altura de planta.** Se tuvieron en cuenta 2 etapas importantes para el crecimiento y desarrollo de la planta: etapa de roseta y de acogollamiento.

**4.3.1.1 Etapa de roseta.** En la etapa roseta la figura 24 muestra la tendencia de la altura promedio de las plantas de lechuga en la etapa de roseta donde los tratamientos T1 (EM gradual) y T2 (EM bosque) alcanzaron los mejores rendimientos frente al tratamiento control sin aplicación (T3). Se observa un incremento de altura ascendente hasta el día 60 después de la siembra.

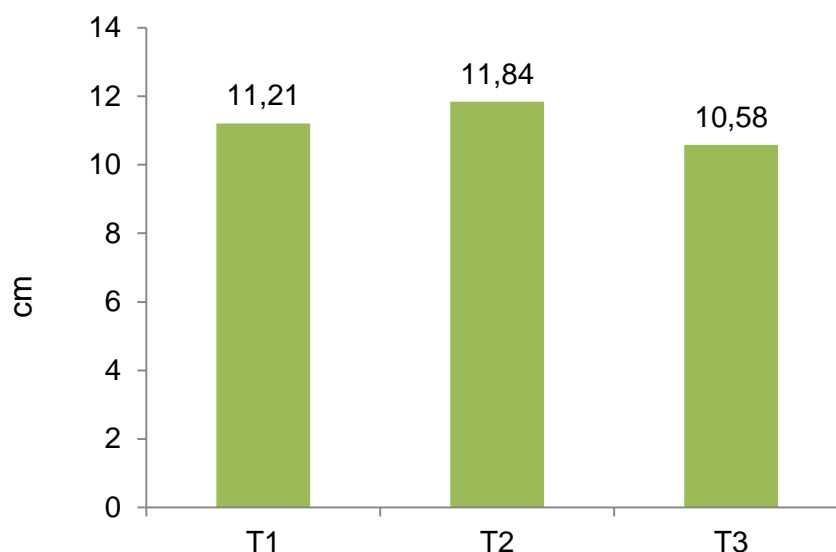


DDS: días después de la siembra

**Figura 24.** Altura promedio de lechuga en etapa de roseta

En el figura 25 se los promedios de altura de planta en etapa roseta a los 45 días después de la siembra. Y el análisis de varianza realizado para esta variable no evidenció diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los tratamientos. En contraste para el efecto evaluado por los bloques no se detectó diferencias significativas, como se observa en el anexo 1.





**Figura 25.** Promedios de altura de planta en etapa roseta a los 45 días después de la siembra

Sin embargo, la prueba promedios de Duncan (Tabla 5) identificó que los mayores promedios de altura fueron T2 (EM bosque) y T1 (EM gradual), aunque T1 comparte significancia con T3 (suelo testigo sin aplicación), el tratamiento sin aplicación con los menores promedios.

**Tabla 5.** Prueba Duncan ( $p > 0,05$ ) para variable altura etapa Roseta

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u><math>\alpha</math></u>
T2	11,84	a
T1	11,21	ab
<u>T3</u>	<u>10,58</u>	<u>b</u>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Estos resultados pudieron deberse a la interacción de los diferentes microorganismos inoculados en el suelo, investigaciones como la realizada por Orozco, 2016 demostró que la aplicación de biofertilizantes compuesto por

consorcios de ME, influyeron positivamente sobre el incremento de la materia orgánica (MO) del suelo, la capacidad del suelo de almacenar agua (HA), la disponibilidad, retención y aprovechamiento de los nutrientes del suelo (CIC) debido posiblemente al incremento de la biomasa y actividad microbiana.

Así la inoculación de microorganismos benéficos que trabajan de forma conjunta mejora las condiciones físico- químicas del suelo como consistencia, porosidad, drenaje, pH, capacidad de intercambio catiónico y fertilidad (nutrientes menores y mayores), incrementando el crecimiento de las plantas como también el rendimiento y calidad de los cultivos (Singh, 2011).

Investigaciones realizadas en lechuga donde se han adicionado microorganismos en diferentes variedades, han demostrado la eficiencia de estos en cuanto a la altura alcanzada por la planta, como ejemplo se puede citar a Álvarez, 2011 donde evaluaron diferentes dosis y frecuencias aplicadas en lechuga de variedad *Great Lakes* logrando los mejores resultados con la aplicación de 20 ml de EM /10 l, cada 14 días, alcanzando 24,78 cm de altura en promedio frente al tratamiento testigo que reportó menor altura de planta, con promedio de 22,22 cm, 11,5 % de diferencia.

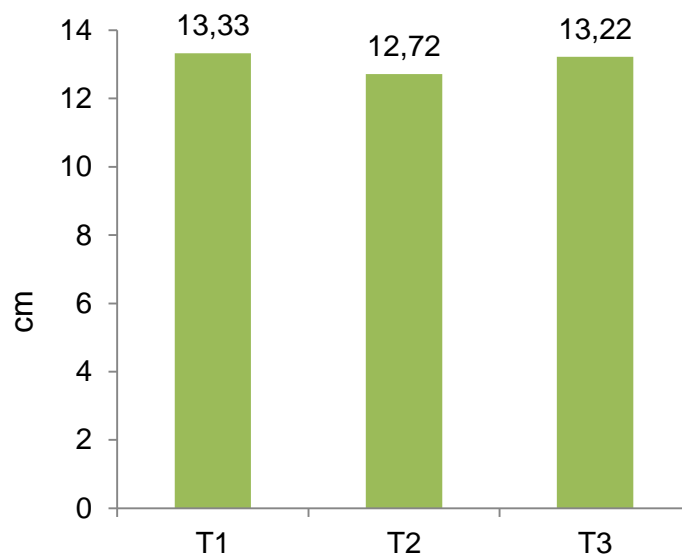
Al comparar la altura alcanzada en este estudio (ver figura 25) frente a otros resultados, se observa que la altura lograda por la variedad *Vera* en esta etapa fue buena, ya que al compararla con resultados de la variedad *Iceberg* evaluada por Pomboza *et al.*, 2006, donde se aplicó BIOL enriquecido con microorganismos eficientes ME también en lechuga, logró alturas entre 10,09 y 15,87cm a los 35 y 70 días respectivamente.

Igualmente Vela, (2018) encontró a los 30 días de la siembra que los tratamientos aplicados con EM combinados con gallinaza y vacaza lograron promedios entre 11,5 y 11,0 cm de altura en la planta.

Las investigaciones mencionadas permiten corroborar que los tratamientos con EM son efectivos con respecto a la variable altura de planta.

**4.3.1.2 Etapa de acogollada.** En esta etapa se transforma la estructura de la planta de forma arrosetada con hojas predominantemente horizontales, de hojas más erectas y con nervaduras recurvadas (Galván *et al.*, 2008).

El grafico 26 muestra las diferencias entre los promedios logrados por los tratamientos en la etapa de acogollado de la planta, donde se puede evidenciar que T1 (EM gradual) y T3 (suelo testigo sin aplicación) obtuvieron una mayor altura en comparación al tratamiento EM bosque (T2). Las diferencias porcentuales son de 4,3% y 3,7% en relación con T2 (EM bosque), mientras que entre T1 y T3 es solo del 0,8%.



**Figura 26.** Altura en etapa de acogollamiento

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza no evidenciaron diferencias significativas entre los tratamientos sobre la variable altura ( $0,000 < 0,05$ ) para las plantas de lechuga, indicando que no hubo efecto de la aplicación de los EM en la última de etapa productiva acogollada (anexo 2). De igual manera la prueba de

Duncan no evidencia diferencias significativas entre los tratamientos y el testigo (Tabla 6).

**Tabla 6.** Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) para altura etapa acogollado

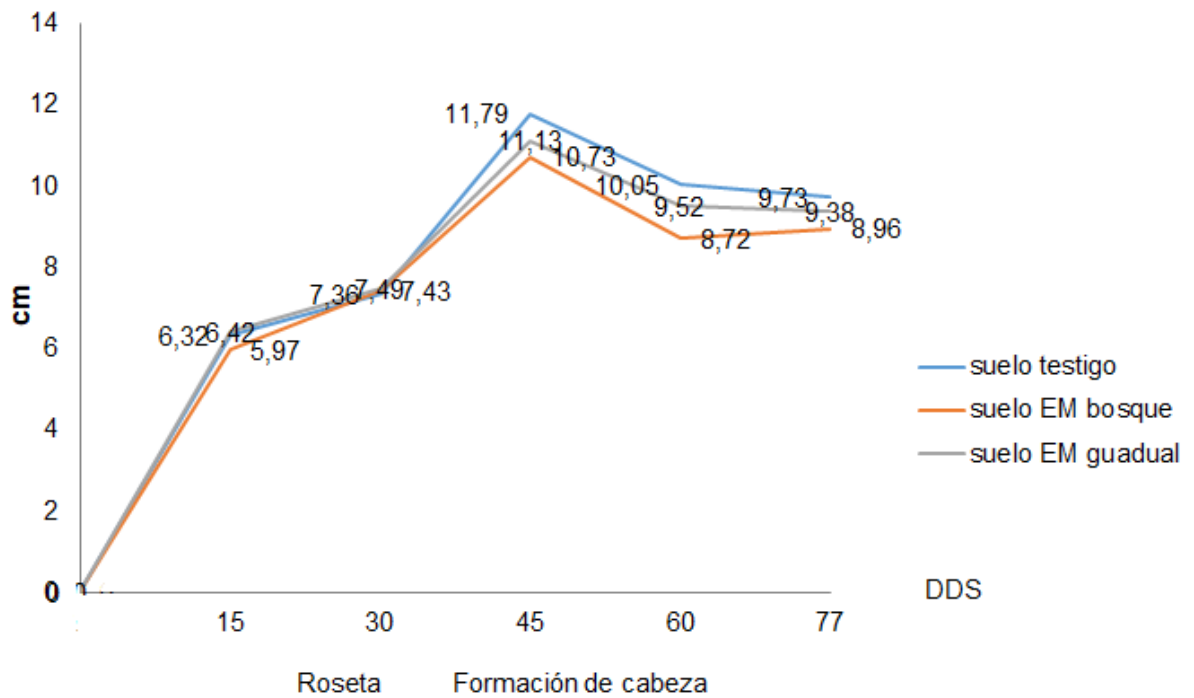
Tratamientos	Medias	$\alpha$
T1	13,34	a
T2	12,73	a
T3	13,22	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Los promedios de altura alcanzados durante esta etapa (final del ciclo productivo), con valores entre 13cm y 15cm, son equivalentes a los reportados por Baritieri *et al.*, (2015), quienes aplicando fertilización orgánica obtuvieron valores promedio de altura de 15,03 cm donde se ubicó este ensayo; Es de destacar que la variedad Vera se caracteriza por su alta uniformidad en la etapa acogollado (ficha técnica de Sakata Seed Sudamérica, Semprecol 2022).

#### 4.4 LONGITUD DE HOJAS

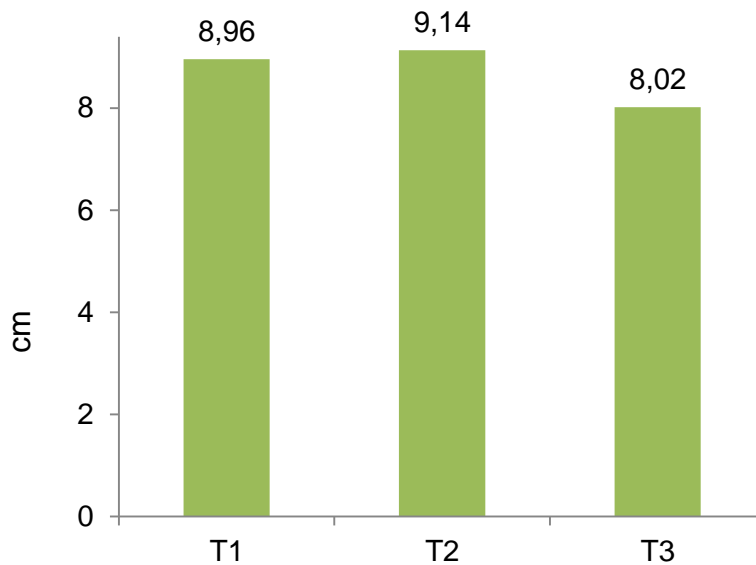
La figura 27 muestra la tendencia de la longitud promedio de las plantas de lechuga en donde T1 (ME gradual) que corresponde a uno de los tratamientos con aplicación y T3 (suelo testigo sin aplicación) alcanzaron los mejores rendimientos frente al tratamiento T2 (ME bosque). Se observa un incremento de longitud hasta el día 45 después de la siembra, siendo estos los días donde inicia la formación de cabeza, hay una descendencia de esta hasta el día 60 en cuanto a las hojas nuevas presentes y a partir de ahí se observa una constancia en la longitud de las hojas posiblemente porque entra en la etapa final la planta de lechuga.



DDS: días después de la siembra

**Figura 27.** Longitud promedio de hojas en lechuga

La figura 28 indica la diferencia presente entre los tratamientos en cuanto a la variable longitud de hoja (cm) en la etapa de roseta, donde se puede evidenciar como T1 y T2 (microorganismos eficientes de gradual y del bosque) tienen una mayor longitud con diferencia de 10% y 12% respectivamente respecto al tratamiento T3 sin aplicación de EM. También podemos observar que la diferencia entre T1 y T2 es solamente 1,9%.



**Figura 28.** Longitud (cm) de hojas en etapa de roseta a los 38 días después de la siembra

Los resultados del análisis de varianza no muestran diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) para esta variable, se puede observar que T1 (EM gradual) y T2 (EM bosque) tuvieron un mejor promedio en comparación al testigo sin aplicación (T3). La prueba de Duncan muestra claramente un subconjunto formado por T1 y T2 resaltando a estos como superiores en comparación al T3 (Anexo 3).

**Tabla 7.** Prueba Duncan ( $p > 0,05$ ) para promedios de altura en etapa de Roseta a los 38 días después de la siembra

Tratamientos	Medias	$\alpha$
T2	9,14	a
T1	8,96	ab
T3	8,02	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

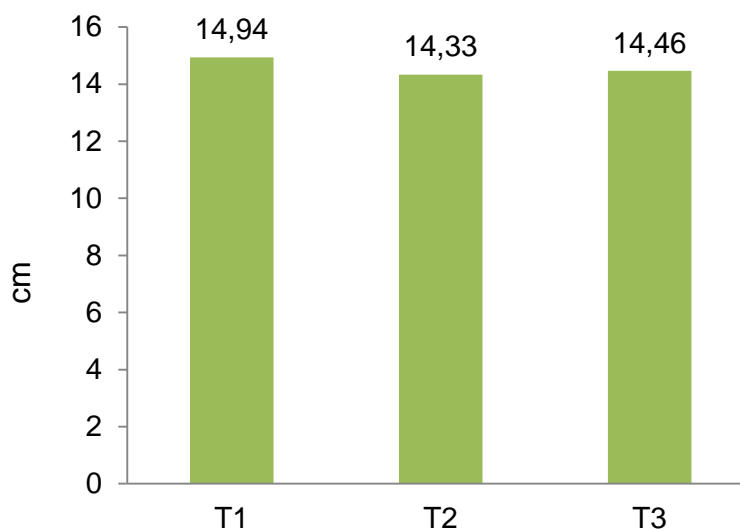
Estudios confirman que los microorganismos del suelo juegan un papel importante en las transformaciones fisicoquímicas de los mismos e influyen en la disponibilidad los diferentes nutrientes ya que son responsables de la descomposición de residuos orgánicos y de la degradación de compuestos orgánicos contaminantes presentes en el suelo (Ros, 2010), por lo cual la adición de microorganismos promueve el aumento de los rendimientos de los cultivos (Meena *et al.*, 2016). Un consorcio de microorganismos tiene la capacidad de generar reguladores de crecimiento que aprovechan las plantas como lo son las auxinas y giberelinas, donde el principal efecto de estas fitohormonas se manifiesta en el mayor desarrollo de raíces y parte aérea de los vegetales (Benedetto *et al.*, 2017), es decir longitud de hojas, numero de las mismas entre otras.

En este caso se pudo observar las mayores longitudes de hoja en las plantas con influencia de los tratamientos EM gradual y bosque (T1 y T2) demostrando ser superiores frente a T3 sin aplicación alguna. Teniendo en cuenta lo anterior podemos llegar a concluir que la longitud de las hojas probablemente fue favorecida con e incremento de los y estabilidad de los nutrientes mayores como el nitrógeno, fosforo y potasio (tabla 3) en el suelo y con la mayor asimilación de estos gracias a los microorganismos.

