

**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TEMA

**Uso de *Bacillus subtilis* para el control de la sigatoka negra
(*Micosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano en el sector
de La Troncal-Cañar**

AUTOR

Alcoser Bonifaz José Andrés

**Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de
INGENIERO AGROPECUARIO**

TUTOR

Ing. Llerena Hidalgo Ángel Bernardo, Ph. D.

**Guayaquil, Ecuador
Septiembre del 2021**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certificamos que el presente **trabajo de titulación**, fue realizado en su totalidad por **Alcoser Bonifaz José Andrés**, como requerimiento para la obtención del título de **Ingeniero Agropecuario**.

TUTOR (A)

f. _____
Ing. Llerena Hidalgo Ángel Bernardo, Ph. D.

DIRECTOR DE LA CARRERA

f. _____
Dr. Franco Rodríguez, John Eloy, Ph.D.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2021



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Alcoser Bonifaz José Andrés**

DECLARO QUE:

El trabajo de titulación, **Uso de Bacillus subtilis para el control de la sigatoka negra (Micosphaerella fijiensis) en el cultivo de banano en el sector de La Troncal-Cañar**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agropecuario**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR

f. _____
Alcoser Bonifaz José Andrés



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

AUTORIZACIÓN

Yo, **Alcoser Bonifaz José Andrés**

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil a la **publicación** en la biblioteca de la institución el **trabajo de titulación, Uso de Bacillus subtilis para el control de la sigatoka negra (Micosphaerella fijiensis) en el cultivo de banano en el sector de La Troncal-Cañar**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 14 días del mes de septiembre del año 2021

EL AUTOR:

f. _____
Alcoser Bonifaz José Andrés



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICADO URKUND

La Dirección de las Carreras Agropecuarias revisó el Trabajo de titulación, **Uso de Bacillus subtilis para el control de la sigatoka negra (Micosphaerella fijiensis) en el cultivo de banano en el sector de La Troncal-Cañar**, presentado por el estudiante **Alcoser Bonifaz José Andrés**, de la carrera de **Ingeniería Agropecuaria**, donde obtuvo del programa URKUND, el valor de 0 % de coincidencias, considerando ser aprobada por esta dirección.

URKUND	
Documento	ALCOSE BONIFAZ JOSE ANDRES- TRABAJO DE TITULACION A 2021.docx (D112053994)
Presentado	2021-09-04 07:49 (-05:00)
Presentado por	jose.alcoser@cu.ucsg.edu.ec
Recibido	noelia.caicedo.ucsg@analysis.arkund.com
	0% de estas 32 páginas, se componen de texto presente en 0 fuentes.

Fuente: URKUND-Usuario Caicedo Coello, 2021

Certifican,

Ing. John Franco Rodríguez, Ph. D.
Director Carreras Agropecuarias
UCSG-FETD

Ing. Noelia Caicedo Coello, M. Sc.
Revisora - URKUND

AGRADECIMIENTO

A Dios, por brindarme salud y vida para cumplir con mis objetivos académicos.

Al propietario de la bananera El Pedregal, el cual me permitió realizar mi trabajo de titulación en sus instalaciones, al técnico de la plantación Ing. Alejandro Pacheco que me brindo sus conocimientos y a todos los colaboradores de la plantación que me brindaron su ayuda para el desarrollo de este trabajo.

A mi director de tesis, Ing. Ángel Bernardo Llerena Hidalgo, Ph,D por el tiempo brindado para el desarrollo de este trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre, la cual siempre ha sido mi pilar fundamental para alcanzar mis objetivos, por su apoyo incondicional en todo momento de mi carrera universitaria.

A mi padre que desde el cielo me ha cuidado y me ha guiado durante todos estos años de vida.

A todos mis familiares y amigos que de una u otra manera me brindaron su apoyo para alcanzar este objetivo, ya que sin ellos hubiese sido más duro este camino.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Llerena Hidalgo Ángel Bernardo, Ph. D.

TUTOR

Dr. Franco Rodríguez, John Eloy, Ph.D.

DIRECTOR DE LA CARRERA

Ing. Caicedo Coello, Noelia Carolina, M.Sc.

COORDINADOR DE UTE



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE EDUCACIÓN TÉCNICA PARA EL DESARROLLO
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA**

CALIFICACIÓN

Ing. Llerena Hidalgo Ángel Bernardo, Ph. D.

TUTOR

INDICE

1	INTRODUCCIÓN	2
1.1	OBJETIVOS.....	4
1.1.1	Objetivo general	4
1.1.2	Objetivos específicos	4
1.2	Hipótesis.....	4
2	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	Historia del banano.....	5
2.2	Taxonomía.....	6
2.3	Morfología del banano	6
2.3.1	Aspectos generales de la morfología del banano.....	6
2.4	Importancia económica del banano en el Ecuador	8
2.5	Sectores productivos del país.....	9
2.6	Requerimientos del cultivo.....	9
2.6.1	Edafoclimáticos	9
2.7	Principales enfermedades del cultivo	10
2.8	La sigatoka negra	11
2.8.1	Estadios	12
2.8.2	Reproducción	12
2.9	Control de la sigatoka negra	13
2.9.1	Químico.....	13
2.9.2	Biológico.....	14
2.9.3	<i>Bacillus sp.</i>	14
3	MARCO METODOLOGICO	17
3.1	Ubicación	17
3.2	Características edafoclimáticas	17

3.3	Materiales y métodos.....	18
3.3.1	Materiales.....	18
3.3.2	Equipos	18
3.3.3	Material vegetal.....	18
3.3.4	Agente de control	18
3.4	Diseño de la investigación	19
3.5	Tratamientos de estudio	19
3.6	Diseño experimental	20
3.7	Análisis estadísticos.....	22
3.8	VARIABLES DE INVESTIGACIÓN	22
3.9	Manejo del ensayo.....	23
3.7.1	Deshoje.	23
3.7.2	Apuntalamiento.	23
3.7.5	Deschive.....	24
3.7.6	Fertilización.	24
3.7.7	Riego.....	24
3.7.8	Control de malezas.....	25
3.7.9	Control de plagas y enfermedades.....	25
3.10	VARIABLES A DETERMINAR EN EL ENSAYO	25
3.10.1	Número de hojas totales en plantas 0 y 10 semanas.....	25
3.10.2	Número de hojas libres de estrías en plantas 0 y 10 semanas.	26
3.10.3	Índice de severidad.	26
3.10.4	Número de hojas totales a la cosecha.	27
4	RESULTADOS	28
4.1	Número de Hojas Totales a las 0 y 10 semanas	28
4.1.1	Número de hojas totales a las 0 semanas.	28