Al contrastar estos resultados frente a otros, son corroborados; por ejemplo, Vela, (2018) comprobó que los tratamientos de gallinaza y bovinaza enriquecidos con ME obtuvieron mayores valores de altura entre 8,8cm y 11,5cm, frente a los tratamientos sin inoculación de EM e incluso el testigo sin aplicación a los 30 días. Una situación similar se presenta a los 60 días después de la siembra, donde valores entre 21 a 25,25 cm de longitud de hoja se muestra diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos con ME a excepción del testigo; lo cual puede atribuirse al efecto de la aplicación de los inoculantes EM.

#### 4.5 LONGITUD DE RAÍCES

El figura 29 de tendencia muestra cómo evolucionó la longitud de raíces al final de la etapa de acogollaje, momento en el cual se realizó la cosecha de las plantas de lechuga, donde se observa menor heterogeneidad en cuanto a los resultados, diferenciándose poco en términos de porcentaje. T1 (EM gradual) y T2 (EM bosque) con 4%, T1 y T3 (testigo sin aplicación) con 3,2%, mientras que T2 y T3 solo con un 0,8%; se observa que la mayor longitud se obtuvo con el tratamiento T1.



**Figura 29.** Longitud de raíces en etapa final de acogollaje

Pese a lo anterior, el análisis estadístico ANOVA realizado, no muestra diferencias significativas entre los tratamientos para las variables longitud de raíces como se observa en el anexo 4.

La prueba de Duncan muestra homogeneidad entre los tratamientos y el testigo por lo cual no encuentra diferencias significativas entre estos (Tabla 8).



**Tabla 8.** Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) para promedios de longitud de raíces en etapa final de acogollaje

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u><math>\alpha</math></u>
T1	14,94	a
T3	14,46	a
<u>T2</u>	<u>14,33</u>	<u>a</u>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Los promedios de longitud de raíces obtenidos en esta investigación son muy buenos y se comparan con otras realizadas, un ejemplo de esto es el estudio de Álvarez, (2011) en lechuga variedad Great Lakes donde encontraron que la longitud del sistema radicular fue mayor en tratamientos con la aplicación de ME. Los investigadores obtuvieron promedios de 14,33 cm y 14,11 cm, respectivamente. Por su parte observaron la menor longitud del sistema radicular en el tratamiento testigo con promedio de 10,56 cm.

Es de resaltar que en la presente investigación el testigo T3 sin aplicación se muestra uniforme a los tratamientos aplicados por lo cual no se puede descartar el hecho de que la diversidad microbológica que haya estimulado el crecimiento radicular e inducido a la expresión de la planta huésped, sobre todo la presencia de los hongos micorrízicos, que al extender el crecimiento externo del micelio actúa como una extensión de la superficie de absorción de la raíz (Mosse 1973 *et al.*; Aguirre 2011).

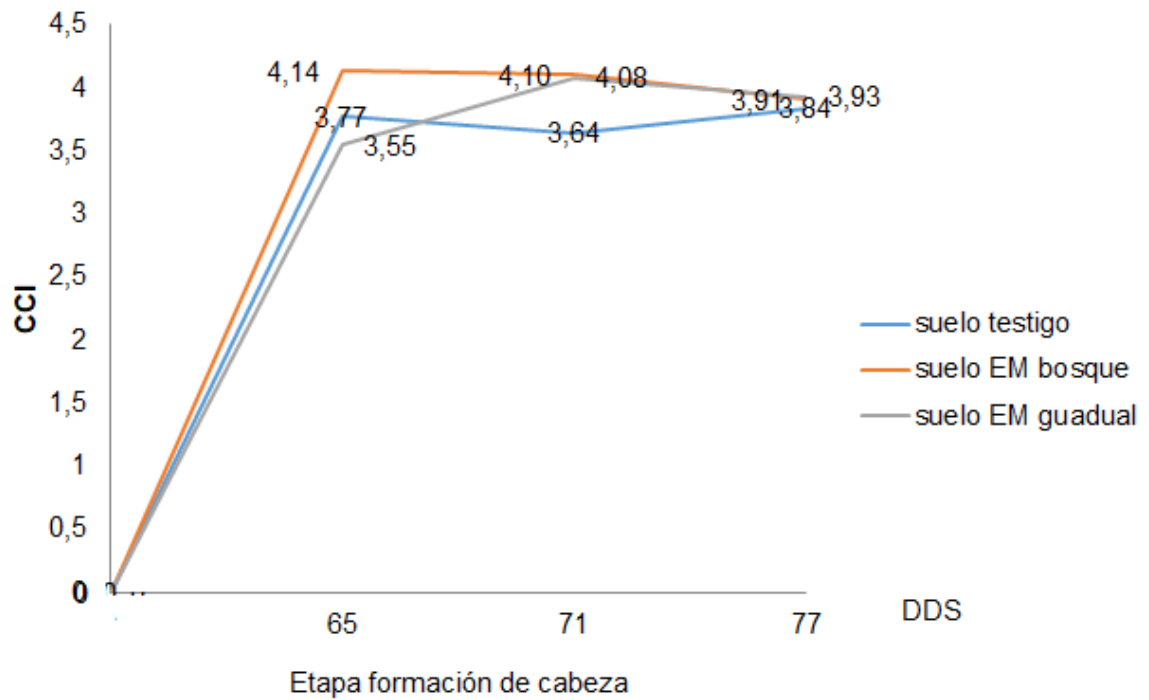
Es de resaltar que en el experimento se tuvo problemas de nematodos los cuales son fitoparásitos patógenos, estos se presentaron en todos los tratamientos hasta el final del ciclo de producción encontrándose con mayor porcentaje de afectación en las plantas sin aplicación de tratamiento T3 (31,25%). Los nematodos parasitan el sistema radical y pueden afectar algunos tejidos aéreos. La mayoría de daños parece ser causados por la secreción de saliva introducida en los tejidos de las plantas durante el proceso de alimentación, causa una reacción en la células de las plantas afectadas, resultando en la muerte o debilitamiento de los extremos de

las raíces y yemas, formación de lesiones y rompimiento de tejidos y otros síntomas son causados por alargamiento anormal de la célula (hipertrofia), por supresión de la división celular, o por la estimulación de proceso de división celular de una manera controlada y que resulta en la formación de agallas (hiperplasia) o un gran número de raíces laterales en los sitios de infección (De Waele & Davide, 1998; Agrios, 2005; Piedrahita *et al.*, 2012).

En el tratamiento sin aplicación T3 se pudo observar el crecimiento de un gran número de raíces laterales las cuales estaban afectadas en una mayor proporción por tumoraciones causadas por nematodos, esto pudo llevar a que las plantas del T3 se hayan desarrollado a nivel radicular por lo cual se mostró uniforme a los tratamientos aplicados EM gradual y EM bosque (T1 y T2). Sobre la cuantificación del control se profundizara en la variable incidencia de plagas y enfermedades # 4.7.3.

#### **4.6 CONTENIDO DE CLOROFILA**

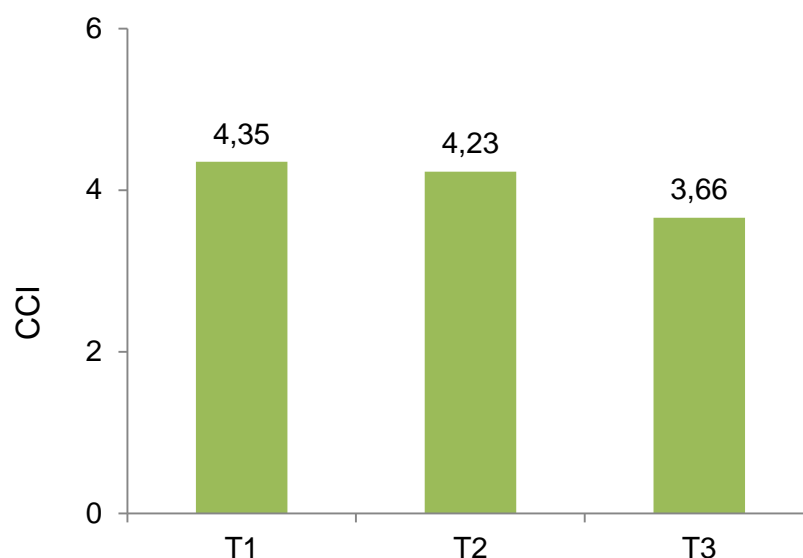
En la figura 30 se puede observar como el índice de contenido de clorofila que oscilo entre 3,55 y 4,14. Fue ascendente hasta el día 65 después del trasplante, alcanzando el tratamiento con ME del gradual el mayor valor de clorofila, luego esta variable muestra un leve descenso hasta el día 77 después de la siembra.



DDS: días después de la siembra

**Figura 30.** Contenido de clorofila (CCI) en etapa de formación de cabeza.

La figura 31 muestra el promedio del contenido de clorofila por cada tratamiento, observándose mayores valores en los tratamientos que tuvieron aplicación de microorganismos eficientes.



**Figura 31.** Contenido promedio de clorofila en hojas (CCI)

Los resultados del ANOVA evidencian diferencias significativas entre el testigo sin aplicación (T3) y los tratamientos con ME gradual y bosque adicionados al suelo (T1 y T2), anexo 5. Así mismo, la prueba de Duncan destacó a los promedios de los tratamientos T1 y T2 como superiores a T3.

**Tabla 9.** Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) para variable contenido de clorofila

Tratamientos	Medias	$\alpha$
T1	4,35	a
T2	4,23	a
T3	3,66	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

En la figura 31 se observa como los tratamientos T1 (EM gradual) y T2 (EM bosque) mostraron un mayor promedio con diferencias en porcentajes del 15% y 13% frente al tratamiento testigo sin aplicación T3, indicando que cuentan con un mayor contenido de clorofila.

Este resultado pudo deberse a la mayor disponibilidad de nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, reflejados en el análisis de suelo, producto de la mineralización de la materia orgánica. Los tratamientos T1 y T2 reflejaron mayor diversidad fúngica lo que posiblemente se reflejó también en procesos de fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y otros nutrientes, así como la movilización de estos (Pérez *et al.*, 2017).

Otros investigadores como Llor & Zambrano 2018 evaluaron hongos micorrízicos arbusculares en lechuga, encontrando que el contenido de N fue mayor en las plantas con tratamiento de microorganismos que en las plantas control, lo cual sugiere un efecto del aislado fúngico en el aumento del suministro de N en los tejidos de lechuga.

El nitrógeno es uno de los elementos estructurales mayores más importantes en cuanto al crecimiento y desarrollo de las plantas (Coyne, 2000). El contenido de clorofila en la hoja está enlazado a la cantidad de nitrógeno aportado en la nutrición de la planta, siendo de gran importancia en síntesis de esta y está involucrado en el proceso de la fotosíntesis (Salisbury y Ross, 1992).

No se debe olvidar que las bacterias presentes y que no fueron identificadas en este trabajo también contribuyen en estos procesos. Capilla, (2021) por ejemplo, encontró que la inoculación de la lechuga con un consorcio bacteriano presentó mayor peso seco de la raíz, la parte aérea y alta concentración de clorofila total en comparación al control.

Las bacterias promotoras de crecimiento vegetal presentes en la rizosfera pudieron impulsar de manera positiva el contenido de clorofila haciendo sinergia con hongos, ya que se caracterizan por promover el crecimiento vegetal mediante la producción de fitohormonas, antioxidantes y proveen nutrientes para el desarrollo de los hongos (Kumar, 2018).

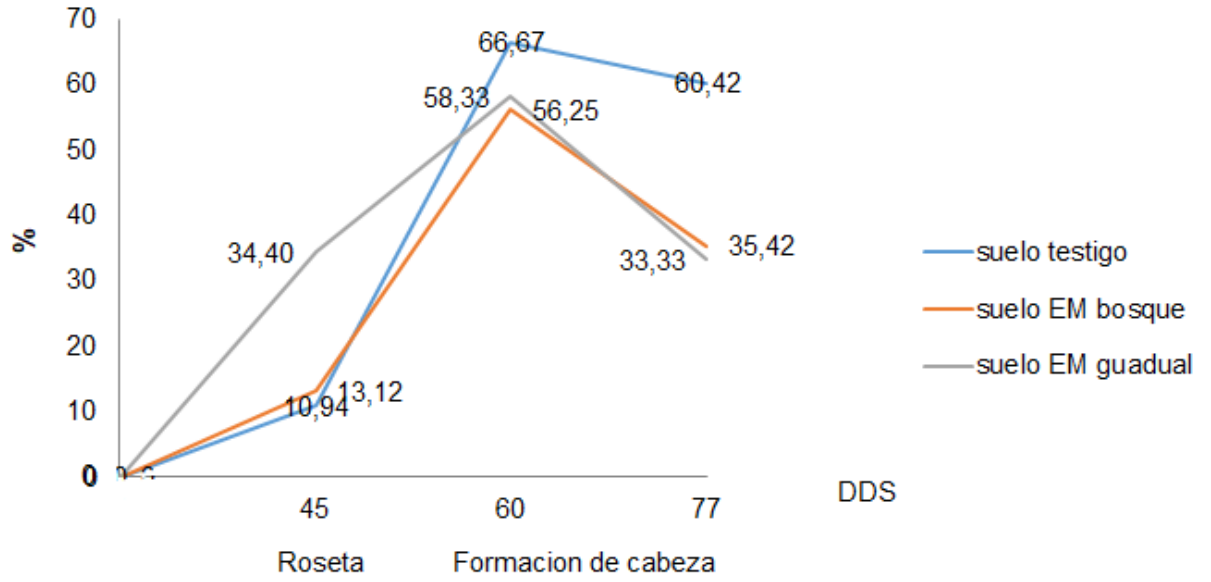
#### **4.7 Incidencia de plagas y enfermedades**

Hace referencia al porcentaje de Unidades de muestreo como lo son las plantas u órganos afectados por la enfermedad (ICA, 2015).

**4.7.1 Porcentaje de plantas afectadas por hongos patógenos.** Se determinó el porcentaje de incidencia observando la sintomatología de la enfermedad y se aplicó la fórmula propuesta por Reis (1994):

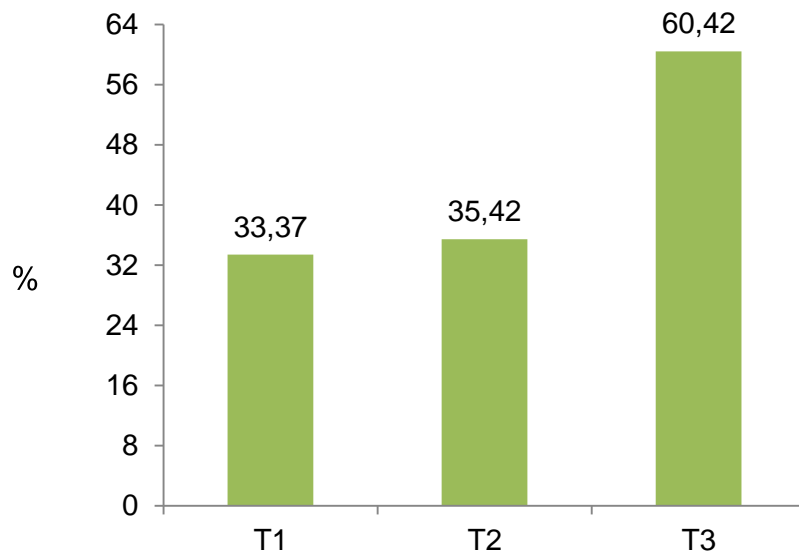
$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{numero de plantas afectadas}}{\text{numero total de plantas evaluadas}} \times 100$$

La figura 32 muestra el porcentaje de plantas de lechuga afectadas por hongos patógenos, se puede observar una incidencia ascendente hasta los 60 días después del trasplante, es decir al inicio de la etapa de formación de cabeza. A partir de este punto la incidencia disminuye en todos los tratamientos. Es de resaltar a los tratamientos bosque y gradual registraron los porcentajes de afectación más bajos frente al tratamiento control. Hacia el día 77 después de siembre los tratamientos EM gradual (T1) y EM bosque (T2) registraron un descenso en la incidencia equivalente a 22,92 y 22,91 % respectivamente, mientras que para el tratamiento control sin aplicación solo redujo el ataque de la plaga 6,25%.



DDS: días después de la siembra

**Figura 32.** Porcentaje de plantas afectadas por hongos patógenos



**Figura 33.** Porcentaje promedio de plantas afectadas por hongos patógenos

La figura 33 muestra el porcentaje de los tratamientos T1 y T2 (EM gradual y bosque) como aquellos de menor incidencia de patógenos, frente al tratamiento control sin aplicación (T3). De acuerdo con las características del ataque, crecimiento algodonoso, el cual inicio en la base del tallo y se diseminó por las hojas, se asoció como hongo causante a *Sclerotinia Sp.*

El ANOVA realizado sobre los datos de porcentaje de incidencia de patógenos al cultivo de lechuga, permitió observar diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos (Anexo 6).

La prueba de Duncan (tabla 10) detecto que los tratamientos T1 (EM gradual) y T2 (EM bosque) fueron menos afectados por el patógeno. Se puede observar en la figura 22 los menores porcentajes de afección en los tratamientos T1 y T2 con 33,3 y 35,4 % respectivamente. Lo anterior sugiere que posiblemente se expresó el efecto supresor causado por alguna de las especies presentes en estos tratamientos.

**Tabla 10.** Prueba de Duncan ( $p > 0,005$ ) en la variable plagas y enfermedades (% plantas afectadas por hongos patógenos).

<u>Tratamientos</u>	<u>Medias</u>	<u><math>\alpha</math></u>
T1	33,37 3	a
T2	35,42 3	a
<u>T3</u>	<u>60,42 3</u>	<u>b</u>

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

Vacheron *et al.*, (2013) mencionan que, en las plantas inoculadas con EM, la incidencia de patógenos también fue baja, dado que estos pudieron influir de manera positiva sobre limitaciones nutricionales ayudando en la adquisición de nutrientes. Marschner (1995), comprobó que las plantas que recibieron una buena nutrición mineral fueron más tolerantes a las enfermedades; es decir, tuvieron mayor capacidad para protegerse de infecciones.



Marschner (1995), menciona que la resistencia a patógenos puede ser inducida por cambios en la anatomía (lignificación y/o silificación) y en las propiedades fisiológicas y bioquímicas (alta producción de inhibidores o sustancias repelentes y la síntesis de toxinas conocidas como fitoalexinas, expresándose en la disminución de la severidad. Huber (1989), afirman que los ME pueden actuar como supresores al utilizar cuando sustancias que las raíces de las plantas secretan, sintetizando aminoácidos, nucleicos, vitaminas, hormonas, y otras sustancias bioactivas que benefician a la planta. Además, el aumento en la población de los EM, incrementan la actividad microbiana, y controlan microorganismos patógenos (Brock, 2004).

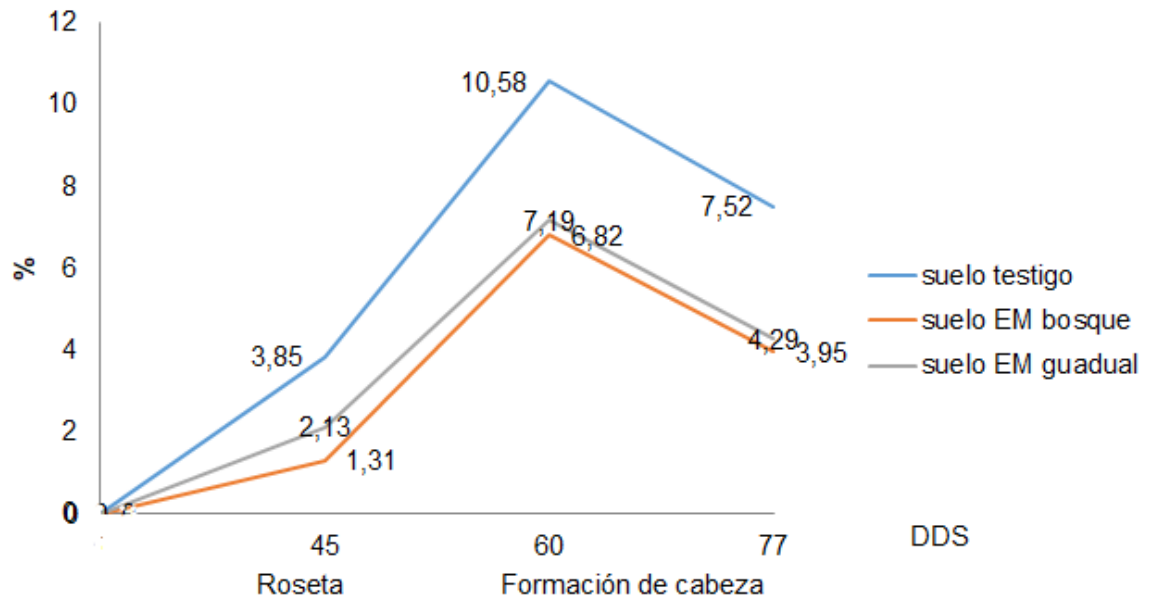
Paz, 2020 en su libro microorganismos del suelo, expresa como un organismo inhibe al otro mediante la producción de sustancias orgánicas e inorgánicas con efectos antibióticos, ya sea fungistáticas o bacteriostáticas, y dice como algunos hongos micorrízicos y bacterias tienen la capacidad de sintetizar inhibidores que protegen a la planta contra infecciones de hongos fitopatógenos, lo cual posiblemente pudo pasar en el caso de la investigación actual.

El tratamiento T3 (testigo sin aplicación) fue el más afectado de manera drástica, perdiéndose plantas completas por la aparición del patógeno mencionado anteriormente, lo que permite inferir que el o los organismos promotores de la supresión no estuvo presente en este tratamiento.

**4.7.2 porcentaje de hojas afectadas por hongos patógenos.** Se determinó el porcentaje de incidencia de enfermedades en las hojas observando la sintomatología, se aplicó la fórmula propuesta por Reis (1994):

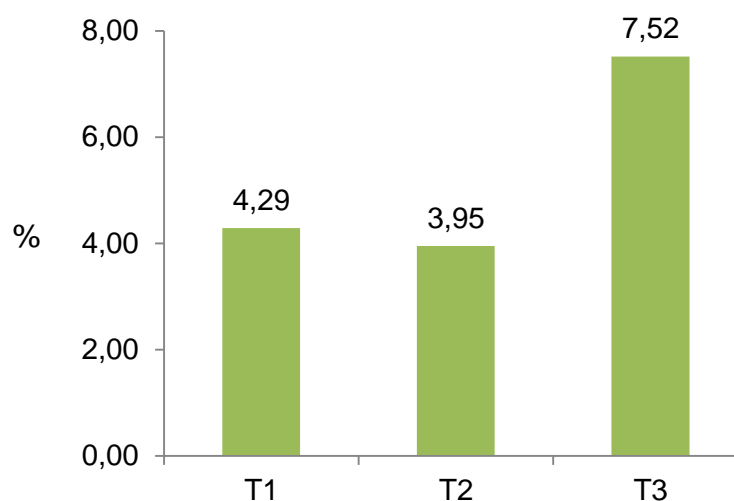
$$\% \text{ Incidencia} = \frac{\text{numero de hojas afectadas}}{\text{numero total de hojas evaluadas}} \times 100$$

La figura 34 permite observar el porcentaje de hojas afectadas por hongos patógenos desde la etapa inicial del cultivo hasta los 77 días después de la siembra. Muestra como el mayor porcentaje de infección de hojas se presentó a los 60 días después del trasplante, en el tratamiento sin aplicación T3 con el 10,58% de las hojas afectadas, como ocurrió en la variable anterior.



DDS: días después de la siembra

**Figura 34.** Porcentaje de hojas afectadas por hongos patógenos



**Figura 35.** Porcentaje promedio de plantas afectadas a los 77 días después de la siembra

Se evaluó el porcentaje promedio de hojas afectadas con el fin de conocer la severidad del patógeno conocido como *Sclerotinia Sp*, mediante la siguiente escala visual de 5 grados, según los autores Craft y Nelson (1996):

0 =planta sana; 1 = <25% del área foliar afectada; 2 = <50% del área foliar afectada; 3 = <75 % del área foliar afectada; 4 = <100% del área foliar afectada y 5 = planta muerta (Osorio *et al.*, 2005).

Se logró comprobar mediante el ANOVA (anexo 7) diferencias significativas y con la prueba de Duncan (Tabla 11) que el promedio de hojas con mayor severidad de ataque se presentó en el tratamiento Testigo (T3) con 7,52 %, y en contraste menor promedio de severidad en los tratamientos T1 (EM gradual) con 4,29 % y T2 (EM bosque) con 3,95%.

**Tabla 11.** Prueba de Duncan ( $P > 0,05$ ) en la variable plagas y enfermedades (% hojas afectadas por hongos patógenos).

Tratamientos	Medias	$\alpha$
T3	7,52	a
T2	3,95	b
T1	4,29	b

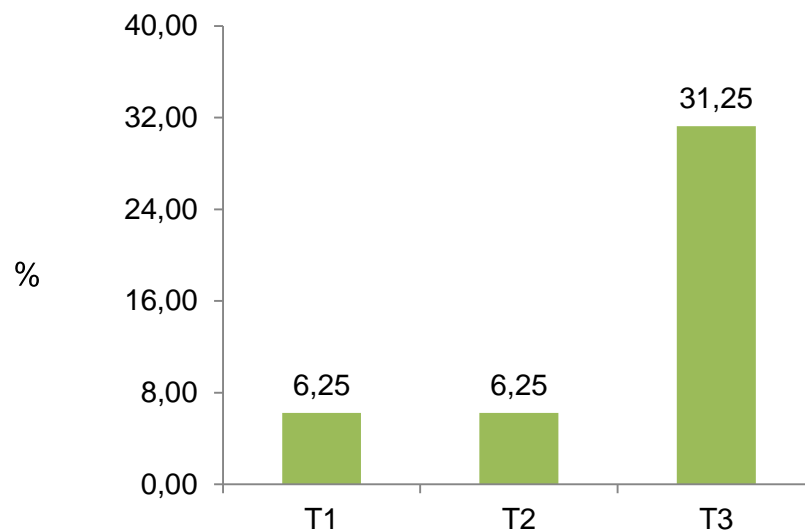
Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

A pesar de que T3 sin aplicación fue el tratamiento más afectado, todos se encuentran en un porcentaje menor al 25%, lo que los pone en escala 1, indicando de forma general una baja incidencia del patógeno, coincidiendo con lo reportado por Otálora, (2015) y Osorio, (2005) quienes al evaluar la acción de *Trichoderma* en el control de *Sclerotinia sp* hallaron que en las últimas semanas de cultivo de lechuga la severidad del ataque fue alrededor del 25% en el tratamiento testigo, mientras que en el resto del ensayo se alcanzó menor severidad. Se puede suponer que *Trichoderma* indujo supresión de patógenos al producir componentes bioactivos (Feijoo y Reinaldo, 2017), así como secreción de enzimas y la producción de compuestos inhibidores fitopatógeno (Infante, 2009) que permitieron baja incidencia.

Adicionalmente la acción biocontroladora de *Trichoderma* que regula el desarrollo de los hongos fitopatógenos se debe también a la competencia por espacio y nutrientes, el micro parasitismo y la antibiosis (Infante, 2009), así como la producción de sideróforos, la inducción de resistencia, producción de metabolitos, activación de antioxidantes y la activación de genes de resistencia en plantas (Schlatter *et al.*, 2017; Morocho y Mora, 2019).

Estudios realizados por Granada (2016), la mezcla de lixiviados de compost con ME a base de bacterias fototróficas, ácido-lácticas y levaduras, aplicados en diferentes dosificaciones generaron un efecto sinérgico acelerando la tasa de asimilación de los nutrientes del lixiviado. Otros estudios también han demostrado efectos positivos de las bacterias ácido lácticas, al suprimir microbios patogénicos indirectamente por la producción de actinomicetos (Fundases, 2007).

**4.7.3 Plantas afectadas por Nematodos.** La lechuga y otros cultivos hortícolas presentan problemas de plagas y enfermedades en los que se incluyen los nematodos fitoparásitos. (FONTAGRO 2010). Los nematodos producen síntomas característicos en el sistema radicular como agallas, lesiones necróticas en las raíces, proliferación de raíces secundarias y pobre crecimiento radicular, lo que se traduce en clorosis y en general plantas débiles con pobre crecimiento (Talavera, 2003). Las poblaciones de nematodos aumentan o disminuyen a través del tiempo y son afectadas tanto en número como en comportamiento por factores como las condiciones de clima y de suelo, la fisiología de la planta, la presencia de otros organismos y las variaciones patogénicas del nematodo (Rodríguez 1984). En el caso de esta investigación se presentó ataque de nematodos, el cual fue evaluado y graficado.



**Figura 36.** Porcentaje de plantas afectadas por nematodos

La figura 36 muestra el porcentaje de plantas afectadas por nematodos, se observa como el tratamiento testigo sin aplicación (T3) fue mayormente infectado por estos microorganismos patógenos en un 31,25%, difiriendo de los tratamientos con aplicación de EM gradual (T1) y EM bosque (T2) en el 25%; estos últimos presentando los menores porcentajes de afectación.

El análisis ANOVA (anexo 8), muestra diferencias significativas entre los tratamientos donde T3 muestra un mayor porcentaje de afectación.

La prueba de Duncan, confirma los resultados encontrados en el análisis ANOVA, puesto que mostro que los promedios son significativamente diferentes en cuanto al porcentaje de daño causado por los nematodos.

**Tabla 12.** Prueba de Duncan ( $P > 0,05$ ) en la variable plagas y enfermedades (Nematodos)

Tratamientos	Media	$\alpha$
T3	31,25	a
T1	6,25	b
T2	6,25	b

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

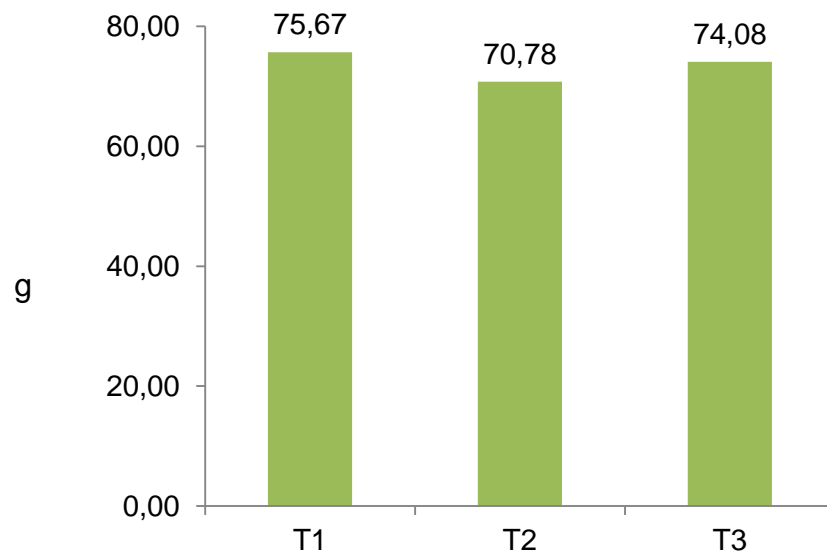
Talavera, 2003 en su manual de nematología agrícola expone el umbral económico por presencia de nematodos de 5% para cultivos hortícolas, teniendo en cuenta lo anterior se puede observar que los tratamientos T1, T2 y T3 (figura 24) sobrepasan el índice de umbral económico, sin embargo, las plantas menos afectadas fueron aquellas con la aplicación de los ME.

Este efecto supresor quizás se debió a los ME adicionados (T1 EM gradual y T2 EM bosque), cabe resaltar que estudios realizados por Alvarado, 2018 corrobora que existe un efecto de los ME y de la materia orgánica, en la limitación del crecimiento de las poblaciones de nematodos en el suelo y en las raíces en las plantas.

Así también se encontró que existen hongos nematófagos capaces de atacar, matar como de digerir nematodos (adultos, juveniles y huevos) y que pueden vivir saprofiticamente en materia orgánica muerta, atacar a otros hongos (micoparásitos) y colonizar raíces de plantas como endófitos, esto hace que estos microorganismos actúen contra la mayoría de los nematodos fitopatógenos (Barrón,2005).