4.1.2	Número de hojas totales a las 10 semanas.	30
4.2	Hojas Libres de estrías (HLE).....	32
4.2.1	Hojas Libres de Estrías a las 0 semanas.	32
4.2.2	Hojas Libres de Estrías a las 10 semanas.	34
4.3	Índice de severidad.....	36
4.3.1	Índice de severidad 0 semanas.....	37
4.3.2	Índice de severidad 10 semanas.....	39
4.4	Número de hojas a la cosecha	41
5	DISCUSION	44
6	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	47
6.1	Conclusiones	47
6.2	Recomendaciones	48
7	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del banano	6
Tabla 2. Tratamientos de estudio.....	19
Tabla 3. Caracterización del ensayo.....	20
Tabla 4. Diseño de la prueba de ANDEVA para DBCA	21
Tabla 5. Operacionalización y conceptualización de variables en campo	22
Tabla 6. Hojas totales a las 0 y 10 semanas por bloque.....	28
Tabla 7. ANDEVA de Hojas Totales a las 0 semanas.	29
Tabla 8. Medias de los tratamientos en relación con hojas totales a las 0 semanas.	29
Tabla 9. ANDEVA de Hojas Totales a las 10 semanas.	30
Tabla 10. Medias de Hojas totales a las 10 semanas en los tratamientos del ensayo	31
Tabla 11. Datos de hojas libres de estrías (HLE) de plantas con 0 y 10 semanas.	32
Tabla 12. ANDEVA de Hojas Libres de estrías a las 0 semanas.....	33
Tabla 13. Medias de Hojas libres de estrías a las 0 semanas en los tratamientos del ensayo	33
Tabla 14. ANDEVA de Hojas Libres de estrías a las 10 semanas.....	35
Tabla 15: Medias de Hojas Libres de Estrías a las 10 semanas en los tratamientos del ensayo.....	35
Tabla 16. Datos de los índices de severidad (IS) por bloque a las 0 semanas.	37
Tabla 17. ANDEVA de índices de severidad (IS) a las 0 semanas.....	37
Tabla 18. Medias de los índices de severidad a las 0 semanas.	38
Tabla 19. ANDEVA de índices de severidad (IS) por bloque a las 10 semanas	39
Tabla 20. Medias de los índices de severidad.	40
Tabla 21. Datos de las hojas totales a la cosecha.	41
Tabla 22. ANDEVA de hojas totales a la cosecha.	42
Tabla 23. Medias del número de hojas totales a la cosecha.	42

ÍNDICE DE FIGURA

Gráfico 1: Características morfológicas de <i>Bacillus</i> sp. edafico A) Células bacilares, Gram positivas; B) endosporas (flecha blanca) y células bacilares (flecha negra).....	14
Gráfico 2. Localización del Lugar del ensayo 2021.....	17
Gráfico 3: Croquis del ensayo experimental	20
Gráfico 4. Escala de Stover modificada por Gauhl de grado de severidad.....	26
Gráfico 5. Hojas totales a la 0 semanas de los tratamientos del ensayo.	29
Gráfico 6. Hojas totales a las 10 semanas de los tratamientos del ensayo.	31
Gráfico 7. Hojas totales a las 0 semanas de los tratamientos del ensayo.	34
Gráfico 8. Hojas totales a las 10 semanas de los tratamientos del ensayo.	36
Gráfico 9. Índice de Severidad (%) a las 0 semanas de los tratamientos del ensayo.	39
Gráfico 10: Índice de Severidad (%) a las 0 semanas de los tratamientos del ensayo.	41
Gráfico 11. Número totales de hojas a la cosecha.....	43
Gráfico 12: Ensayo en La Troncal (km 4, via a Puerto Inca), provincia del Cañar.	56
Gráfico 13. Medición del producto del Agente de control biológico (<i>Bacillus subtilis</i>) en solución líquida.	57
Gráfico 14: Mezcla de la solución de <i>Bacillus subtilis</i> en agua para aplicar a los tratamientos del ensayo.....	58
Gráfico 15. Aplicación del <i>Bacillus subtilis</i> por medio de bomba motor a los tratamientos del ensayo.....	59

RESUMEN

Este estudio consistió en la evaluación del *Bacillus subtilis* para el control la Sigatoka Negra (*Micosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano. El experimento se realizó en la finca del Ab. Luis Castro ubicado en el sector de la Troncal, Cañar. El diseño experimental que se empleó fue el Diseño experimental de bloques completos al azar (DBCA) con cinco tratamientos y cuatro bloques. Los tratamientos se basaron en diferentes dosis de *Bacillus subtilis* (BS) ($1 - 2 \times 10^8$ CFU) de los cuales fueron T1 (0.5 L/ha), T2 (1 L/ha), T3 (1.5 L/ha), T4 (2 L/ha), y T5 (testigo convencional). Las variables que se estudiaron fueron hojas totales, hojas libres de estrías (HLE) y el índice de severidad. Los análisis estadísticos realizados fueron: el análisis de la varianza (ANDEVA) y luego test de Duncan ambos al 5%. Los resultados determinaron que el tratamiento T4, con dosis de 2 L/ha obtuvo los mejores resultados en todas las variables con el número total de hojas a las 0, 10 semanas y a la cosecha con resultados de 13, 11 y 7 hojas totales. En relación a HLE el T4 obtuvo 8 y 6 hojas libres de estrías a las 0 y 10 semanas respectivamente. Finalmente el índice de severidad fue óptimo para el T4 con un valor de 18.01%. Los resultados sugieren que la dosis de 2 L/ha de BS puede ser un buen complemento en el manejo de la Sigatoka negra en banano.

Palabras claves: sigatoka negra, banano, *Bacillus subtilis*, fungicida, índice de severidad

ABSTRACT

This study consisted of the evaluation of *Bacillus subtilis* for the control of Black Sigatoka (*Pseudocercospora fijiensis*) in banana cultivation. The experiment was carried out on the farm of Ab. Luis Castro located in the Troncal sector, Cañar. The experimental design used was the Randomized Complete Blocks Experimental Design (DBCA) with five treatments and four blocks. The treatments were based on different doses of *Bacillus subtilis* (BS) ($1 - 2 \times 10^8$ CFU) of which were T1 (0.5 L / ha), T2 (1 L / ha), T3 (1.5 L / ha), T4 (2 L / ha), and T5 (conventional control). The variables that were studied were total leaves, streak-free leaves (HLE) and the severity index. The statistical analyzes performed were: analysis of variance (ANDEVA) and then Duncan's test both at 5%. The results determined that the T4 treatment, with doses of 2 L / ha has obtained the best results in all the variables with the total number of leaves at 0, 10 weeks and the harvest with results of 13, 11 and 7 total leaves. In relation to HLE, T4 obtained 8 and 6 streak-free leaves at 0 and 10 weeks respectively. Finally, the severity index was optimal for T4 with a value of 18.01%. The results suggest that the dose of 2 L / ha of BS can be a good complement in the management of black Sigatoka in banana.

Key words: black leaf streak, banana, *Bacillus subtilis*, fungicide, severity index

1 INTRODUCCIÓN

El banano (*Musa acuminata*) es una fruta muy apetecida a nivel mundial con una producción global en el 2019 de 116 millones de toneladas (FAOSTAT, 2019) . El primer productor mundial de banano es India, seguido por China, Indonesia, Brasil. El Ecuador ocupa el quinto lugar de producción y el primer lugar en exportación de banano con un promedio de 6 mil toneladas exportadas en 2019 (Mendoza, 2019). En el Ecuador hay 5.3 millones de hectáreas destinadas para la producción agrícola, de las cuales 178 mil están dedicadas a la producción de banano con 8.500 productores a nivel nacional (Ministerio de Comercio Exterior, 2017).

El banano representa uno de los principales ingresos no petroleros solo por detrás del camarón (Sánchez, 2020). En el mes de enero del 2021 se exportaron 37 500 millones de cajas de banano (Portal Fruticola, 2021). Este cultivo genera mas de 1 millón de empleos de forma directa e indirecta además ayuda en el crecimiento económico y social de las personas que laboran en la misma (Ministerio de Agricultura y Ganaderia, 2019).

El cantón la Troncal, ubicado en la provincia del Cañar, es considerado la capital económica de la provincia, aportando con la mayor cantidad de ingresos para la provincia. El motor económico de esta zona lo constituye la actividad comercial y agrícola, siendo la producción de banano uno de los principales cultivos de la zona con 3 mil hectáreas (ha) dedicadas a este cultivo.