## 4.8 RENDIMIENTO DE BIOMASA

**4.8.1 Biomasa Aérea.** La biomasa aérea estaba conformada por el peso de las hojas y tallos de las plantas de lechuga.



**Figura 37.** Promedio de peso para biomasa aérea (g).

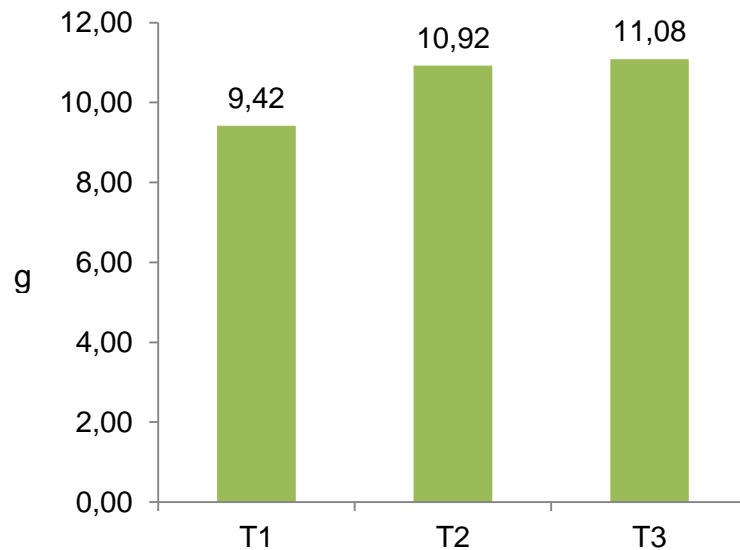
El figura de tendencia permite observar el peso promedio obtenido (g) por la biomasa área fresca al final del ciclo productivo del cultivo, se muestra una diferencia de T1 EM gradual (2,1%) frente al tratamiento testigo sin aplicación (T3) y de este comparado a T2 EM bosque (4,4%). Sin embargo, el análisis ANOVA realizado no muestra diferencias significativas entre los tratamientos. (Anexo 9). De igual manera la prueba de Duncan (Tabla 12) muestra homogeneidad entre los tratamientos y el testigo.

**Tabla 13.** Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) en la variable Biomasa aérea

Tratamiento	Medias	$\alpha$
T2	70,78	a
T3	74,08	a
T1	75,67	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )

**4.8.2 Biomasa Raíces.** Esta parte estuvo conformada por raíces finas y gruesas de la planta de lechuga, ubicadas a una profundidad promedio de 15cm.



**Figura 38.** Promedio de peso para biomasa raíces (g).

En la figura 27 se observan el promedio de peso en la variable biomasa de raíces, donde el tratamiento T3 sin aplicación de EM presentó el mayor valor (g) frente a los tratamientos EM gradual (T1) y EM bosque (T2), difiriendo en 14% y 1,4% respectivamente. Sin embargo, ni el ANOVA, ni la prueba de Duncan mostró diferencias significativas entre los tratamientos aplicados para esta variable.



**Tabla 14.** Prueba de Duncan ( $p > 0,05$ ) en la variable Biomasa de Raíces

<u>Tratamiento</u>	<u>Medias</u>	<u><math>\alpha</math></u>
T1	9,42	a
T2	10,92	a
T3	11,08	a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ).

Los valores de biomasa aérea fresca alcanzados en esta investigación (70,78 g y 75,6 g), fueron superiores a los reportados por Loarte, (2018) en un rango de 20g y 60g y los de biomasa de raíces (9,4 y 11,7%), dentro del rango dado por Loarte, quien reportó entre 10g y 30g.

Manrique *et al.*, (1991) y Barrientos (2015) muestran en sus estudios que la acumulación y distribución de biomasa en los vegetales son características genotípicas que son fácilmente afectadas por el ambiente y la interacción suelo rizosfera. En este caso, los resultados pudieron verse afectados debido a las condiciones climáticas dadas por las precipitaciones constantes, días de baja radiación solar y cambios en las temperaturas. Así como la actividad microbiana mediante la liberación de nutrientes en el proceso de mineralización.

Lambers *et al.*, (2008) prueba que el incremento de la luz diaria está relacionado con la tasa crecimiento de las plantas por lo cual si esta es baja se reduce la acumulación de biomasa.

#### **4.9 relación existente entre tratamientos, los mejores rendimientos de las variables y la composición taxonómica**

La investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de los microorganismos en las características agronómicas del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en cuanto al crecimiento y desarrollo. Para esto se identificó taxonómica aquellos hongos presentes en los ecosistemas de T1y T3 (suelo/ EM gradual y suelo sin aplicación), la identificación taxonómica en T2 (suelo/EM bosque) no fue posible dado que el ADN se deterioró, y se relacionó con variables de altura, longitud de hojas y raíces, contenido de clorofila; y biomasa total para dicha evaluación.

La composición taxonómica de ME encontrada en cuanto a género y especie se caracterizan por promover el crecimiento y desarrollo de las plantas desde la rizósfera, mediante la producción de hormonas tales como las auxinas y giberelinas, ácidos orgánicos (glucónico, fumárico, y cítrico) que pueden disminuir el pH del suelo y propiciar la solubilización de fosfatos, magnesio, hierro y manganeso, los cuales son de gran importancia en metabolismo vegetal (Sharma *et al.*, 2017).

Uno de los géneros que se encontró con mayor porcentaje en las muestras iniciales fue *Trichoderma* que se caracterizan por ser saprófitos, es decir, se alimentan de MO degradando la misma (Esposito, 1998), algunas especies de *Trichoderma* generan promoción de crecimiento e inducción de resistencia a plagas y enfermedades en la planta huésped (Amerio, 2020), de este género se distinguieron 2 especie en particular, el *T. koningiopsis* y *T. harzianum*.

Estudios realizados por Ortuño (2017), han demostrado que los hongos de la especie *T. koningiopsis* en asocio con otros ME promovieron el crecimiento de lechuga y rábano, asociándose con mayor una producción de ácido indol-3-acético, una citoquinina involucrada en el crecimiento y desarrollo de las plantas, principalmente en una serie de procesos fisiológicos que incluyen el alargamiento y división celular, diferenciación de tejido, fototropismo, gravitropismo y en respuestas defensivas (Santner, 2009).

En el caso de la investigación se observó como este hongo se encuentra en mayor proporción al inicio de la etapa productiva del cultivo de lechuga (60 ddt), cabe resaltar que muestras tomadas al inicio del ensayo antes de establecerse el cultivo (SI y GSI) tuvieron los mayores porcentajes de *Trichoderma sp.*

Después del trasplante se observó que las plantas del tratamiento T1 (GSI) obtuvieron una mayor expresión, durante la etapa de roseta (45 a 60 ddt), fue en el caso de las variables: altura, longitud de hoja, contenido de clorofila que mostraron diferencias significativas según las pruebas ANOVA y Duncan.

Ruiz *et al.*, (2018) menciona que las cepas de *Trichoderma* tuvieron un efecto positivo en plantas de Jitomate en la altura y diámetro de tallo, el rendimiento del cultivo y la acumulación de clorofila en hojas. Altomare (1999), menciona que *Trichoderma harzianum* tiene la capacidad de multiplicarse en el suelo y colonizar las raíces de las plantas liberando hormonas de crecimiento (auxinas, giberelinas y citoquininas) que estimulan la germinación y el desarrollo de las plantas. Así mismo, estas hormonas actúan como catalizadores o aceleradores de los tejidos meristemáticos primarios en partes jóvenes de la planta, haciendo que se acelere su reproducción celular, logrando que las plantas se desarrollen más rápido (Cubillos, 2009).

Dado que en esta investigación se encontró inicialmente en un porcentaje alto de representantes de esta especie, se infiere que los hongos del género *Trichoderma* estuvieron involucrados desde el principio en el crecimiento y desarrollo inicial de las plantas de lechuga, ya que se encontraban presentes tanto en terreno destinado para la siembra como en los ME cosechados y usados para el ensayo.

En las etapas finales del ensayo se observó cómo en los hongos del genero *Trichoderma* disminuyen su población y se presenta un aumento de las especies como *Saccharomycopsis figuligera*, *Aspergillus flavus* y *Thermoascus aurantiacus*, principalmente en la muestra **PGSF** (sustrato/suelo final más tratamiento gradual más cultivo). Estas especies hacen parte de los hongos saprófitos, los cuales desempeñan un papel esencial en la degradación de la materia orgánica (Klich, 2002) y son hongos filamentosos lo cual los hace responsables de la mayor degradación de la celulosa en la naturaleza, por la eficiencia y diversidad de sus

sistemas celulíticos (Ferrer, 2011). Es posible que su abundancia en este ecosistema sea porque el gradual, es un lugar rico en MO compuesta de celulosa y las condiciones ambientales presentes durante el ensayo hayan llevado a la proliferación de estos hongos.

Así mismo se pudo evidenciar que a partir de esta última etapa (después de 60 días aproximadamente) el crecimiento y desarrollo de la planta se volvió constante. Este valor es más bajo en comparación a los encontrados en la investigación de Archila, 1998 sobre 4 materiales de lechuga Great Lakes 118 y Climax donde los valores máximos de la tasa de crecimiento del cultivo se alcanzaron a los 70 dds.

También se debe tener en cuenta que a medida que crece la plantas y se desarrolla la cabeza, las hojas externas sobre las internas aumentan el sombrío lo que influye en la interceptación de la radiación solar fotosintéticamente activa en los diferentes estratos del canopi lo que afecta la tasa fotosintética y por ende el crecimiento vegetativo (Carranza, 2009), lo que pudo llevar a la situación nombrada anteriormente.

#### **4.10 RELACIÓN DE COMPOSICIÓN TAXONÓMICA CON RESPECTO AL EFECTO SUPRESOR DE PLAGAS Y ENFERMEDADES EN LAS PLANTAS DE LECHUGA (*LACTUCA SATIVA*).**

En la investigación se evaluó la incidencia de plagas y enfermedades del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*). Para el análisis de esta variable se tuvo en cuenta el daño ocasionado en plantas y hojas, expresado en porcentaje. Se pudo observar la presencia de patógenos en hojas, como de nematodos en el sistema radicular.

Según los resultados obtenidos en cuanto a la presencia de patógenos en el cultivo, se pudo observar una baja incidencia de este, en las primeras etapas del cultivo, y para aquellas plantas con la adición de ME. Es posible que estos resultados se debieron a la presencia del género *Trichoderma*, a este se le conoce como controlador de micoparásitos y controlador de diversos patógenos gracias a

que produce enzimas del tipo quitinasas y glucanasas. Estas enzimas tienen la capacidad para romper los polisacáridos quitina y glucanos, que son constituyentes de la pared de los patógenos y que le confieren la rigidez a su pared celular (Howell, 2003).

Uno de los taxones con porcentajes superiores al 70% que hace parte del género nombrado fue la especie conocida como *Trichoderma koningiopsis* en muestras provenientes del gradual y del suelo inicial sin EM. Estudios realizados por CORPOICA han permitido demostrar que las cepas nativas son altamente eficaces en el control de patógenos como: *B. cinérea* y *S. sclerotiorum*, hongos que atacan a la lechuga (Villamizar *et al.*, 2004).

Es de resaltar que las plantas de lechuga que fueron trasplantadas al suelo sin EM sufrieron un mayor ataque por parte del hongo, en comparación de las plantas del tratamiento T1 con influencia de los ME del ecosistema gradual, donde se expresó el efecto supresivo. Es probable que en el ecosistema gradual coexista una diversidad de ME que al formar un consorcio con *T. koningiopsis* promuevan una mayor respuesta defensiva contra el patógeno (Santner, 2009).

Igualmente se encontró la especie *Trichoderma harzianum* aunque en una menor porcentaje (**G**: 13%, **GSI**: 0,5%, **SI**: 6%). Sin embargo, a este hongo se le atribuye la inducción de resistencia en la planta hospedera por el aumento en la actividad de la peroxidasa y quitinasa que inactivan al agente patógeno. Estudios encontraron que cuando se aplicaba *T. harzianum*, se logró una reducción de la enfermedad producida por *B. cinérea*, que osciló entre 25% y 100% en cultivos de lechuga, el efecto fue la inducción de resistencia sistémica (Yedidia *et al.*, 1999).

La incidencia del patógeno se incrementa con el tiempo hasta el final de ensayo en parcelas con T3 sin aplicación EM. Para los tratamientos EM gradual (T1) y EM bosque (T2), las pruebas estadísticas muestran un descenso significativo al final del ciclo del cultivo. Se infiere que la aplicación de ME tuvo un efecto positivo en cuanto a supresión de patógenos y que se deba a la presencia de especies de ME que se potencializaron cuando disminuyó *Trichoderma*, como: *Saccharomycopsis figuligera*, *Aspergillus flavus* y *Thermoascus aurantiacus*.

Estos hongos se caracterizan por su capacidad de degradar MO, gracias a que emplean la celulasa, una enzima hidrolítica que participa en el rompimiento de los enlaces glicosídicos B-1,4 presentes en los polisacáridos de la celulosa, por tal razón son muy utilizados en la industria (Fuentes, 2009). No obstante, los hongos de la especie *Saccharomycopsis fibuligera* una levadura endófito y amilolítica que se encuentra de forma autóctona en sustratos ricos en almidón (Choi *et al.*, 2014), desempeña un papel ecológico clave en la fisiología del tejido vegetal mejorando la resistencia a enfermedades (Isaeva *et al.*, 2010).

Un estudio realizado por Abdel, 2017; demostró que *S. fibuligera* tuvo éxito al reprimir el crecimiento de *Botrytis cinérea*, causando una fuerte tasa de inhibición (48,52%), esto debido a producción de glucoamilasa extracelular,  $\alpha$ -amilasa,  $\beta$ -glucosidasa y proteasa (Itoh *et al.*, 1987; Yamashita *et al.*, 1986; Yamashita *et al.*, 1985). De acuerdo con la información encontrada, la especie *Saccharomycopsis fibuligera* posiblemente influyó en la disminución de la enfermedad provocada por hongos patógenos que se dio al final del ciclo productivo del cultivo comprobando la eficiencia de estos microorganismos.

Por otro lado, *Aspergillus flavus* y *Thermoascus aurantiacus* pudieron haber estado relacionados con el control de plagas y enfermedades en el cultivo de lechuga, *Aspergillus flavus* es conocido por competir directamente por espacio, nutrientes y recursos necesarios para el desarrollo del micelio e hifas (Bettiol, *et al.*, 2014). Un estudio realizado Robín, 2000 mostro que este tiene efectos positivos ante muchos patógenos puesto que presentó mayor efecto inhibitorio frente a los hongos patógenos como *C. parasítica*, *P. alni* y *P. pluvivora* e igualmente la investigación en plantas de coníferas; realizada por Flores, 2017 corrobora estos resultados, encontró como *aspergillus flavus* redujo las colonias de patógenos anteriormente nombradas y de *F. circinatumen* un 65% por lo cual lo presenta como un hongo endófito con un potencial muy elevado como agente de control biológico.

*Thermoascus aurantiacus* es uno de los hongos termófilos productores de celulasas (Forsberg,1993) es de interés por su capacidad para producir enzimas celulolíticas termoestables (Lamed & Bayer 1988), la producción de enzimas como las celulasas pueden dañar la pared celular del hongo patógeno (Campuzano, 2017), lo que podría relacionar a este hongo con la supresión de patógenos en el

cultivo de lechuga, sin embargo hasta ahora no se han encontrado investigaciones que refuercen esta teoría ya que generalmente este hongo es utilizado en el área agroindustrial.

En esta investigación hubo presencia de nodulaciones deformadas y agallas en las raíces de las plantas, síntomas típicos que produce el nematodo *Meloidogyne* sp. (Ornat, 2008). Las plantas mayormente afectadas fueron aquellas que no contaban con la adicción del tratamiento (T3), su porcentaje de afectación fue del 31,25% mientras que aquellas plantas con adicción de EM del guadual (T1) conto con el 6,25% y las plantas con adicción de EM del bosque (T2) igualmente, estos resultados nuevamente muestran un posible efecto inhibitorio de nematodos causado por las poblaciones existentes de los hongos benéficos promovidos por el empleo de los EM. Esto se puede corroborar con un estudio de Pérez, 2006 quien menciona que este hongo tiene propiedades nematicidas y afirma que *Trichoderma* es un eficaz biorregulador frente a *nematodos Meloidogyne* sp, donde se pone de manifiesto la acción de sus toxinas e hifas, de que estas redujeron la eclosión de huevos y los movimientos de larvas.

En conclusión, teniendo en cuenta los mecanismos de acción de las especies antagonicas nombradas, se les podría relacionar con la baja incidencia del patógeno y la baja presencia de nematodos en el cultivo de lechuga.