Al igual que su amplia distribución y cultivo, su producción se ve afectada mundialmente por la amplia variedad de plagas y enfermedades a las cuáles son sensibles (Gomez, et al., 2019) Según el Instituto para la Innovación Tecnológica en Agricultura, INTAGRI (2018), entre los principales

factores que afecta la producción de banano la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) es la de mayor prevalencia. Esta enfermedad representa la principal limitante en la producción de musáceas (platanos y bananos) a nivel mundial (FAO, 2013) y se caracteriza por su rápida propagación en la humedad. Si el hongo se propaga a niveles altos el fruto pierde peso y su madurez es precoz resultando en un fruto no apto para el mercado (INTAGRI, 2018).

Actualmente, la mayoría de prácticas agrícolas destinadas al control de la Sigatoka Negra se basa en la utilización de productos químicos (INTAGRI, 2018), sin embargo la utilización de estos productos además de producir un gran impacto ambiental suelen generar resistencia por el uso continuo (CROPLIFE, 2020).

Una alternativa al uso de plaguicidas sintéticos lo constituyen los entomopatógenos que son microorganismos vivos que nos ayudan a controlar distintas plagas y enfermedades a un bajo precio y que son amigables con el medio ambiente. El uso de entomopatógenos en el país cada día adquiere más fuerza en el control de distintas plagas y enfermedades relacionadas con diversos cultivos ya que su uso permite optimizar costos de producción (Portal Frutícola, 2021).

En virtud de lo expuesto se plantea la realización de un proyecto de investigación sobre el “Uso de *Bacillus subtilis* para el control de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano en el sector de La Troncal”, teniendo como base los siguientes objetivos:

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del uso de *Bacillus subtilis* para el control de la infección de la sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano en el sector de La Troncal.

1.1.2 Objetivos específicos

- Identificar las hojas totales y hojas libres de estrías en plantas 0 y 10 semanas
- Calcular el índice de severidad de las plantas a las 0 y 10 semanas.
- Determinar el número de hojas totales a la cosecha.

1.2 Hipótesis

El uso de *Bacillus subtilis* ayuda a controlar el hongo de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano

2 MARCO TEÓRICO

2.1 Historia del banano

Diferentes puntos de vista botánicos describen que el banano fue introducido desde la India al Medio Oriente y a América del Norte por los árabes, y posteriormente portugueses y Españoles la diseminaron por el resto de América. De acuerdo con estas evidencias se muestra la existencia temprana del banano en la India, introduciéndose a Palestina y Egipto alrededor del siglo VII D.C por los árabes, propagándose rápidamente por la costa africana, y posteriormente todo el continente. En América Central la evidencia sugiere su introducción en el año de 1516, donde rápidamente se extendió y alcanzo niveles comerciales elevados por su importancia económica y fácil adaptabilidad (Khan, Das, Murmu, y Debnath, 2019)

De acuerdo con la bibliografía Ecuador inicio su producción y exportación bananera en el gobierno del presidente Galo Plaza (1948 – 1952), bajo la influencia de un modelo desarrollista donde con la inyección de capital, tecnología y experiencia a países considerados del “tercer mundo” se buscaba su modernización y desarrollo de mercado interno, aunque también genero la inserción de transnacionales debido a la concesión de créditos (Gonzabay, 2017). En el año de 1950 las exportaciones de banano se aceleran superando los 100 millones en el llamado boom bananero durante la época de 1948 hasta 1960 (Lauderbaugh, 2012). En la actualidad Ecuador se encuentra entre los 5 principales países productores de banano a nivel mundial, superado únicamente por India, China, Indonesia y Brasil con una producción total promedio que supera los 6.5 millones de toneladas de acuerdo al último reporte del año 2019 (FAOSTAT, 2019).

2.2 Taxonomía

El banano de mayor importancia comercial es el banano triploide cultivar Cavendish (*Musa acuminata* L. AAA, cv. Cavendish) y su taxonomía (Tabla 1) esta descrita en el *National Center for Biotechnology Information* (NCBI) con un número de identificación 214697 (NCBI, 2020).

Tabla 1. Taxonomía del banano

Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Liliopsida
Orden:	Zingiberales
Familia:	Musaceae
Género:	Musa
Especie:	Acuminata
Nombre común:	Banana

Fuente: (NCBI, 2020).

Elaborado por: El Autor

2.3 Morfología del banano

2.3.1 Aspectos generales de la morfología del banano

La morfología se describe brevemente a continuación:

Planta herbácea anual perenne, con rizoma corto y tallo aparente, resultado de la fusión de vainas foliares, cónico con una altura entre 3.5 - 7.5 m, con terminación en corona de hojas. Posee un bulbo o rizoma subterráneo con numerosos meristemos, que darán origen a los pseudotallos, raíces y yemas (Baridon y Villarreal, 2017)

Su sistema radicular conserva raíces superficiales en una capa de 30-40 cm, donde la mayor concentración se ubica entre los 15-20 cm. Sus raíces son de color blanco con diámetro que oscila 5-8 mm pudiendo llegar a alcanzar entre 2.5-3m en desarrollo lateral y 1.5 m en profundidad (InfoAgro, 2021).

El tallo verdadero se describe como un rizoma grande, de aspecto almidonoso, subterráneo, el mismo que se encuentra coronado con yemas, las mismas que se desarrollaran una vez alcanzada la maduración y fructificación de la planta. En el trascurso de la madurez de cada chupón del rizoma, su yema terminal se transforma en una inflorescencia por el empuje debido al alargamiento del tallo desde el interior hacia arriba, emergiendo finalmente arriba del pseudotallo (InfoAgro, 2021)

Sus hojas se disponen en forma de espiral de color verde, desarrollándose a partir de un punto meristemático de acuerdo a su variedad de cultivar, con una longitud entre 2-4 m de largo y llegan a alcanzar los 1,5 m de ancho. Están formadas por cuatro partes: apice, limbo, peciolo, y por ultima la vaina que una vez alcanzada su maduración es de forma ovado-oblonga, de apice truncado y base roma, pudiendo llegar a crecer hasta 21 cm un 24 horas (InfoAgro, 2021)

Sus inflorescencias son amarillas, de aspecto irregular con seis estambres, con uno estéril. El grupo de flores que forman la bráctea forman los frutos conocidos como “manos”, que pueden contener entre 3- 20 frutos. Su fruto consiste en una baya oblonga, doblada geo trópicamente durante su desarrollo, determinando la forma del racimo. Llegando a producir hasta 300 frutos de un tamaño promedio de 20cm (AgroBioTech, 2017).

2.4 Importancia económica del banano en el Ecuador

El banano es uno de los principales productos de exportación, generando una amplia cantidad de empleos y divisas, por lo cual el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), se enfoca en el fortalecimiento de este importante sector productivo del país, a través de la subsecretaría de las Musáceas (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2019)

El banano exportado desde Ecuador en sus diferentes variedades representa alrededor del 32% de las exportaciones en el mundo, zonas como Manabí, Los Ríos y Santo domingo se encuentran entre las de mayor producción local, razón por la cual el cultivo de plátano es de gran importancia en la economía del país (Álvarez et al., 2020).

Aunque la provincia de Los Ríos es conocida como la capital mundial del Banano en el Ecuador, ciertamente la cantidad de su producción no se refleja como una de las que mayor producen, se destaca su producción orgánica a base de la utilización de nutrientes vegetales, compost y otro tipo de productos orgánicos, dejando de lado el uso de plaguicidas para el control de enfermedades, recibiendo así reconocimiento y certificaciones a nivel internacional (Capa et al., 2016).

Dentro de América Latina y el caribe, el Ecuador representa más del 40% de las exportaciones de banano de la región, con un aumento de 4.2% durante el 2019, llegando a una producción de alrededor de 6.7 millones de toneladas, sin que la producción se vea opacada por el fenómeno meteorológico de El Niño, manteniendo un margen de incremento durante los últimos tres años consecutivos (FAO, 2020).

De acuerdo al último reporte por parte del El Ministerio de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca de Ecuador, MPCEIP (2017), la importancia económica del sector bananero se basa en que representa el 2%

del Producto Interno Bruto (PIB) general, y alrededor de un 35% del PIB del sector agrícola (MPCEIP, 2017). Las ventas locales de empresas de cultivo de banano y plátano a nivel nacional durante el año 2019 ingresos totales por el valor de 28.4 millones de dólares a nivel, con las principales provincias como Guayas con 15,5 millones, Los Ríos 5,7 millones y El Oro con 3,8 millones aportando un 88% de ventas dirigidas al consumo local (Sánchez et al., 2020).

2.5 Sectores productivos del país

Provincias de El Oro (41%) Guayas (34%) y Los Ríos (16%), concentran a los principales productores de banano, cabe destacar que los pequeños productores representan de alrededor del 78% de la producción del país sumado a los medianos, llegando alcanzan alrededor de un 95,6% de la producción a nivel nacional, convirtiendo a la producción de banano en una economía familiar y popular que beneficia a más de 2,5 millones de personas mejorando claramente el eje económico por la generación de empleo y la disminución de la pobreza rural (MPCEIP, 2017).

2.6 Requerimientos del cultivo

2.6.1 Edafoclimáticos

Según La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO (2016) los cultivos de banano generalmente se realizan en regiones tropicales húmedas con temperaturas relativamente elevadas oscilando entre 18 -30 °C, los mismo que deben poseer un suministro anual constante de agua (100 mm – 180 mm/mes), esto debido a que la planta está constituida alrededor de 85 – 90 % agua.

Necesitan de una alta radiación para un buen desarrollo (2000 -10000 luz - hora luz/año) aumentando rápidamente su actividad fotosintética y evitando que su periodo vegetativo se alargue por la restricción de la intensidad de luz (Mejia, 2018).

Los suelos deben ser profundos y bien drenados, debido a la alta eliminación de nutrientes durante el periodo de cosecha, siendo los más recomendables los suelos con texturas desde franco arenosas hasta franco arcillosas, sin sobrepasar los niveles de arcilla (20 % - 40%), con un pH ideal establecido entre 5.5 y 7.0 que sean ricos en materia orgánica (Mejia, 2018), en plantaciones con profundidad de 60 cm se han observado la reducción del ciclo de cultivo y el aumento del peso de los racimos (Bakhiet y Elbadri, 2004)

2.7 Principales enfermedades del cultivo

Una gran diversidad de patógenos son los causantes de efectos negativos en los cultivos de banano y plátano, siendo afectado por virus, bacterias y hongos, entre otros (FAO, 2016)

Dentro de las enfermedades más representativas que afectan al cultivo de banano se encuentra: la sigatoka negra (*Micosphaerella fijiensis*), el mal de Panamá, causado por *Fusarium oxysporum* Schlechtend. f. sp. *Cubense*, considerada como la más destructiva de este cultivo, principalmente en especies del género *Musa*, incluidas *M. acuminata*, *M. balbisiana*, *M. schizocarpa* y *M. textiles* (Ploetz, 2015), el virus del mosaico del pepino (*Cucumber mosaic virus*), ya que aparte de infectar al banano, afecta a una amplia gama de hospedantes. Su incidencia, está reportada en más de 1.300 especies vegetales, lista a la cual se añaden nuevas especies cada año (Arafati et al., 2013). El moko del plátano (*Ralstonia solanacearum*) que provoca un marchitamiento vascular y decoloración de los vasos (Alvarez et al., 2013).

El virus del estriado del plátano el cual es transmitido por la cochinilla de los cítricos (*Planococcus citri* y *Pseudococcus* sp), representando una enfermedad de rápida propagación en plantaciones de banano llegando a afectar hasta el 14% de la producción (INIAP, 2009) y la Sigatoka negra ocasionada por el hongo (*Mycosphaerella fijiensis*) afecta gran parte de la producción de banano en todos los países bananeros de América (Orozco et al., 2008), entre otras.

2.8 La sigatoka negra

Es una enfermedad causada por el hongo ascomicete (*Mycosphaerella fijiensis*), y es el principal problema fitopatológico del cultivo del banano y plátano. La enfermedad es originaria del sudeste asiático y en el continente Americano se identificó por primera vez en Honduras en el año de 1972, de donde se expandió por todos los países bananeros de América Central, América del Sur, América del Norte y algunas islas del Caribe (Guzmán et al., 2013).

El hongo principalmente ataca a las hojas reduciendo en la planta el área fotosintética, llegando a inducir una prematura maduración en la baya, desencadenando pérdidas significativas de hasta un 40% en peso del racimo afectando la producción, para el control y tratamiento de las manchas foliares de Sigatoka negra se requiere de aplicaciones constantes de fungicidas sistémicos, ya que tiene una alta capacidad de variación y adaptación, y su patogenicidad es continua en el tiempo, espacio y presión, lo que resume en pérdidas económicas significativas que influyen directamente en los costos de producción (Sanmartin, 2017).

El desarrollo de la enfermedad se encuentra directamente influenciado por las condiciones climáticas, susceptibilidad de la variedad sembrada y manejo del cultivo. Las zonas más afectadas por la Sigatoka negra se caracterizan por tener una precipitación mayor a 1.400 mm anuales, humedad

relativa mayor al 80% y temperatura promedio entre 23 a 28 °C. La enfermedad es más agresiva en épocas lluviosas, debido a la presencia continua de una lámina de agua sobre las hojas, que favorece los procesos de liberación e infección de las esporas (Alvarez et al., 2013b).

Existen fungicidas altamente efectivos para su control tales como triazoles, carboximidazoles, carbamatos; sin embargo, el patógeno ha desarrollado resistencia a la mayoría de estos, dificultando cada vez más su manejo y a su vez ha puesto de manifiesto la necesidad de un manejo más integrado para así reducir la dependencia de controles químicos. En este sentido el control biológico y el cultural constituyen una alternativa (Guzman, 2012).

2.8.1 Estadios

Los primeros síntomas presentes por la enfermedad del Sigatoka son pequeñas manchas cloróticas que aparecen en la superficie inferior (abaxial), por lo tanto, crecen en finas rayas marrones, posteriormente las lesiones se agrandan y se oscurecen para dar las características de rayas negras a las hojas, después en el tejido necrótico, numerosos cuerpos fructíferos globosos, negros, diminutos (pseudotecios) que contienen estructuras en forma de saco (asci) llenas de ascosporas emergerán de la parte inferior de la hoja y cuando la gravedad de la enfermedad es alta, grandes áreas de la hoja pueden ennegrecerse y empaparse de agua (Benner y Arneson, 2003).

2.8.2 Reproducción

Las esporas de *Mycosphaerella fijiensis* germinan especialmente sobre la superficie abaxial de las hojas, penetran con sus hifas los estomas e inician con ello un proceso rápido de colonización del mesófilo foliar en los genotipos susceptibles la gran producción de inóculo y la ocurrencia de gran cantidad de infecciones en la parte abaxial de las hojas nuevas durante su apertura,

que son difíciles de controlar porque la mayor deposición de fungicidas ocurre en la parta adaxial. Además, el ritmo de emisión foliar de la planta de banano, que produce una hoja cada 7 a 15 días, permite que existan hojas nuevas susceptibles en diferentes estadios de apertura (Manzo et al., 2005).