## 5. CONCLUSIONES

- La investigación demuestra que el uso de ME gradual y bosque tienen efecto positivo en el crecimiento y desarrollo del cultivo de lechuga para las variables altura y longitud de hoja en la etapa roseta comprendida entre los 38 y 45 días después de trasplante.
- En cuanto al contenido de clorofila de las hojas de lechuga se observó en los tratamientos T1 y T2 mayor contenido (9,6% y 10%) en comparación al tratamiento testigo. Los tratamientos ME adicionados T1 y T2 mostraron un efecto supresor en las plagas y enfermedades que se presentaron en el cultivo de lechuga.
- La variable longitud de raíces muestra promedios muy buenos en comparación a otras investigaciones realizadas, con resultados superiores a 14,33 cm. El rendimiento de biomasa fresca aérea encontrada en esta investigación fue superior (>70,78g) frente a la encontrada por otros autores mientras que la biomasa de raíces fue homogénea a la expuesta por estos.
- El análisis taxonómico permitió ver un cambio de la diversidad de microorganismos encontrados en las diferentes muestras de suelo, cuyo principal impulsor fue el tratamiento aplicado (EM) sobre el suelo y en menor parte condiciones ambientales.
- Al inicio del ciclo productivo del cultivo se destaca dominio del hongo del género *Trichoderma* con las especies *Koningiopsis* y *harzianum* reconocidos como bioestimuladores de plantas y controladores biológicos. Sobre el final del cultivo predominaron las especies *Saccharomycopsis figuligera* (34,98%), *Aspergillus flavus* (28,87%) y *Thermoascus aurantiacus* (17,44) que desempeñan un papel esencial en la degradación de la materia orgánica.
- El uso de Microorganismos eficientes (ME) es una alternativa viable en la aplicación a cultivos agrícolas, ya que son de gran importancia para salud de los suelos y su fertilidad. Además, permiten el desarrollo de cultivos con baja incidencia de plagas y enfermedades permitiendo que crezcan con menores aplicaciones de plaguicidas perjudiciales para la alimentación humana y animal.



## 6. RECOMENDACIONES

- Para futuras investigaciones sugiere hacer inoculación in vitro en placas de agar con diferentes tipos de sustratos con el fin de conocer el crecimiento y desarrollo de cada hongo encontrado en la investigación para después evaluarlos en campo y así conocer las funciones y relaciones benéficas específicas que pueden establecer cada uno de estos con las plantas.
- se debe potenciar la actividad de los ME capturados y aplicados través de la adición de materia orgánica en los cultivos establecidos con el fin de que haya mayor disponibilidad de los nutrientes a la planta y por ende mejor crecimiento como desarrollo de esta.
- Se propone realizar la medición de algunas condiciones ambientales como precipitación, temperatura y pH los cuales influyen en la diversidad y cantidad de ME presentes en el suelo.
- Es de gran importancia conocer la actividad metabólica de los microorganismos. Por lo cual se recomienda realizar un experimento adicional in vitro con los microorganismos encontrados en la investigación con el fin de profundizar en el tema.

## 7. BIBLIOGRAFIA

ABDEL-RAHIM, IR Y ABO-ELYOUSR, KAM. Uso de *Saccharomycopsis fibuligera* endófito y aceite de tomillo para el manejo de la pudrición por moho gris de frutos de guayaba. *Control biológico*, 110, 124–131. 2017. doi:10.1016/j.biocontrol.04.04

ACOSTA-SUÁREZ, MAYRA, CRUZ-MARTÍN, MILEIDY, PICHARDO, TATIANA, RODRÍGUEZ, ELOÍSA, BARBÓN, RAÚL, CAPOTE, ALINA, PÉREZ, ANABEL, & ALVARADO-CAPÓ, YELENYS. Solubilización de fosfatos in vitro por cepas de *Aspergillus* y *Penicillium* y promoción del crecimiento de plantas de cafeto. *Biotecnología Vegetal*, 19(1), 65-72. Recuperado en 28 de marzo de 2023, [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S207486472019000100065&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S207486472019000100065&lng=es&tlng=es). (2019).

ACOSTA Y HENRRY, A. Microorganismos eficientes de montaña: evaluación de su potencial bajo manejo agroecológico de tomate en Costa Rica. Centro Agronómico Tropical De Investigación y Enseñanza. 2012. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/3123>

AGUIRRE-MEDINA, JUAN FRANCISCO, MOROYOQUI-OVILLA, DANIELA MONTSERRAT, MENDOZA-LÓPEZ, ALEXANDER, CADENA-IÑIGUEZ, JORGE, AVENDAÑO-ARRAZATE, CARLOS HUGO, & AGUIRRE-CADENA, JUAN FRANCISCO. Hongo endomicorrízico y bacteria fijadora de nitrógeno inoculadas a *Coffea arabica* en vivero. *Agronomía Mesoamericana*, 22(1), 71-80. 2011. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1659-13212011000100009&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1659-13212011000100009&lng=en&tlng=es).

AGRICULTURA, M. Producción de lechuga en Colombia. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/Documents/LECHUGA2016.pdf>

AGRONET. Lechuga: área sembrada y área cosechada 2007-2015. 2015. [En línea]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/Documents/LECHUGA2015.pdf>

AGRONET. Lechuga: área sembrada y área cosechada 2016. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://www.agronet.gov.co/Documents/LECHUGA2016.pdf>

AHEMAD, M., KIBRET, M. Mecanismos y aplicaciones de la planta growth promitendo rhizobacteria: pe actual perspectiva. Journal de Rey Saud Universidad - Science. En prensa. 2013

ALEXANDER VON HUMBOLDT, I. D. I. D. R. B. Manual De Métodos Para El Desarrollo De Inventarios De Biodiversidad (1.<sup>a</sup> Ed.). Bogotá: Claudia villa. 2004. [En línea]. Disponible en: <http://repository.humboldt.org.co/bitstream/handle/20.500.11761/31419/63.pdf>

ALTOMARE, C., W.A. NORVELL, T. BJÖRKMAN Y G.E. HARMAN. Solubilization of phosphates and micronutrients by the plant-growth-promoting and biocontrol fungus *Trichoderma harzianum* Rifai 1295-22. Appl. Environ. Microb. 65(7), 2926-2933. 1999

ALVARADO NAYA, B. “Aplicación Combinada De Microorganismos Eficaces (Em) Y Materia Orgánica (Mo) Y Su Efecto Sobre El Rendimiento De Fruta De “Ají Habanero” (*Capsicum Chínense Jacq*) En Cieneguillo Sur-Sullana, 2018 (Pregrado). Universidad Nacional De Piura Facultad De Agronomía.

ÁLVAREZ ALTAMIRANO, O. D. Evaluación De Dosis Y Frecuencias De Microorganismos Efectivos), En La Lechuga (*Lactuca Sativa L.*) Variedad Great Lakes Como Bio Compensadores De Suelo Y Planta (Pregrado). Universidad Técnica De Ambato Facultad De Ingeniería Agronómica. 2011

ÁLZATE, J., Y LOAIZA, L. Monografía del cultivo de la lechuga. Colinagro, 37 p. 2008

AGRIOS, G.N. Plant pathology. 5th ed. Elsevier Academic Press, New York. 2005

AMERIO, NATALIA S, CASTRILLO, MARÍA L, BICH, GUSTAVO A, ZAPATA, PEDRO D, & VILLALBA, LAURA L. *Trichoderma* en la Argentina: Estado del arte. Ecología austral, 30(1), 113-124. 2020. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1667782X2020000100015&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1667782X2020000100015&lng=es&tlng=es).

ANDREWS JOHN H, BERBEE FLORA. M. AND NORDHEIM ERIK V. Microbial Antagonism to the Imperfect Stage of the Apple Scab Pathogen, *Venturia inaequalis*, *Phytopathology* 73:228-234. 1983

ARIAS, A. Microorganismos eficientes y su beneficio para la agricultura y el medio ambiente. *Journal de Ciencia e Ingeniería*. Vol. 02, 02, 42–45. 2010

ARCHILA, J., U. CONTRERAS, H. PINZÓN, H. LAVERDE Y G. CORCHUELO. Análisis de crecimiento de cuatro materiales de lechuga (*Lactuca sativa*). *Agron. Colombia*. 16(1). 1998

ASIA PACIFIC NATURAL AGRICULTURE NETWORK (APNAN). Guía de la Tecnología EM. 2003. [En línea]. Disponible en: <http://fundases.com>

BAEZA-GUZMÁN, YAJAIRA, MEDEL-ORTIZ, ROSARIO, & GARIBAY-ORIJEL, ROBERTO. Caracterización morfológica y genética de los hongos ectomicorrízicos asociados a bosques de *Pinus hartwegii* en el Parque Nacional Cofre de Perote, Veracruz. *Revista mexicana de biodiversidad*, 88(1), 41-48. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rmb.2017.01.027>

BANCO NACIONAL DE ADN CARLOS III. Programa de control de calidad de ácidos nucleicos. Universidad de Salamanca. 2020. [www.bancoadn.org](http://www.bancoadn.org)

BARITIERI, D., SILVÉRIO KLOSOWSKI, É., PILARSKI HENKEMEIER, N., GONÇALVES JUNIOR, A. C., VASCONCELOS, S. DE E., & CHIBIAQUI, E. Produção de alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Vanda, cultivada sob diferentes ambientes e níveis de adubação mineral e orgânica. *Cultivando o Saber*, 8, nº1, 109–124. 2015

BARRIENTOS LLANOS, HAROLD, DEL CASTILLO GUTIÉRREZ, CARMEN ROSA, & GARCÍA CÁRDENAS, MAGALI. Análisis de crecimiento funcional, acumulación de biomasa y translocación de materia seca de ocho hortalizas cultivadas en invernadero. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 2(1), 76-86. 2015. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2409-16182015000100010&lng=es&tIng=es](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2409-16182015000100010&lng=es&tIng=es)

BARRON, L. The Nematode Destroying Fungi. *Topics In Mycobiology* no.1. Canadian Biological Publications Ltd., Guelph. p. 27-140. 1977

BELTRÁN PINEDA, M.E., ROCHA GIL, Z.E., BERNAL FIGUEROA, A.A. & PITA MORALES, L.A. Microorganismos funcionales en suelos con y sin revegetalización en el municipio de Villa de Leyva, Boyacá. *Colombia Forestal*, 20(2), 158-170. 2017

BENEDETTO, N.A. DI; CORBO, M.R; CAMPANIELLO, D.; CATALDI, M.P.; BEVILACQUA, A.; SINIGAGLIA, M.; FLAGELLA, Z. The role of Plant Growth Promoting Bacteria in improving nitrogen use efficiency for sustainable crop production: a focus on wheat. *AIMS Microbiology* 3(3): 413-434. 2017

BETTIOL, W.; RIVERA, M.C.; MONDINO, P.; MONTEALEGRE, J.R.; COLMENAREZ, Y. Control biológico de enfermedades de plantas en América Latina y el Caribe. Facultad de Agronomía Universidad de la República, Montevideo. 404 p. 2014

BROCK, T. Microbiología Enciclopedia básica visual. Editorial. Océano. Tomo VIII. Editorial. Prentice hall. 2004

CALERO, A., QUINTERO, E., PÉREZ, Y., OLIVERA, D., PEÑA, K., CASTRO, I., Y JIMÉNEZ, J. Evaluación de microorganismos eficientes en la producción de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista de Ciencias Agrícolas*. 36(1): 67-78. 2019. [En línea]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.22267/rcia.193601.99>

CALERO, A., QUINTERO RODRÍGUEZ, E., PÉREZ DÍAZ, Y., OLIVERA VICIEDO, D., PEÑA CALZADA., K., Y JIMÉNEZ HERNÁNDEZ, J. Efecto entre microorganismos eficientes y fitomas-e en el incremento Agroproductivo del frijol. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 17(1), 25-33. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v17n1.1201>

CALLEJAS, RODRIGO, KANIA, ERIKA, CONTRERAS, AMÉRICO, PEPPI, CECILIA, & MORALES, LUIS. Evaluación de un método no destructivo para estimar las concentraciones de clorofila en hojas de variedades de uva de mesa. *Idesia* (Arica), 31(4), 19-26. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292013000400003>

CAMPO MARTÍNEZ, A., ACOSTA SÁNCHEZ, R., MORALES VELASCO, S., Y PRADO F. Evaluación de microorganismos de montaña (mm) en la producción de acelga en la meseta de Popayán. *rev.bio.agro* [online]. vol.12, n.1, pp.79-87. issn 1692-3561. 2014

CAMPO MARTÍNEZ, A. Evaluación de microorganismos encontrados en tres sistemas agroecológicos para la producción del cultivo de acelga (*Beta vulgaris*

var. cicla) en la meseta de Popayán (universitario). Universidad del Cauca, Popayán, Cauca. 2011. [En línea]. Disponible en: <https://1library.co/document/y4g2ex9y-evaluacion-microorganismos-encontrados-sistemas-agroecologicos-produccion-vulgaris-popayan.html>

CAMPUZANO F, S., URQUIJO T, L., & VALDERRAMA, J. Evaluación de la actividad celulolítica y quitinolítica de hongos filamentosos aislados de rizósfera de cultivos de papa para control de rhizoctonia solani. *NOVA*, 15(28), 45 - 55. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.22490/24629448.2078>

CAPILLA OTERO, M. M. Interacción De Bacterias Promotoras De Crecimiento Vegetal (Pgpr) Con Lechuga (Lactuca Sativa L.), tesis pregrado. Benemérita Universidad Autónoma De Puebla. 2021

CARRANZA, C., LANCHERO, O., MIRANDA, D. AND CHAVES, B. Análisis del crecimiento de lechuga (&lt;em&gt;Lactuca sativa&lt;/em&gt; L.) ‘Batavia’ cultivada en un suelo salino de la Sabana de Bogotá. *Agronomía Colombiana*, 27(1), 41–48. 2009. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/agrocol/article/view/11330>

CASIERRA, F, & AGUILAR, O. Estrés por aluminio en las plantas: reacciones en el suelo, síntomas en vegetales y posibilidades de corrección. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 1(2), 246-256. 2007

CASTILLO A. ¿Qué es la turba y para qué se utiliza? *Castillo Arnedo*. <https://www.castilloarnedo.com/blog/general/que-es-la-turba-y-para-que-se-utiliza>. 2022.

COYNE, M. *Micrófonorobiología del Suelo: Un enfoque exploratorio*. Barcelona, España: Editorial Paraninfo. 134 – 141. 2000

COLWELL, K., C. X. MAO Y J. CHANG. Interpolating, extrapolating, and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology* 85:2717-2727. 2004

COLWELL, R.K. *Estimates*: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 9. URL:[purl.oclc.org/estimates](http://purl.oclc.org/estimates). 2013

CONCEPCIÓN, R. C., JULY, E., Y CASTAÑO, R. Caracterización de la lechuga (Lactuca sativa.L.) en la unidad Guayabal. *Engormix*. 2019. [En línea]. Disponible

en: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/caracterizacion-lechuga-lactuca-sativa-t44527.html>

COOMAN, A. Suelos. Fertilización y riegos. Manual de producción de lechuga lisa bajo invernadero. Cuadernos del centro de investigación y asesorías agroindustriales. Bogotá. Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano. 2000

CÓRDOBA. Se viene la huerta de otoño. 2014. [En línea]. Disponible en: <http://www.cordobatimes.com/el-campo/2014/02/28/se-viene-la-huerta-de-otono-ya-sabes-que-cultivar>

CORPOICA. Jaramillo, J. Colombia Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga en el oriente antioqueño). 2014. [En línea]. Disponible en: [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13758/75472\\_65800.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13758/75472_65800.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

COTTY, P. J., PROBST, C., & JAIME GARCÍA, R. Etiology and management of aflatoxin contamination. In *Mycotoxins: detection methods, management, public health and agricultural trade* (Issue May, pp. 287–299). CABI, Oxfordshire, UK. 2008. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1079/9781845930820.0287>

COUTINHO, F. Programa de extensão “Divulgação das Plantas Mediciniais, da Homeopatia e da Produção de Alimentos Orgânicos”. En cuaderno los Microrganismos Eficientes (EM). Instruções práticas sobre uso Ecológico e social do EM. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa. 2008

CUBILLOS-HINOJOSA, JUAN, VALERO, NELSON, & MEJÍA, LAURIS. *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *flavicarpa* Degener). *Agronomía Colombiana*, 27 (1), 81-86. 2009. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-99652009000100011&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-99652009000100011&lng=en&tlng=es).

CRAFT, M.; NELSON, E. Microbial properties of compost that suppress damping-off and root rot of creeping bentgrass caused by *Pythium graminicola*. *Appl. Environ. Microbiol.* 65(5): 1550-1557. 1996

CHAPARRO, JM, BADRI, DV, BAKKER, MG, SUGIYAMA, A., MANTER, DK, VIVANCO, JM. La exudación radicular de fitoquímicos en *Arabidopsis* sigue

patrones específicos que están programados en el desarrollo y se correlacionan con las funciones microbianas del suelo. Más uno.8, e55731. 2013

CHAO, A. Nonparametric estimation of the number of classes in a population. *Scandinavian Journal of Statistics*, 11: 265-270. 1984

CHI, Z., CHI, Z., LIU, G., WANG, F., JU, L., ZHANG, T. *Saccharomycopsis fibuligera* and its applications in biotechnology. *Biotechnol. Adv.* 27, 423-431. 2009  
CHOI, D.H., PARK, E.H., KIN, M.D. Characterization of starch-utilizing yeast *Saccharomycopsis fibuligera* isolated from Nuruk. *Korean J. Microbiol. Biotechnol.* 42, 407-41. 2014

DE WAELE, D. & DAVIDE, R. Nematodos noduladores de las raíces del banano, *Meloidogyne incognita* (Kofoid y White, 1919) Chitwood, 1949 y *Meloidogyne javanica* (Treub, 1885) Chitwood, 1949. En: Plagas de Musa. Hoja divulgativa No. 3. 1998

DELGADO ARROYO, MARÍA DEL MAR, MIRALLES DE IMPERIAL HORNEDO, ROSARIO, MASAGUER RODRÍGUEZ, ALBERTO, & MARTÍN SÁNCHEZ, JOSÉ VALERO. Estudio de turbas y residuos avícolas procedentes de pollo de engorde como componente de sustratos de cultivo. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 32(4), 455-462. <https://doi.org/10.20937/RICA.2016.32.04.09>. 2016.