Mycosphaerella fijiensis es el nombre que se le da a la forma sexual (teleomorfo) del patógeno. El hongo fue descrito por primera vez en 1969 por Morelet en especímenes de Fiji y a la forma asexual (anamorfo) se llama *Pseudocercospora fijiensis*. Los conidios nacen en el conidióforo de forma individual y terminal. Las esporas son de color pálido a marrón oliva claro, son lisas, largas y tienen tres o más septos (Benner y Arneson, 2003).

2.9 Control de la sigatoka negra

La Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) es descrita como una de las enfermedades más destructivas que afecta el área foliar de plátanos y bananos, sin embargo para su erradicación la utilización de fungicidas químicos ha llevado a que el patógeno incremente su resistencia, por lo cual nuevas alternativas se han fijado en buscar alternativas no contaminantes como: biomoléculas derivadas de plantas, hongos, estudios de microorganismos asociados al filoplano para conocer su efecto antagonista, entre otros (Cruz-Martín et al., 2017) (Adirano-Mayo et al., 2018).

2.9.1 Químico

Entre los compuestos orgánicos fungicidas más utilizados para el control de la Sigatoka negra destacan para su control químico: los fungicidas de contacto Clorotalonil e Hidróxido de cobre, como los sistémicos, Metil tiofanato y los de multisitio, mancozeb (Mejia, 2018).

Como alternativa a los fungicidas sintético-químico, distintas moléculas derivadas de plantas y hongos se han evaluado para el control de Sigatoka

negra. Y por lo tanto disminuir el uso de pesticidas comunes por los problemas ambientales y económicos que estos implican. Diferentes estudios reportan resultados promisorios usando biomoléculas, como por ejemplo los extractos derivados de hongos (*Ganoderma lucidum*) o sus extractos proteicos mayormente representados por su proteína antifúngica con efecto *in vitro* sobre *M. fijiensis* “ganodermin” (Arias-Londoño et al., 2019). Además, diferentes extractos vegetales como los de *Allium sativum*, *Syzygium aromaticum* o sus mezclas han mostrado efectos inhibitorios en el desarrollo de las colonias de *M. fijiensis*, (Adirano et al., 2018).

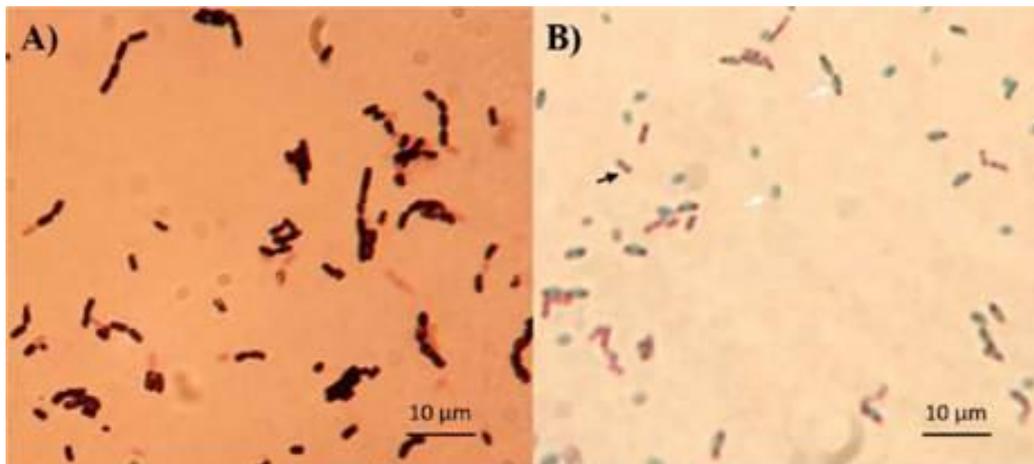
2.9.2 Biológico

Como se ha mencionado el control de la Sigatoka negra requiere de tratamientos con fungicidas químicos de forma frecuente, lo que aumenta de forma exponencial los costos de producción, además de las alternativas del uso de nuevas moléculas derivadas de plantas y hongos se estudian alternativas de manejo de este tipo de plagas, como es el uso de microorganismos. Las esporas de *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum* y también *Saccharomyces cerevisiae* (Agro-Mos®), donde se ha evidenciado que se puede reducir hasta el 25% del uso de fungicidas químicos tradicionales como clorotalonil y mancozeb (Becker, Esker, y Umaña, 2021).

2.9.3 *Bacillus* sp.

El género *Bacillus* (Gráfico 1) es un grupo de bacterias Gram positivas, aerobias y formadores de esporas, tienen morfología bacilar, movilidad flagelar, y tamaño de 0.5 a 10 µm, crece óptimamente a pH neutro, en cuanto a la temperatura que requieren la mayoría son mesófilas (30 y 45 °C) (Villareal, et al., 2018).

Gráfico 1: Características morfológicas de *Bacillus* sp. edafico A) Células bacilares, Gram positivas; B) endosporas (flecha blanca) y células bacilares (flecha negra)



Fuente: (Villareal, et al., 2018).

Las especies más destacadas son: el grupo de *B. cereus*, asociado a patogenicidad, que incluye a *B. cereus-anthraxis-thuringiensis*; b) los bacilos ambientales que son caracterizados por su presencia en distintos hábitats, como el grupo de *Bacillus subtilis*, comprendido por *B. subtilis-licheniformis-pumilus*; c) el grupo de *B. clausii-halodurans*; y d) el grupo que incluye a *Bacillus sp. NRRLB-14911-coahuilensis* (Arroyave , Mosquera, y Villegas , 2017)

Son principalmente ubicuas en el agua, suelo (en las capas superiores), aire, residuos vegetales, tracto digestivo de los animales. Los *Bacillus* ambientales como el *Bacillus subtilis* son saprofitos de los suelos agrícolas y participan en muchas reacciones dentro del de la rizosfera por lo que son beneficiosos para el sistema radicular de diversas plantas (IVAMI, 2021). Investigaciones han encontrado que *Bacillus sp.*, es un residentes de los tejidos internos en plantas como la de uva (*Vitis vinífera*) y algodón (*Gossypium barbadense* L). Esto hace que el *Bacillus* tenga un rol esencial en la relación planta-suelo y que posea potencialmente acción biológica (Selim, Gomaa y Essa, 2020).

El género *Bacillus* es uno de los grupos microbianos más explotados para el control biológico de patógenos y plagas. Se sabe que los *Bacillus sp.*, producen una gran variedad de metabolitos que pueden inhibir el crecimiento

y las funciones de organismos celulares como bacterias, hongos, insectos, nematodos y organismos acelulares como virus. Estos metabolitos presentan propiedades antimicrobianas, enzimas líticas, compuestos orgánicos volátiles y toxinas. En el estudio de Gutiérrez et al. (2016) sugieren que el mecanismo de acción de mayor efectividad como fungicida es el de formación de metabolitos como por ejemplo lipopolisacáridos, al contrario del mecanismo de competencia, lo que indica que la eficacia del *Bacillus subtilis* depende principalmente de los metabolitos y en menor medida de las células.