DELGADO HIGUERA, M. Los Microorganismos del Suelo en la Nutrición Vegetal. Investigación ORIUS Biotecnología. 2002. [En línea]. Disponible en: <http://www.oriusbiotecnologia.com/site/index.php?id=20,63,0,0,1,0>

DEYN, B. "Plant community development is affected by nutrients and soil biota", en *J. Ecol* 92:824-834. 2004

DEPLOEY J. Some factors affecting the germination of *Thermoascus aurantiacus* ascospores. *Mycologia* 87: 362–365. 1995.

DOUSDEBES, C. *ESIA y PMA del Puerto de Aguas Profundas de Posorja*. Estudio de impacto ambiental. Guayaquil, Ecuador. 2017

ECOLOGIC MAINTENANCES. Microorganismos efectivos EM en la Agricultura. Yucatán, México. 2012. [En línea]. Disponible en: <http://www.emmexico.com>



ENWALL K, L PHILIPPOT & S HALLIN. Activity and composition of the denitrifying bacterial community respond differently to long-term fertilization. *Appl. Environ. Microbiol.* 71:8335-8343. 2005

ESPOSITO, E., AND M. D. SILVA. Systematics and environmental application of the genus *Trichoderma*. *Critical Reviews in Microbiology* 24:89-98. 1998. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/10408419891294190>.

ESTRADA SALAZAR, GLORIA INÉS. *Micología general*. Manizales: Centro Editorial Universidad Católica de Manizales, 2019.

FEIJOO, IM Y REINALDO, MJ. *Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores*. 2017

FERRER MARCELO, LEÓN RODRÍGUEZ METRO, MICHELENA ÁLVAREZ G, MENDOZA JC, DUQUE ORTIZ A, IBÁÑEZ FUENTES M Y TORTOLO CABAÑAS K. Selección de hongos aislados de bagazo de caña con actividad celulasa sobre celulosa cristalina para posibles aplicaciones industriales, ICIDCA. *Sobre los Derivados De la Caña De Azúcar*. vol. 45, art. #1. 2011. ISSN: 0138- 6204. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223122251001.pdf>

FONTAGRO - FONDO REGIONAL DE TECNOLOGÍA AGROPECUARIA. Informe técnico de inocuidad de la lechuga. Proyecto inta-fontagro. costa rica. 5 p. 2010

FORSBERG CW, GROLEAU D. Stability of the endo- $\beta$ -1,4-glucanase and  $\beta$ -1,4-glucosidase from *Bacteroides succinogenes*. *Canadian Journal of Microbiology* 28: 144-148. 1982

FUERTES BRICEÑO, M. I. "estudio de aplicaciones enzimáticas en la industria textil" (pregrado). Universidad nacional de ingeniería facultad de ingeniería química y textil. 2009

FUNDASES. Fundación de Asesorías para el Sector Rural. *Microorganismos Eficaces*. Agrophos. 2014. [En línea]. Disponible en: <http://fundases.com/p/solbac.html>

FLORES PACHECO, J. A. Antagonismo in vitro de hongos endófitos para su uso en el biocontrol de enfermedades forestales. *Revista Científica De FAREM-Estelí*, (23), 58–71. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.5377/farem.v0i23.5475>

GALVÁN G., GARCÍA MARGARITA., RODRÍGUEZ J. Cursos de horticultura. Lechuga. Cultivos de hojas. Pag 123 – 127. 2008

GAXIOLA, A., ARMESTO, J.J. COMPETENCIA. En: Del Val E., Boege, K. (eds.), Ecología y Evolución de las Interacciones Bióticas, pp. 15-42, UNAM y FC, México. 2012

GRANADA TORRES, C. A., & PRADA MILLÁN, Y. Evaluación del lixiviado agroecológico como acondicionador del suelo en cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) variedad crespa verde. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 7(1), 47–57. 2016. [En línea]. Disponible en: <https://doi-org.acceso.unicauca.edu.co/10.22490/21456453.1534>

GRANVAL, N., Y GRAVIOLA. J. Manual de producción de Semillas Hortícolas-Lechuga. Asociación Cooperadora de la Estación Experimental Agropecuaria La Consulta, Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Argentina, 82 pp. Handboek Meststoffen NMI. (1995). p. 29. ISBN 90 5439 023 9. 1991

GRECH HERNÁNDEZ, C. Evaluación del crecimiento y contenido de clorofilas, carbohidratos y lípidos en cultivo de invierno de *Lactuca sativa* l. fertilizado con abonos orgánicos (Pregrado). Universitat Politècnica de Catalunya BarcelonaTech. UPC. 2020

GOLDSTEIN, ALAN AND KRISHNARAJ, P. Phosphate solubilizing microorganisms vs. phosphate mobilizing microorganisms: what separates a phenotype from a trait In: First International meeting on microbial phosphate solubilization: Springer, Dordrecht, p. 203–213. 2007

GONZÁLEZ-CHÁVEZ M. Recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. *TERRA Latinoamericana*, 23(1): 29-37. 2005

GUO, DPAND SUN, YZ. Estimación del área foliar de tallo de lechuga (*Lactuca sativa* var angustana) a partir de mediciones lineales. *Revista india de ciencias agrícolas* 71 (7): 483-486. 2001

GUZMÁN ARROYAVE, O., JARAMILLO NOREÑA, M., AGUILAR, J., ESPITIA MALAGÓN, P., TAMAÑO MOLANO, E., Y ARGÜELLO, P. Modelo tecnológico

para el cultivo de lechuga en el oriente antioqueño. AGROSAVIA. 2014. [En línea]. Disponible en: <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13758>

HANEY, C. H., SAMUEL, B. S., BUSH, J., AUSUBEL, F. M. Associations with rhizosphere bacteria can confer an adaptive advantage to plants. *Nat. Plants*, 1: 1-9. 2015

HARMAN, G. Overview of mechanisms and uses of *Trichoderma* spp. *Phytopath.* 96:190-194. 2006

HAVLIN. J.L.; TISDALE, S.L.; NELSON W.L.; BEATON, J;D. Soil fertility and Fertilizers: An introduction to nutrient management. 8a. Ed. New Jersey: Pearson. 516 p. 2014

HOITINK, H., MADDEN, L., Y DORRANCE, A. Systemic resistance induced by *Trichoderma* spp.: Interactions between the host, the pathogen, the biocontrol agent, and soil organic matter quality. *Phytopath.* 96:186-189. 2006

HOLDRIDGE, L. R. Ecología basada en zonas de vida (1.<sup>a</sup> ed., p. 19). — San José, Costa Rica: Matilde de la Cruz. 1982

HOWELL, C. R. Mechanisms Employed by *Trichoderma* Species in the Biological Control of Plant Diseases: The History and Evolution of Current Concepts. *Plant Disease: Vol. 87 N° 1. P. 4 - 10.* 2003

HUBER, D.M. Introduction. pp. 1-8. In: A.W. Engelhard (ed.). *Soilborne plant pathogen: management of disease with macro and microelements.* APS Press. St. Paul, Minnesota. 1989

IBÁÑEZ, J. Microorganismos Eficientes o Efectivos (EM) y Rehabilitación de Suelos. 2011. [En línea]. Disponible en: <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2011/03/02/137556>

Illmer P, Schinner F. Solubilization of inorganic calcium phosphates-solubilization mechanisms. *Soil Biol Biochem* 27: 257-263. 1995.

IMBAQUINGO, V. Análisis productivo y económico del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) mediante la aplicación de tres niveles de compost, en la parroquia san pablo, provincia Imbabura. Tesis de grado ingeniería en administración y producción agropecuaria. Loja, Ecuador. 2013

INFANTE, DANAY, MARTÍNEZ, B, GONZÁLEZ, NOYMA, & REYES, YUSIMY. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Revista de Protección Vegetal*, 24(1), 14-21. 2009. [En línea]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1010-27522009000100002&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1010-27522009000100002&lng=es&tlng=es).

INTAGRI. El Magnesio en el Suelo y su Efecto en las Raíces. 2022. INTAGRI website. [En línea]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/suelos/el-magnesio-en-el-suelo-y-su-efecto-en-las-raices>

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO -ICA. Manejo fitosanitario del cultivo de hortalizas. 2012. [En línea]. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/getattachment/bb883b42-80da-4ae5-851f-4db05edf581b/Manejo-fitosanitario-del-cultivo-de-hortalizas.aspx>

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO -ICA. Manual para elaboración de protocolos para ensayos de eficacia con pqua. ICA. 2015. [En línea]. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos/manual-protocolos-ensayos-eficacia-pqua-1.aspx>

INSTITUTO COLOMBIANO AGROPECUARIO (ICA) Y CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL (CCI). Mis buenas prácticas agrícolas, Guía para agroempresarios. Bogotá D.C. 2009. [En línea]. Disponible en: <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/inocuidad-agricola/capacitacion/cartillabpa.aspx>

PÉREZ, J. Test de Duncan. 2013. [En línea]. Disponible en: <https://jllosperez.com/2013/01/28/test-de-duncan/#:%7E:text=El%20Test%20de%20Duncan%20es,medias%20mediante%20la%20t%C3%A9cnica%20ANOVA>

JACKSON, L., MAYBERRY, K., LAEMMLEN, F., KOIKE, S., SCHULBACH, K., Y CHANEY, W. "La producción de lechuga de hoja en California", University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 7216 Spanish, Oakland, California, USA. 1999. [En línea]. Disponible en: <http://vric.ucdavis.edu/selectnewcrop.lettuce.htm>

JARAMILLO NOREÑA, J., AGUILAR AGUILAR, P., ESPITIA MALAGÓN, E., TAMAÑO MOLANO, P., ARGÜELLO TOVAR, J., Y GUZMÁN ARROYAVE, M.

Modelo tecnológico para el cultivo de lechuga en el Oriente Antioqueño. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica). 2014

JIMENEZ, A., GUERRERO, A., GARCIA, E., & CARRILLO, E. Producción de biomasa total, rendimiento y composición de la semilla de *jatropha curcas* L. con diferentes dosis de fertilización. *Interciencias*, 44(9). 2019. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/339/33961096005/html/>.

Kwaśna, H. Sierota, Z. Comunidades fúngicas en suelo en barbecho antes y después de enmendar con aserrín de pino. , 14(2), 0–182. doi:10.1016/s0929-1393(00)00044-5. 2000.

KLICH MA. Identification of Common *Aspergillus* Species. First edition. Centra albureau voor Schimmel cultures, Utrecht. The Netherlands. 2002

KUMAR A., & VERMA JP. Does plant microbe interactions confer stress tolerance in plants: a review *Microbiol. Res.* 207, 41–52. 2018

KREBS, C. Ecología: Estudios de la distribución y abundancia. Harla.México.753 p. 1985

LAMED R, BAYER EA. The cellulosome of *Clostridium thermocellum*. *Advances in Applied Microbiology* 33: - 46. 1988

LAMBERS, H., PONS, T. L., & CHAPIN, S. Plant physiological ecology 2nd edition. New York: Springer Verlag. 2008

LEE, S. M. Y A. CHAO. Estimating population size via sample coverage for close capture-recapture models. *Biometrics* 50:88-97. 1994

LEÓN, S., Y RODRÍGUEZ, S. Ciencia, tecnología y ambiente en la agricultura colombiana. Bogotá: Instituto Latinoamericano de Servicios Legales Alternativos (ILSA). 2002. [En línea]. Disponible en: <http://ilsa.org.co:81/biblioteca/dwnlds/ctyj/CTYJ04/CTYJ04.PDF>

LESLIE, H., Y POLLARD, L. Vegetable and Flower Seed Production. New York and Toronto, Blakiston. 1954

LOOR, M. J. B., & ZAMBRANO, L. J. S. Evaluación de la eficiencia de comunidades de hongos micorrízicos arbusculares. *Pro Sciences: Revista de Producción, Ciencias e Investigación*, 2(15), 1-7. 2018

LOARTE, L, APOLO, V, & ÁLVAREZ, P. Efecto del tiempo de maduración y de microorganismos eficientes en el contenido nutricional del bocashi. *CEDAMAZ*, 8(1), 30–36. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/cedamaz/article/view/570>.

LUNA FEIJOO, M., Y MESA REINALDO, J. Microorganismos eficientes y sus beneficios para los agricultores. *Revista científica Agroecosistemas [seriada en línea]*, 4 (2), 31-40. 2016. [En línea]. Disponible en: <http://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/index>

MACETO HUERTO PASO A PASO. Maceta de lechuga. 2014. [En línea]. Disponible en: <http://macetohuertopasoapaso.blogspot.com/2011/04/lechuga.html>

MAGURRAN, A. E. *Ecological diversity and its measurement*. Princenton Univ. Londres. 179 pp. 1988

MALDONADO JM, RAMÍREZ GA. Efecto de la inoculación con hongos micorrizógenos en almácigos de café (*coffea arábica*) Variedad Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Tesis, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Medellín, 1997, pp. 3 – 83. 1997

MARSCHNER, H. *Mineral nutrition of higher plants*. 2nd edition. Academic Press, London. 1995

MANRIQUE, L. A., BARTHOLOMEW, D. P. Growth and yield performance of potato grown at three elevations in Hawaii: II. Dry matter production and efficiency of partitioning. *Crop Sci*. 31. 1991

MARTÍNEZ PÉREZ, Z. Algunos aspectos epidemiológicos del moho blanco de la lechuga en dos municipios productores de Cundinamarca. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana. 2008

MARSCHNER, P., & TIMONEN, S. Interactions between plant species and mycorrhizal colonization on the bacterial community composition in the rhizosphere. *Applied Soil Ecology*. 28:23-36. 2005

MEENA, SUNITA & MEENA, VIJAY. Importance of Soil Microbes in Nutrient Use Efficiency and Sustainable Food Production. 10.1007/978-981-10-5343-6\_1. 2017

MEDINA, F. Necesidades nutricionales y de riego de la lechuga. Granja Agrícola Experimental del Cabildo de Gran Canaria. 2017. [En línea]. Disponible en: <http://anuariosatlanticos.casadecolon.com/index.php/GRANJA/article/view/9945/9461>

MOLINA L, MAURICIO, MAHECHA L, LILIANA Y MEDINA S, MARISOL. Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias.*; 18 (2): 162-175. 2005. ISSN: 0120-0690. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=295022959007>

MONTAÑO ARIAS, N. M., & SÁNCHEZ YAÑEZ, J. M. Nitrificación en suelos tropicales, asunto de competencia microbiana: un modelo basado en la teoría de Lotka-Volterra: *Ecosistemas*, 23(3), 98-104. 2014. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2014.23-3.13>

MONTESDEOCA PACHECO, N. Caracterización física, química y funcional de la Lechuga rizada, para la creación de una norma técnica ecuatoriana, por parte del instituto ecuatoriano de normalización. Quito: Universidad tecnológica equinoccial. 2008

MONTOYA, H. Taxonomía, Clasificación de los seres vivos. Argentina. 1997

MORENO, C. E. Métodos para medir Biodiversidad (1.<sup>a</sup> ed., pp. 41–59). Zaragoza, España: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. Zaragoza, España: Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo. 2001

MOSSE, B. The role of mycorrhiza in phosphorus solubilization GIAM IV. Global impacts of Applied Microbiology. Fourth International Conference. Sao Paulo, Brasil. J. S. Furtado. ed. p. 543-561. 1973

NAMPOOTHIRI, K. MADHAVAN & BAIJU, T.V & SANDHYA, C & ABDULHAMEED, SABU & SZAKACS, GEORGE & PANDEY, ASHOK. Process optimization for antifungal chitinase production by *Trichoderma harzianum*. *Process Biochemistry*. 39. 1583-1590. 10.1016/S0032-9592(03)00282-6. 2004.