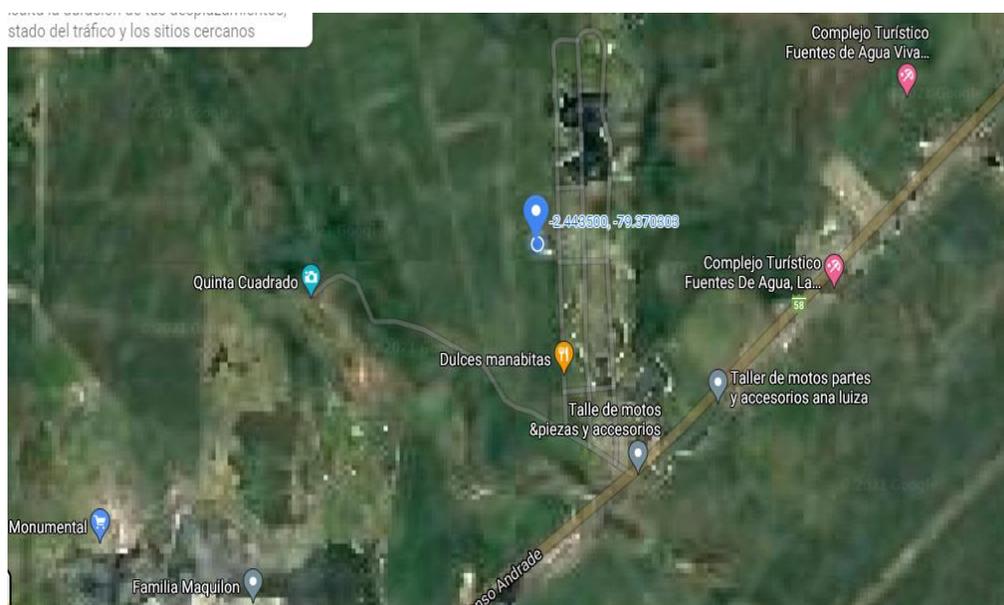
Bacillus puede inhibir directamente el crecimiento de plagas y patógenos a través de la producción de compuestos antimicrobianos, enzimas o toxinas, mientras que indirectamente, la respuesta inmune de la planta puede desencadenarse a través de inductores bacterianos específicos (Saxena, Kumar, Chakdar, Anuroopa, y Bagyaraj, 2019).

3 MARCO METODOLOGICO

3.1 Ubicación

El trabajo se lo realizó en una bananera ubicada el sector de La Troncal (km 4, vía a Puerto Inca), provincia del Cañar, propiedad del Ab. Luis Castro la misma que cuenta con 8 ha en producción. La propiedad cuenta con las siguientes coordenadas 2°24'S 79°20'O.

Gráfico 2. Localización del Lugar del ensayo 2021



Fuente: (Autor, 2021)

3.2 Características edafoclimáticas

La ciudad de La Troncal tiene un clima tropical al ser la costa de la sierra, por lo general suele ser muy calurosa, su temperatura oscila entre 22° y 32°, muy rara vez la temperatura mínima es 20° y la máxima de 36°. Cuenta con una humedad relativa de 60-65%. La época de lluvia es de octubre a mayo, según el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), los meses de mayor precipitación en la zona de La Troncal son de Enero al mes de Abril con una precipitación diaria promedio de 100 mm (INAMHI, 2013). El

tipo del suelo del lugar de estudio, según análisis de suelo, es franco arcilloso y tiene un pH de 6,50-7,00

3.3 Materiales y métodos

Para la realización de este proyecto utilizaremos los siguientes materiales y equipos los mismos que serán utilizados a nivel de campo.

3.3.1 Materiales

- Tanque de mezcla
- Vaso dosificador
- Cernidera
- Gasolina
- Machete
- Cuaderno para toma de datos
- Pintura en spray
- Estacas
- Cintas de color

3.3.2 Equipos

- Bomba a motor de 20 L

3.3.3 Material vegetal

- Banano (*Musa acuminata* AAA, cv.Cavendish)

3.3.4 Agente de control

- *Bacillus subtilis* (EA58)

3.4 Diseño de la investigación

La investigación es de tipo experimental. El enfoque de la investigación fue cuantitativo. El alcance de la investigación es correlacional y descriptivo debido a que se va a evaluar como las diferentes dosis de *Bacillus subtilis* (EA58) controlan la Sigatoka Negra en el cultivo de banano.

3.5 Tratamientos de estudio

Los tratamientos de estudio (Tabla 2) que fueron utilizados en el ensayo de campo fueron cuatro tratamientos (T1, T2, T3, T4) con diferentes dosis de *Bacillus subtilis* (cepa EA58) con una concentración de $1 - 2 \times 10^8$ CFU. Las dosis aplicadas fueron desde 0.5 L/ha hasta 2 L/ha en incrementos de 0.5. El tratamiento testigo (T5) es la forma convencional que se controla la plantación en sitio del ensayo. Los tratamientos con las diferentes dosis de *Bacillus subtilis* se aplicaron al follaje cada quince días. Los cuáles fueron diluidos en una cantidad suficiente de agua y aplicados mediante bomba a motor.

Tabla 2. Tratamientos de estudio

TRATAMIENTOS	PRODUCTO A APLICAR	DOSIS
T1	<i>Bacillus subtilis</i> $1 - 2 \times 10^8$ CFU	0.5 L/ha
T2		1 L/ha
T3		1.5 L/ha
T4		2 L/ha
T5	Fungicidas convencionales	TESTIGO

Elaborado por: El Autor

3.6 Diseño experimental

Se utilizó el diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA) con cuatro bloques y cinco tratamientos (Gráfico 3). El experimento consistió en cuatro bloques de 6x17 m, con un área útil de 102 m², dentro de los cuales se encontraron los cinco tratamientos (T1, T2, T3, T4, T5) cada uno con diez plantas, la población del ensayo por lo tanto es de 200 plantas (Gráfico 3). Las plantas fueron seleccionadas según la proximidad que se encontraban del enfunde lo cual fue de 2-3 semanas previas.

Gráfico 3: Croquis del ensayo experimental

B1	T2	T3	T5	T4	T1
B2	T3	T2	T4	T1	T5
B3	T1	T4	T3	T5	T2
B4	T5	T1	T2	T3	T4

Elaborado por: El Autor

Se considera los siguientes aspectos para la caracterización del ensayo (Tabla 3):

Tabla 3. Caracterización del ensayo

Número de tratamientos	5
Número de bloques	4
Número de parcelas	20
Ancho de la parcela	6 m
Largo de la parcela	17 m
Área de la parcela	102 m ²
Área del ensayo	2040 m ²

Distanciamiento de siembra	2.30 x 2.50 m
Población de plantas utilizadas	200 plantas

Elaborado por: El Autor

Se utilizó el análisis de varianza ANDEVA (Tabla 4) para determinar diferencias significativas del ensayo.

Tabla 4. Diseño de la prueba de ANDEVA para DBCA

Fuente	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Estadístico de prueba F	Valor de P
Tratamientos	a-1	SC_{tra}	$\frac{CME_{tra}}{a-1} = \frac{SC_{tra}}{a-1}$	$F_0^T = \frac{CME_{tra}}{CME}$	$P = P(F > F_0^T)$
Bloques	b-1	SC_{blo}	$\frac{CME_{blo}}{b-1} = \frac{SC_{blo}}{b-1}$	$F_0^B = \frac{CME_{blo}}{CME}$	$P = P(F > F_0^B)$
Error	(a-1)(b-1)	SCE	CME		
Total	ab-1	SCT			

Elaborado por: El Autor

El modelo lineal para la observación del tratamiento i en el bloque j, Y_{ij} , ajustado por el paquete estadístico usado y su fórmula correspondiente es:

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

Dónde:

- Y_{ij} : observación del tratamiento i en la parcela j
- τ_i : efecto del tratamiento $i=1,2,3,4,5$
- β_j : efecto del bloque $j=1,2,3,4$
- ϵ_{ij} : termino de error aleatorio asociado a la observación Y_{ij}
- μ : promedio general del ensayo

3.7 Análisis estadísticos

Para el análisis de los datos recolectados de las variables de hojas totales a la cosecha, hojas libres de estrías a las 0 semanas y 10 semanas, hojas totales a las 0 semanas y 10 semanas y el índice de severidad a las 0 y 10 semanas se utilizó el paquete estadístico InfoStat®, en el cual se comparó las medias de los tratamientos y bloques, por variable y por tiempo (0 semanas, 10 semanas) por separado. En cuanto al análisis de las diferencias entre las medias de los tratamientos y bloques se utilizó el análisis de varianza (ANDEVA) y luego se procedió al estudio de rangos múltiples en entre tratamientos y bloques por medio de la prueba de Duncan con un nivel del 5% ($P=0.05$).

3.8 Variables de investigación

Para las variables de investigación del ensayo se tendrán las siguientes presentadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Operacionalización y conceptualización de variables en campo

Variables	Definición	Indicador	Unidad
Hojas totales (0 semanas)	Número de hojas presentes en la planta en el enfunde	1-15	N
Hojas totales (10 semanas)	Número de hojas presentes en la planta después de 10 semanas del enfunde	1-15	N
Hojas libres de estrías (0 semanas)	Número de hojas libres de estrías presentes en la planta en el enfunde	1-15	N
Hojas libres de estrías (10 semanas)	Número de hojas libres de estrías en la planta después de 10 semanas del enfunde	1-15	N

Índice de severidad (0 semanas)	Índice de severidad calculado por medio de la fórmula de Townsend y Heuberger en el enfunde	0-100	%
Índice de severidad (10 semanas)	Índice de severidad calculado por medio de la fórmula de Townsend y Heuberger a las 10 semanas del enfunde	0-100	%

Elaborado por: El Autor

3.9 Manejo del ensayo

Las siguientes actividades fueron realizadas durante el ensayo para el mantenimiento agrícola de la plantación.

3.7.1 Deshoje.

Para este proyecto se lo realizo dos veces por semanas, en la cual se eliminan hojas con quemas, se realiza despuntes y cirugías tratando de no eliminar la hoja en su totalidad, se realizó de una manera cíclica durante todo el proyecto de estudio.

3.7.2 Apuntalamiento.

Para el apuntalamiento se utilizaron zunchos y cañas a 45 grados hacia el racimo. Cuando el apuntalamiento es con caña se utiliza dos cañas por mata y cuando es con zuncho se utiliza dos hebras abiertas.

3.7.3 Deshije.

En este trabajo se eliminaron los hijos de agua, espada y los que estén mal ubicados, con una herramienta conocida como palin.

3.7.4 Enfunde y protegida.

La labor del enfunde y protegida se realiza de manera cíclica en la plantación, realizando dos vueltas por semana, esta se la ejecuta en el estado de bellota para proteger el racimo de insectos. A su vez la protegida se realiza de acuerdo con su edad fisiológica, cuando todas sus manos estén en forma horizontal para evitar el rayado o manchado de la fruta. Para esta labor se utilizan protectores de espumafon tipo cuello de monja.

3.7.5 Deschive.

Este trabajo se la realiza de abajo hacia arriba, consiste en eliminar una mano completa en la cual hayan dedos cortos, la misma que tiene el nombre de falsa y eliminar tres manos sanas, esta labor se la conoce como (falsa +3) a su vez se le ayuda al racimo para que el largo de los dedos sea el óptimo (8 inch) y el llenado de la fruta sea eficaz

3.7.6 Fertilización.

La fertilización del cultivo se realiza de manera cíclica cada tres semanas con el fin de mantener una buena nutrición en la plantación. Esta labor se la realiza frente la planta hija, a una distancia de 0.80 cm en forma de media luna. Para la misma se realizó un análisis de suelo para proceder a realizar un plan de fertilización en las cuales se utilizaron los siguientes productos: Nitrato de amonio (50 kg/ha), Nitrato de potasio (50 kg/ha), Muriato de potasio (50 kg/ha), Sulfato de magnesio (25 kg/ha). Y los micro-elementos como Boro, Zinc se los aplicaron en forma de *drench*.

3.7.7 Riego.

El riego se lo realizó tres veces por semana, por medio de aspersión subfoliar.

3.7.8 Control de malezas.

Esta labor se la realizó cada 7 semanas, con método químico para la cual se utilizó una bomba de mochila con el fin de controlar la maleza.

3.7.9 Control de plagas y enfermedades.

El control sigatoka negra y plagas se lo realizó mediante vuelos aéreos con aplicación de fungicidas e insecticidas sintéticos, para su ejecución se realizó muestreos en campo de la infección de sigatoka negra y plagas, de esta manera se determinó la frecuencia de vuelo y el tipo de productos a utilizar. La frecuencia de vuelo que se utilizó en el trabajo investigativo fueron de un promedio de catorce días.

3.10 Variables a determinar en el ensayo

Para el presente ensayo se evaluaron las siguientes variables:

- Número de hojas totales en plantas de 0 y 10 semanas
- Número de hojas libres de estrías (HLE) en plantas 0 y 10 semanas.
- Índice de severidad a las 0 y 10 semanas.
- Número de hojas totales a la cosecha

Cabe de mencionar que 0 semanas se refiere al inicio de la inflorescencia, lo cual 10 semanas indicaría el tiempo después de la inflorescencia

3.10.1 Número de hojas totales en plantas 0 y 10 semanas.

Se contó el número de hojas totales en plantas 0 y 10 semanas luego de inflorescencia.

3.10.2 Número de hojas libres de estrías en plantas 0 y 10 semanas.

Se contabilizó el número de hojas libres de estrías en planta 0 y 10 semanas luego de inflorescencia.

3.10.3 Índice de severidad.

Para determinar el desarrollo de la enfermedad (Sigatoka negra) y la eficacia del producto (*Bacillus subtilis* EA58) se calculará el índice de severidad mediante la fórmula de Townsend y Heuberguer (Guillen, 2017).

$$P = \frac{\sum n * v}{(I - 1) * N} * 100$$

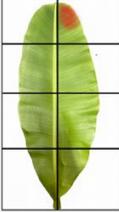
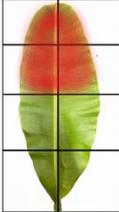
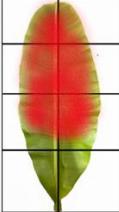
Dónde:

- P: grado de severidad
- n: número de muestra por categoría
- V: valor de la categoría
- I: valor de la categoría más alta
- N: número total de hojas evaluadas

Las categorías evaluadas serán calificadas de acuerdo a la Escala de Stover (Gráfico 4).

Gráfico 4. Escala de Stover modificada por Gauhl de grado de severidad



<p>GRADO 2</p> <p>Menor al 5 %</p>	
<p>GRADO 3</p> <p>Entre el 6 % al 15 %</p>	
<p>GRADO 4</p> <p>Entre el 16 % al 33 %</p>	
<p>GRADO 5</p> <p>Entre el 34 % al 50 %</p>	
<p>GRADO 6</p> <p>Mayor al 50 %</p>	

Fuente: (Marín, 2018)

Elaborado por: El autor

3.10.4 Número de hojas totales a la cosecha.

Se contó el número de hojas totales en plantas a la cosecha por visualización directa.

4 RESULTADOS

4.1 Número de Hojas Totales a las 0 y 10 semanas

4.1.1 Número de hojas totales a las 0 semanas.

A las 0 semanas, es decir al enfunde, se observó el número de hojas de todas las plantas de los tratamientos e unidades experimentales, los datos obtenidos de los diferentes bloques se encuentra en la Tabla 6. Los coeficientes de variación (CV%) de los tratamientos están dentro del rango de aceptación en ensayos de campo.

Tabla 6. Hojas totales a las 0 y 10 semanas por bloque.