NICOL G, LEININGER S, SCHLEPER C., & J PROSSER. The influence of soil pH on the diversity, abundance and transcriptional activity of ammonia oxidizing archaea and bacteria. *Environ. Microbiol.* 10: 2966–2978. 2008

OBERSON A, FRIESEN D, RAO I, BÜHLER S, FROSSARD E. Phosphorus transformations in an oxisol under contrasting land-use systems: The role of the microbial biomass. *Plant and Soil* (237):197-210. 2001

ORNAT C.;SORRIBAS FJ. Manejo integrado de nematodos agalladores en cultivos hortícolas mediterráneos (pp 295-319) En: CIANCIO, A. y MUKERJI, KG Manejo integrado y biocontrol de nematodos en cultivos de hortalizas y cereales. Primera edición Saltador. 389 pág. 2008

OROZCO CORRAL, ALFONSO LUIS, VALVERDE FLORES, MARTHA IRENE, MARTÍNEZ TÉLLEZ, RENÉ, CHÁVEZ BUSTILLOS, CARLOS, & BENAVIDES HERNÁNDEZ, RAMÓN. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado con manzano. *Terra Latinoamericana*, 34(4), 441-456. 2016. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792016000400441&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792016000400441&lng=es&tlng=es).

ORTUÑO, N., J. A CASTILLO, C. MIRANDA, M. CLAROS, AND X. SOTO. The use of secondary metabolites extracted from *Trichoderma* for plant growth promotion in the Andean highlands. *Renewable Agriculture and Food Systems*32: 366-375. 2017. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1017/S1742170516000302>

OSORIO BEDOYA, J., Y LOBO ARIAS, M. Lechuga (No. Doc. 5798)\* CO-BAC, Santafé de Bogotá).1983

OSORIO J., Y LOBO M. Hortalizas. Manual de asistencia técnica No. 28. Instituto Colombiano Agropecuario. 1983

OSORIO, M, VÁZQUEZ, L., SALGADO M. Y GONZÁLEZ, C. Efecto de dos enmiendas orgánicas y *trichoderma* sp. para controlar *Sclerotinia* sp. En Lechuga. 89Rvdo. Chapingo serie horticultura. 11(2).203-208. 2005



OTÁLORA, J. N., SANCHEZ, D. B., & GALINDO, J. R. Efecto de cepas del género *Enterobacter* sp. y *Trichoderma koningiopsis* en el rendimiento de *Lactuca sativa* Var *L. crispa* L. (Pregrado). Universidad de Cundinamarca. 2016

PAREDES-MENDOZA M Y ESPINOSA-VICTORIA D. Ácidos orgánicos producidos por rizobacterias que solubilizan fosfatos: una revisión crítica. *Terra Latinoamericana* 28:61-70. 2010

PARRA, MARÍA V., SOBRERO, MARÍA T., Y PECE, MARTA G. Solarización: Una Alternativa De Control De Malezas Para Viveristas. *Foresta Veracruzana*, 17 (1), 9-16. ISSN: 1405-7247. 2015 [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=497/49742125002>

PAZ NARVÁEZ, I. *Microorganismos del suelo* (1.<sup>a</sup> ed.) Universidad del Cauca. Mario Delgado Noguera. 68 P. 2020

PAZ NARVÁEZ, I., Y MENJIVAR FLORES, J. Efecto del compost en la diversidad de bacterias rizosféricas del cultivo de morera (*Morus alba*). *Revista Colombiana de Biotecnología*, 21(1), 47-55. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://dx.doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.79971>

PECHU SANTISTEBAN, J. M. Efecto de la inoculación de microorganismo eficiente (EM), *Trichocastle* y *Basu* en el crecimiento y rendimiento de la lechuga (*Lactuca sativa* L.) variedad romana en condiciones de azotea Tarma. Peru: Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión. 2019. [En línea]. Disponible en: <http://repositorio.undac.edu.pe/handle/undac/2419>

PEDARZA RO, TEIXEIRA KRS, FERNÁNDEZ A, GARCÍA DE SALAMONE IB, AZCÓN R, VERA LDB Y BONILLA R. Microorganismos que mejoran el crecimiento de las plantas y la calidad de los suelos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 11 (2): 155-164. Doi: 10.21930 / rcta.vol11\_num2\_art: 206. 2010

PEREIRA G, HERRERA J, MACHUCA A, & M SÁNCHEZ. Effect of pH on the in vitro growth of ectomycorrhizal fungi collected from *Pinus radiata* plantations. *Bosque* 28:215-219. 2007

PEREZ, F., Y MARTINEZ, J. *Introducción a la fisiología vegetal*, Mundi Prensa, Madrid-España, 51 – 59 p. 1994

PÉREZ. I, MERIÑO. L, C. ARELIS, RODRÍGUEZ. A, PÉREZ R.M. Características promotoras de crecimiento vegetal en rizobacterias aisladas de suelos contaminados con compuestos fenólicos. 2017. [En línea]. Disponible en: <http://bibliotecavirtual.unad.edu.co:2171/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=0&sid=c12ebd00-8f77-4c54-a65c-ad0207207f70%40sessionmgr4009>

PIEDRAHITA, Ó. A. G., ZAPATA, J. C., & ESTRADA, B. V. Principales nematodos fitoparásitos y síntomas ocasionados en cultivos de importancia económica. Estimación histopatológica del grado de infección inducido por *Stagonospora nodorum* (berk.) castellani & germano en plántulas de trigo (*Triticum aestivum* L.), 38. 2012

POMBOZA T. P.; LEÓN G. O.; VILLACÍS A. L.; VEGA J.; ALDÁZ J. J. Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L. variedad Iceberg. Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad Técnica de Ambato, Tungurahua, Ecuador. *Journal of the Selva Andina Biosphere* ISSN 2308-3867; 84-92 p. 2006

POTASH AND PHOSPHATE INSTITUTE. Manual Internacional de fertilidad de suelos. Norcross, USA. 146 p. 1997

RADJACOMMARE, R., VENKATESAN, S., & SAMIYAPPAN, R. Biological control of phytopathogenic fungi of vanilla through lytic action of *Trichoderma* species and *Pseudomonas fluorescens*. *Phytopathology and Plant Protection*. 43(1):1-17. 2010

RAMÍREZ, M. Tecnología de microorganismos efectivos (EM) aplicada a la agricultura y medio ambiente sostenible (tesis de posgrado). Universidad industrial de Santander, Bucaramanga. 2006

RAMÍREZ, J., ROSAS, P., VELÁSQUEZ, M, ULLOA, J., Y ARCE, F. Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud. 2011. [En línea]. Disponible en: <http://fuente.uan.edu.mx/publicaciones/03-07/1.pdf>

RAMOS, E.Y.A., R.I.Z. NAVARRO, L.E.O. ZUMAQUÉ, Y J.L.B. VIOLETH. Evaluación de sustratos y procesos de fermentación sólida para la producción de esporas de *Trichoderma* sp. *Revista Colombiana de Biotecnología* X(2):23-34.2008.

RIPANTI, F., CALDERON, G., VILORIA, M., & PERRIN, R. Basamid Y Formol En El Control De Fusarium Sp. En Viveros Forestales. *Agricultura Andina*- Volumen 1, 11. 2006. [En línea]. Disponible en: <http://www.revencyt.ula.ve/storage/repo/ArchivoDocumento/agri/n11/art7.pdf>

ROBIN, C. C, ANZIANI, AND P, CORTESI. Relationship between biological control, incidence of hypovirulence, and diversity of vegetative compatibility types of *Cryphonectria parasitica* in France. *Phytopathology* 90: 730–737. 2000

RODRÍGUEZ, C. Effectiveness species of *Gliocadium*, *Paecilomyces* and *Verticillium* for control of *Meloidogyne arenaria* in field soil. *Nematropica*. 14(2):155-170. 1984

RODRÍGUEZ, M. Microorganismos eficientes (EM). 2009. [En línea]. Disponible en: <http://aia.uniandes.edu.co/documentos/articulo%20em%20manuel%20r..pdf>

ROS, M., I. RODRÍGUEZ, C. GARCÍA, AND T. HERNÁNDEZ. Microbial communities involved in the bioremediation of an aged recalcitrant hydrocarbon polluted soil by using organic amendments. *Bioresour. Technol.* 101: 6916-6923. 2010

RUIZ CISNEROS, MARÍA FERNANDA, ORNELAS PAZ, JOSÉ DE JESÚS, OLIVAS OROZCO, GUADALUPE ISELA, ACOSTA-MUÑIZ, CARLOS HORACIO, SEPÚLVEDA AHUMADA, DAVID ROBERTO, PÉREZ CORRAL, DANIEL ALONSO, RÍOS VELASCO, CLAUDIO, SALAS MARINA, MIGUEL ÁNGEL, & FERNÁNDEZ PAVÍA, SYLVIA PATRICIA. Efecto de *Trichoderma spp.* y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(3), 444-456. 2018. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1804-5>.

SALISBURY FB, ROSS CW. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamérica. México DF. pp. 319-338. 1992

SAMSON, R. A., VARGA, J. *Aspergillus systematics in the genomic era*, CBS Fungal Utrecht: Biodiversity Centre, ISBN: 978-90-70351-69-4.2007.

SANDLE, T. *Trichoderma*. p. 644-646. En C.A. Batt y M.-L. Tortorello (eds.) *Encyclopedia of Food Microbiology*, London, UK. 2014.

SANTNER, A.; CALDERON VILLALOBOS, A. Y ESTELLE, M. Plant hormones are versatile chemical regulators of plant growth. *Nature chemical biology*, vol. 5, no. 5, pp. 301–307, ISSN 1552-4450, 1552-4469. 2009

SHANNON CE, WEAVER W. The mathematical theory of communication. University of Illinois Press. Urbana, IL, EEUU. 144 pp. 1949

SHARMA, V., R. SALWAN, AND P.N. SHARMA. The comparative mechanistic aspects of *Trichoderma* and probiotics: scope for future research. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 100:84-96. 2017

SCHLATTER, D., KINKEL, L., THOMASHOW, L. Disease suppressive soils: new insights from the soil microbiome. *Phytopathology*, 107 (11): 1284-1297. 2017

SCHEPERS, J. S., BLACKMER, T. M., WILHELM, W. W., RESENDE, M. Transmittance and reflectance measurements of corn leaves from plants with different nitrogen and water supply. *Journal of Plant Physiology*, 148(5), 523-529. 1996

SHERRY, R. A., ZHOU, X. H., & GU, S. L. Divergence of reproductive phenology under. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United*, 104, 198-202. 2007

SCHOCH, C. L., SEIFERT, K., HUHNDORF, S., ROBERT, V., SPOUGE, J. L., LEVESQUE, C. A. Nuclear ribosomal internal transcribed spacer (ITS) region as a universal DNA barcode marker for Fungi. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 109, 6241–6246. 2012

SPATAFORA, J.W, CATHERINE AIME, M, GRIGORIEV, I.V., MARTIN, F., STAJICH, J.E. & BLACKWELL, M. The fungal tree of life: from molecular systematics to genome-scale phylogenies. *Microbiology Spectrum*, 5, 1-32. Doi:10.1128/microbiolspec.FUNK-0053-2016. 2017.

STRICKLAND M., & J ROUSK. Considering fungal: bacterial dominance in soils e Methods, controls, and ecosystem implications. *Soil Biol. Biochem.* 42. 1385-1395. 2010

SEMPRECOL. Fcha técnica de S. S. S. hortalizas. 2022. SAKATA website. 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.sakata.com.br/es/hortalizas/hojas/lechuga/crespa/vera>.

SERRANO CÁNOVAS, R. Mecanismos de adaptación de *Saccharomyces cerevisiae* a la alcalinización ambiental. Tesis Doctoral. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona. 2009

SIDDIQUI, Z., Y AKHTAR, M. Synergistic effects of antagonistic fungi and a plant growth promoting rhizobacterium, an arbuscular mycorrhizal fungus, or composted cow manure on populations of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. *Biocontrol Sci. Techn.* 18(3):279-290. 2008

SIAP. Lechuga. 2012. [En línea]. Disponible en: [http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com\\_content&view=article&id=190&Itemid=82](http://www.siap.gob.mx/index.php?option=com_content&view=article&id=190&Itemid=82) (Revisado 20 diciembre del 2020).

SICARD LEÓN T., Y LILIANA RODRIGUEZ SÁNCHEZ. Cuaderno Tierra y Justicia No 4, Ciencia, Tecnología Y Ambiente En La Agricultura Colombiana, Editorial: Ilsa. Colombia. 2002

SYLVIA, D., J. FUHRMANN, D. ZUBERER Y P. HARTEL. Principles and applications of soil microbiology. 2<sup>nd</sup>ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, N.J. 2004

SINGH, J.S.; PANDEY, V.C.; SINGH, D.P. Efficient soil microorganisms: A new dimension for sustainable agriculture and environmental development. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 140: 339-353. 2011

Shirai, K., Guerrero, I., y Lara, P. (1996). Bacterias lácticas en alimentos fermentados. *Ciencia.* 47: 125-137.

SUQUILANDA, M. Agricultura orgánica. Alternativa tecnológica del futuro. Fundación para el desarrollo agropecuario (FUNDAGRO). 1996

TAYLOR, THOMAS N. *Hongos fósiles Glomeromycota.*, 103-128. doi:10.1016/b978-0-12-387731-4.00007-4. 2015.

TALAVERA. R. M. Manual De Nematología Agrícola. Introducción al análisis y al control nematológico para agricultores y técnicos de agrupaciones de defensa vegetal. Instituto de formación agraria y pesquera. Brasil. 23p. 2003

TANYA MOROCHO, M., Y LEIVA MORA, M. Microorganismos eficientes, propiedades funcionales y aplicaciones agrícolas. *Centro Agrícola*, 46(2), 93-103.

2019. [En línea]. Disponible en:  
[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0253-57852019000200093&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0253-57852019000200093&lng=es&tlng=es).

THOMSON B, OSTLE N, MCNMARA N, BAILEY M, WHITELEY A, GRIFFITHS R. Vegetation affects the relative abundances of dominant soil bacterial taxa and soil respiration rates in an upland grassland soil. *Microbial Ecology* 59:335-343. 2010

TORO CASTAÑO, D. R. La Biodiversidad Microbiana Del Suelo, Un Mundo Por Descubrir. Manizales: Universidad de Caldas. 2004. [En línea]. Disponible en:  
[http://vip.ucaldas.edu.co/lunazul/downloads/Lunazul19\\_5.pdf](http://vip.ucaldas.edu.co/lunazul/downloads/Lunazul19_5.pdf)

TORSVIK, V. Y L. OVREAS. Microbial diversity and function in soil: from genes to ecosystems”, en *Ecology Industrial Microbiol* 5:240-244. 2002

UL HASSAN, Z., AL THANI, R., ATIA, F. A., ALSAFRAN, M., MIGHELI, Q., & JAOUA, S. Application of yeasts and yeast derivatives for the biological control of toxigenic fungi and their toxic metabolites. *Environmental Technology & Innovation*, 22, 101447. 2021. [En línea]. Disponible en:  
<https://doi.org/10.1016/j.eti.2021.101447>

UREÑA HUIZAR, A., Y CAMPOVERDE GUTIERREZ, P. Efecto de biofertilizantes en la producción de Lechuga. Uroapán Michoacán: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 2010

VACHERON, J., Desbrosses, G., Bouffaud, M. L. Plant growth-promoting rhizobacteria and root system functioning. *Front. Plant Sci*, 4: 356. 2013

VALADEZ, A. Producción de hortalizas. México, Noriega Editores, 298 pp. 1997

VALDIVIESO UGARTE, M. Obtención y caracterización de cepas de *Saccharomyces cerevisiae* superproductoras de glutación. Granada: Universidad de Granada. 2013

VALENZUELA FLORES, E. Observación de etanol producido por levaduras de pino y palmera. Tesis de Diploma. Universidad Austral de Chile. Santiago de Chile: Escuela de Química y Farmacia. 2012

VALLEJO CABRERA, F., Y ESTRADA SALAZAR, E. producción de hortalizas de clima cálido (revisado ed., Vol. 1). 2004. [En línea]. Disponible en:

<http://www.uneditorial.net/uflip/Produccion-de-hotalizas-de-clima-calido/pubData/source/Produccion-de-hotalizas-de-clima-calido.pdf>

VÁSQUEZ, S., SUÁREZ, H., Y ZAPATA, B. Utilización de sustancias antimicrobianas producidas por bacterias ácido lácticas en la conservación de la carne. *Revista Chilena de Nutrición*, 36(1): 64-71. 2009

VELA RODRIGUEZ, B. “Respuesta A La Aplicación De Gallinaza Y Vacaza Enriquecidas Con Microorganismos Eficientes Sobre La Produccion De Lechuga (Lactuca Sativa L. - Variedad Great Lakes 659) En El Centro De Producción De La Unu” (Pregrado). Universidad Nacional De Ucayali Facultad De Ciencias Agropecuarias Escuela Profesional De Agronomía. 2018

VELEZ, S. “Símbolo y búsqueda de lo primitivo”. Obtenido de LA GUADUA ANGUSTIFOLIA “El Bambú Colombiano”: [https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/06\\_ESD\\_Cos\\_pp\\_35\\_81.pdf](https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/93442/06_ESD_Cos_pp_35_81.pdf). 2018.

VILLAMIZAR, L.; MORENO, C.; PARIS, A.; COTES, A.; GARZÓN, C. Development of biopesticide prototypes for controlling pathogens in vegetables. En: *Diseases Biocontrol. International Workshop: Development of biocontrol agents of diseases for commercial applications in food productions systems. Book of abstracts*. Sevilla, España. Ediciones de la UdL. pp. 136. 2004

WAN, W. J., J. TAN, Y. WANG, Y. QIN, H. HE, H. WU, W. ZUO, AND D. HE. Responses of the rhizosphere bacterial community in acidic crop soil to pH: Changes in diversity, composition, interaction, and function. *Sci Total Environ*. 697: 134418. 2019. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134418>.

WHITAKER, Y RYDER. *La lechuga y su producción*. México: Departamento de Agricultura. 1964

WHITTAKER, R. H. Evolution and Measurement of Species Diversity *Taxon*, 21(2/3), 213–251. 1972. [En línea]. Disponible en: <https://doi.org/10.2307/1218190>

YEDIDIA, I.; BENHAMOU, N. AND CHET, I. Induction of defense in cucumber plants (*Cucumis sativas L.*) by the biocontrol agent *Trichoderma harzianum*. *Appl. Environ. Microbiol.* 65: 1061 - 1070. 1999

ZHAO, S., LI, K., ZHOU, W., QIU, S., HUANG, S., HE, P. Cambios en la comunidad microbiana del suelo, actividades enzimáticas y fracciones de materia orgánica bajo retorno de paja a largo plazo en el centro-norte de China. *Agri Ecos Reinar*. 216, 82-88. 2016

ZOPPOLO, R., FAROPPA, S., Y BELLENDIA, B. Manual de hortalizas. (No 1). INIA OPS. 2008. [En línea]. Disponible en: [https://www.paho.org/uru/index.php?option=com\\_docman&view=download&category\\_slug=publicaciones-promocion-de-la-salud&alias=176-alimentos-en-la-huerta&Itemid=307](https://www.paho.org/uru/index.php?option=com_docman&view=download&category_slug=publicaciones-promocion-de-la-salud&alias=176-alimentos-en-la-huerta&Itemid=307)



## 9. ANEXOS

### Anexo 1. ANOVA para la variable altura en etapa de roseta

Fuentes De Variación	G.L	S. C	C.M	Fc	
Bloques	3	1,73	0,87	0,55	3,86
Tratamientos	3	2,39	1,20	0,76	3,86
Error	9	6,27	1,57		
Total	15	10,39			

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

### Anexo 2. ANOVA para la variable altura en etapa de acogollado

Fuentes De variación	G.L	S. C	C.M	Fc	Ft
Bloques	3	1,98	0,99	0,55	3,86
Tratamientos	3	0,63	0,31	0,17	3,86
Error	9	7,24	1,81		
Total	15	9,86			

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

### Anexo 3. Resultados del ANOVA en la variable longitud de hojas en etapa de roseta

Fuentes De variación	G.L	S. C	C.M	Fc	Ft
Bloques	3	0,043	0,022	0,02	3,86
Tratamientos	3	2,157	1,078	1,17	3,86
Error	9	3,691	0,923		
Total	15	5,891			

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

**Anexo 4.** Resultados del ANOVA en la variable longitud de raíces en etapa final de acogollaje

Fuentes De variación	G.L	S. C	C.M	Fc	Ft
Bloques	3	2,625	1,312	0,29	3,86
Tratamientos	3	0,622	0,311	0,07	3,86
Error	9	17,943	4,486		
Total	15	21,189			

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

**Anexo 5.** Resultados del ANOVA en la variable contenido de clorofila

Fuentes De variación	G.L	S. C	C.M	Fc	Ft
Bloques	3	0,027	0,013	0,20	3,86
Tratamientos	3	0,818	0,409	6,16	3,86
Error	9	0,265	0,066		
Total	15	1,110			

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

**Anexo 6.** Resultados del ANOVA en la variable plagas y enfermedades (% plantas afectadas por hongo patógeno)

Fuentes De variación	G.L	S. C	C.M	Fc	Ft
Bloques	3	165,07	82,54	4,79	3,86
Tratamientos	3	1360,91	680,45	39,51	3,86
Error	9	68,89	17,22		
Total	15	1594,87			

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

**Anexo 7.** Resultados del ANOVA en la variable plagas y enfermedades (% hojas afectadas por hongo patógeno)

Fuentes De variación	G.L	S. C	C.M	Fc	Ft
Bloques	3	4,16	2,08	1,48	3,86
Tratamientos	3	23,24	11,62	8,23	3,86
Error	9	5,64	1,41		
Total	15	33,06			

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

**Anexo 8.** Resultados del ANOVA en la variable plagas y enfermedades (Nematodos).

Fuentes De variación	G.L	S. C	C.M	Fc	Ft
Bloques	3	26,25	13,13	1,01	3,86
Tratamientos	3	1250,00	625,00	48,19	3,86
Error	9	51,88	12,97		
Total	15	1328,13			

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

**Anexo 9.** Resultados del ANOVA en la variable biomasa aérea

Fuentes De variación	G.L	S. C	C.M	Fc	Ft
Bloques	3	920,66	460,33	0,41	3,86
Tratamientos	3	37,35	18,68	0,02	3,86
Error	9	4525,67	1131,42		
Total	15	5483,68			


Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

**Anexo 10. Resultados del ANOVA en la variable biomasa raíces**

Fuentes De variación	G.L	S. C	C.M	Fc	Ft
Bloques	3	0,18	0,09	0,005	3,86
Tratamientos	3	5,06	2,53	0,134	3,86
Error	9	75,44	18,86		
Total	15	80,68			

Gl: grados de libertad; SC: suma de cuadrados; CM: media cuadrada

**Anexo 11. Analisis de suelo inicial**

		Nombre: IVAN ENRIQUE PAZ NARVAEZ Finca: LA REJOYA Vereda: LA REJOYA Municipio: POPAYAN Departamento: CAUCA Celular: 3104986860		Día _____ Mes _____ Año 2021 Fecha Ingreso: _____ Fecha de Entrega: _____																		
		<b>RESULTADOS DEL ANALISIS</b>																				
N°	Codigo Lab.	Prof. (cm)	pH	N-total	M.O			P	Sat Al	Al	Ca	Mg	K	Na	C/Ce	B	Cu	Fe	Mn	Zn	Co	Mo
					1-1000	1001-2000	2001-3000															
48233		20cm	5,88	0,82	12,55	0,00	4,37	0,00	0,00	1,95	1,91	0,39	0,14	3,90	0,61	0,09	1,76	2,41	0,82	0,30	0,25	
			D				F			D	D	C	F	F	A	F	F	D	F	F	F	F

**CONSULTE AL AGRONOMO DE ASISTENCIA TECNICA PARA SELECCIONAR LOS FERTILIZANTES, METODOS Y EPOCAS DE APLICACION**

**Interpretación de los resultados:** A: Contenido "total" u otro tipo de extracto; B: Contenido "sólido" u extracto; C: Contenido "total" u extracto; D: Contenido "total" u extracto; E: Valor "total" u extracto

Para pH: A: Acidez; B: Neutral; C: Ligera alcalinidad; D: Moderada alcalinidad; E: Fuerte alcalinidad; F: Hipoclorito

Para M.O: A: Alto; B: Medio; C: Bajo

N°	Cod. Lab.	Cultivo	TEXTURA: SI FRANCO ARENOSO
		ESTABLECER CULTIVO DE LECHUGA SATIVA VARIEDAD VERA. NO HA APLICADO CAL NI FERTILIZANTES QUÍMICOS NI FERTILIZANTES ORGÁNICOS. CULTIVO ANTERIOR FRÍJOL.	EVIDENCIA DE CENizas VOLCÁNICAS: SI
			T = TIRAZAS

**INTERPRETACION**

El pH de la muestra corresponde a un suelo de acidez media - moderadamente ácido que presenta baja solubilidad de P y regular disponibilidad de Mg con bajas disponibilidades de Ca. A pesar de presentar medias disponibilidades de magnesio y de potasio, la capacidad de intercambio catiónica efectiva es bastante baja respecto de la textura del suelo. Se debe mejorar las disponibilidades de elementos mayores y menores respecto de las disponibilidades de suelo, los requerimientos del cultivo, la textura del suelo y el clima medio de la zona.

RECOMENDACION FERTILIZACION				
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO
287	133		183	


**CONVENCIONES**

- Baja disponibilidad
- Medía disponibilidad
- Alta disponibilidad

**Notas:** No hay presencia de Carbonatos de Calcio CaCO<sub>3</sub>  
 Esta recomendación puede ser ajustada por el técnico asesor.  
 Los resultados obtenidos son válidos únicamente para la muestra analizada y la misma fue tomada por personal ajeno a Laboratorio

Carretera 6 calle 22h Obras Publicas Departamentales. Tel: 3216342804 - 3253364413  
 E-mail: laboratorio.suelos@cauca.gov.co

Analista: Viviana Muñoz  
 Babazon: Piedad Patricia Fernández  
 Recomendado: Ana María Pinilla O

  
 VdBa




## Anexo 12. Análisis de suelo final lechuga más tratamiento



CODIGO LABORATORIO		Prof. (cm)	pH [1]:[2]	N-tota	M.O			P	Sat Al	Al	Ca	Mg	K	Na	ClCe	B	Cu	Fe	Mn	Zn
					0-1000	1001-2000	2001-3000	(ppm)	(%)	(meq/100g)						(ppm o mg/kg)				
N° 49054		20	5,28	0,54	10,73			4,76	5,81	0,20	1,72	0,92	0,46	0,14	3,44	0,29	0,32	2,29	2,16	0,19
CULTIVO		<b>TEXTURA= 08 FRANCO-ARENOSO</b> <b>EVIDENCIA DE CENIZAS VOLCANICAS: SI</b>																		
MEJORAR LECHUGA EDAD: 120 DIAS ABRN: 1900 DEN: 2800 FERTILIZA CON ABONO ORGANICO BLOQUE 1.		<b>INTERPRETACION</b> El pH es fuertemente ácido. Estos suelos se caracterizan por presentar posible toxicidad de aluminio y/o de manganeso y tener deficiencias de P, Ca, Mg y K. El porcentaje de materia orgánica está en el rango alto para el clima y altos aportes de nitrógeno disponible. La muestra presenta algunas características como la baja disponibilidad de Fósforo, Calcio, Magnesio, presenta valores de disponibilidad de Potasio en el rango alto. La relación Ca/Mg/K se encuentra desbalanceada, por lo tanto se debe considerar en el plan de fertilización proponer las cantidades que den respuesta al requerimiento del cultivo y balancear el aporte de los elementos para el óptimo desarrollo del mismo. Respecto de los elementos menores hay disponibilidad alta de boro, media de manganeso, los restantes elementos menores se encuentran en el rango bajo. Se recomienda además realizar buenas prácticas de manejo del suelo para incrementar la cantidad de materia orgánica que ayude a sostener la disponibilidad de los nutrientes. Presenta saturación y presencia de Aluminio que no afectan el desarrollo del cultivo, los valores de aluminio en el rango inferior de 1 meq/100 gr. no limita la disponibilidad de otros nutrientes. La sumatoria de las bases mayores presenta un valor bajo respecto de la textura (3,44); la ClCe es calificada para la textura y el clima dentro del rango bajo. En general y de acuerdo a los resultados el suelo presenta una fertilidad baja.																		
Nutrientes puros en Kg/Ha/Año		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO														
		50	140																	
Acidez intercamb: KC 1N, M.O: Walkley & Black. P: Bray II. Ca, Mg, K y Na: AcOH4 1N pH882 Cu, Fe, Zn, Mn: Doble Acido. B: Absorcion Atomica y/o Azometin.		<b>CONVENCIONES</b> ■ Baja disponibilidad ■ Media disponibilidad ■ Alta disponibilidad																		
Analista: Viviana Muñoz Elaboró: Juan Manuel Nates Tenorio Interpretó: Fabio A. Prado C		Nota: No hay presencia de Carbonatos de Calcio CaCO <sub>3</sub> Esta recomendación puede ser ajustada por el técnico asesor. Los resultados obtenidos son válidos únicamente para la muestra analizada y la misma fue tomada por personal ajeno al Laboratorio Carrera 6 calle 22N Obras Publicas Departamentales. Tel: 3216343804 - 3053364413 E-mail: laboratorio.suelos@cauca.gov.co																		

Carrera 6 calle 22N Obras Publicas Departamentales. Tel: Laboratorio (2)8237893 Telefax SADR (2)8231043E-mail: laboratorio.suelos@cauca.gov.co

## Anexo 13. Análisis de suelo final con presencia de Lechuga sin aplicación

 Gobernación del Cauca Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural		Nombre: ANYI TATIANA BANGUERA Finca: LA REJOYA Municipio: POPAYAN Departamento: CAUCA Celular: 3217084307		Día: 29 Mes: 3 Año: 2022		 Año: 2022													
		Fecha Ingreso: 25 Fecha de Entrega: 25		Mes: 5 Año: 2022															
RESULTADOS DEL ANALISIS																			
CODIGO LABORATORIO	Prof. (cm)	pH [1]:[2]	N-tota	M.O			P (ppm)	Sat Al (%)	Al	Ca	Mg	K	Na	ClCe	B	Cu	Fe	Mn	Zn
				0-1000	1001-2000	2001-3000													
Nº 49055	20	5,50	0,34	6,89	3,31	0,00			2,39	1,19	0,54	0,26	4,38	0,37	0,46	2,37	2,10	0,20	
CULTIVO			TEXTURA= 06 FRANCO EVIDENCIA DE CENIZAS VOLCANICAS: SI																
MEJORAR LECHUGA EDAD: 120 DIAS ASIM: 1000 DEN: 28x30 FERTILIZA CON ABONO ORGANICO BLOQUE 3.			INTERPRETACION El pH es fuertemente ácido. Estos suelos se caracterizan por presentar posible toxicidad de aluminio y/o de manganeso y tener deficiencias de P, Ca, Mg y K. El porcentaje de materia orgánica está en el rango alto para el clima con altos aportes de nitrógeno disponible. La muestra presenta algunas características como la baja disponibilidad de Fósforo, Calcio, Magnesio, presenta valores de disponibilidad de Potasio en el rango alto. La relación Ca:Mg:K se encuentra desbalanceada, por lo tanto se debe considerar en el plan de fertilización proponer las cantidades que den respuesta al requerimiento del cultivo y balancear el aporte de los elementos para el óptimo desarrollo del mismo. Respecto de los elementos menores hay disponibilidad alta de boro, moderada de manganeso, los retantes elementos menores se encuentran en el rango bajo. Se recomienda además realizar buenas prácticas de manejo del suelo para incrementar la cantidad de materia orgánica que ayude a sostener la disponibilidad de los nutrientes. No presenta saturación y presencia de Aluminio que afecten el desarrollo del cultivo, no limita la disponibilidad de otros nutrientes. La sumatoria de las bases mayores presenta un valor bajo respecto de la textura (4,38); la ClCe es calificada para la textura y el clima dentro del rango bajo. En general y de acuerdo a los resultados el suelo presenta una fertilidad baja.																
Nutrientes puros en Kg/Ha/Año			CONVENCIONES Baja disponibilidad Media disponibilidad Alta disponibilidad																
N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO															
50	174																		
Acidez Intercamb: KCl 1N, M.O. Walkley & Black. P: Bray II. Ca, Mg, K y Na: AcOH#4 1N pH:882 Cu, Fe, Zn, Mn: Doble Acido. B: Absorción Atómica y/o Azometin.			Notas: No hay presencia de Carbonatos de Calcio CaCO3 Esta recomendación puede ser ajustada por el técnico asesor. Los resultados obtenidos son válidos únicamente para la muestra analizada y la misma fue tomada por personal ajeno al Laboratorio Carrera 6 calle 22N Obras Públicas Departamentales. Tel: 3218343804 - 3053364413 E-mail: laboratorio.suelos@cauca.gov.co																
Analista: Viviana Muñoz Elaboró: Juan Manuel Nates Tenorio Interpretó: Fabio A. Prado C			 VoBo																