Bloque	0 semanas					10 semanas				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
1	11	11	12	14	12	8	8	10	10	7
2	12	12	11	13	12	7	8	9	13	8
3	10	12	11	13	12	7	9	9	10	8
4	12	12	12	13	13	8	7	7	12	7
X	11	12	12	13	12	8	8	9	11	8
SD	1.0	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.8	1.3	1.5	0.6
CV%	8.5	4.3	5.0	3.8	4.1	7.7	10.2	14.4	13.3	7.7

X: Media, SD: Desviación estándar, CV%: Coeficiente de variación

Elaborado por: El autor

Según el ANDEVA (Tabla 7) se observa que existe diferencias en el tratamiento debido a que $P < 0.05$. En la Tabla 8 se observa las medias de los resultados de los tratamientos del ensayo, en la cual se indica además que las medias con una letra en común no son significativamente diferentes.

Tabla 7. ANDEVA de Hojas Totales a las 0 semanas.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	11	7	2	4	0.0140
Bloque	1	3	3.2 E-01	1	0.4771
Tratamiento	10	4	2	7	0.0043
Error	4	12	3.6 E-01		
Total	15	19			

Elaborado por: El autor

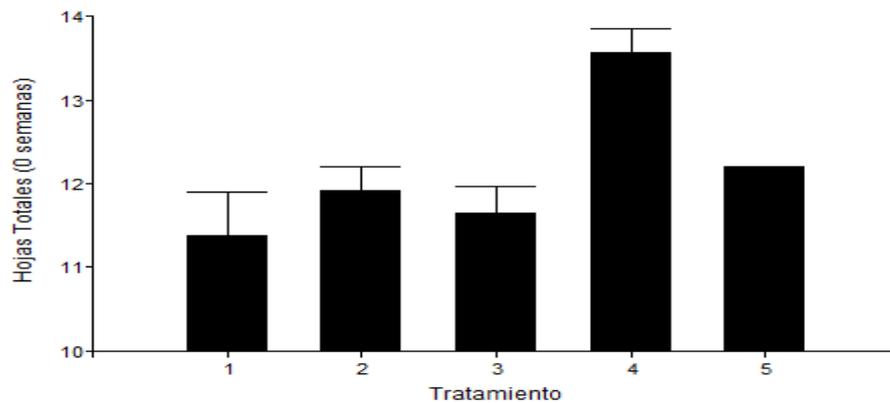
Como se observa en la Tabla 8 solo existen dos rangos de significancia A y B, en el cual solo el tratamiento T4 tiene diferencia significativa frente a los demás tratamientos T1, T2, T3 y T5. El T4 es el de mayor cantidad de hojas totales con 13 hojas. El tratamiento testigo (T5) contenía 11 hojas mientras T1, T2 y T3 se contabilizaron 12 hojas (Gráfico 6).

Tabla 8. Medias de los tratamientos en relación con hojas totales a las 0 semanas.

Tratamiento	Hojas Totales	
T1	11	B
T2	12	B
T3	12	B
T4	13	A
T5	12	B
Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (P>0.05). CV= 5%		

Elaborado por: El Autor.

Gráfico 5. Hojas totales a la 0 semanas de los tratamientos del ensayo.



Elaborado por: El Autor

4.1.2 Número de hojas totales a las 10 semanas.

En la Tabla 6 se encuentran los datos de las hojas totales a las 10 semanas del enfunde por tratamientos y bloques. Los CV% de los tratamientos están dentro del rango de aceptación en ensayos de campo. Según el ANDEVA (Tabla 9) se observa que existe diferencias en el tratamiento porque $P < 0.05$. En la Tabla 10 se observa la media de los resultados de los tratamientos del ensayo, en la cual se indica además que las medias con una letra en común no son significativamente diferentes.

Tabla 9. ANDEVA de Hojas Totales a las 10 semanas.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	41	7	6	5	0.0072
Bloque	2	3	1	4.6 e-01	0.7150
Tratamiento	39	4	10	8	0.0017
Error	14	12	1		
Total	55	19			

Elaborado por: El Autor

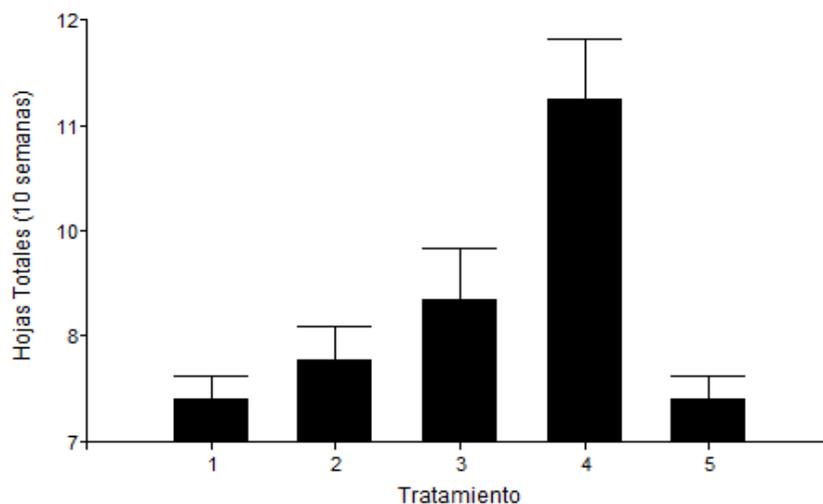
Tabla 10. Medias de Hojas totales a las 10 semanas en los tratamientos del ensayo

Tratamiento	Hojas Totales	
T1	8	B
T2	8	B
T3	9	B
T4	11	A
T5	8	B
Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (P>0.05). CV=13%		

Elaborado por: El Autor.

A las 10 semanas de enfunde se observa el mismo patrón que a las 0 semanas en cual existen dos rangos de significancia (A y B). El tratamiento T4 es el de mayor cantidad de hojas totales con 11 hojas que de acuerdo con el test de Duncan es estadísticamente diferente (P>0.05) a los demás tratamientos (T1, T2, T3, T5). El tratamiento testigo (T5) así como el T1 y T2 tuvieron 8 hojas mientras que el T3 se visualizó 9 hojas (Gráfico 7).

Gráfico 6. Hojas totales a las 10 semanas de los tratamientos del ensayo.



Elaborado por: El Autor

4.2 Hojas Libres de estrías (HLE)

4.2.1 Hojas Libres de Estrías a las 0 semanas.

En paralelo con el conteo de hojas totales a las 0 y 10 semanas también se inspeccionaron las hojas para conocer cuántas hojas de cada planta estaban libres de estrías, lo que indica el inicio de la infección de la Sigatoka Negra. Los datos obtenidos de los diferentes bloques se encuentran en la Tabla 11 se observa el número de hojas libres de estrías por bloques. Los coeficientes de variación de los tratamientos están dentro del rango de aceptación en ensayos de campo.

Tabla 11. Datos de hojas libres de estrías (HLE) de plantas con 0 y 10 semanas.

Bloque	0 Semanas					10 Semanas				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
1	7	8	7	9	7	3	3	5	6	3
2	7	8	7	8	8	3	2	5	8	3
3	5	7	7	8	7	3	3	5	5	2
4	8	8	8	8	7	3	3	4	6	3
X	7	8	7	8	7	3	3	5	6	3
SD	1.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.0	0.5	0.5	1.3	0.5
CV%	18.6	6.5	6.9	6.1	6.9	0.0	18.2	10.5	20.1	18.2

X: Media, SD: Desviación estándar, CV%: Coeficiente de variación

Elaborado por: El Autor

Según el ANDEVA (Tabla 12) se observa que no existen diferencias en el tratamiento porque $P > 0.05$.

Tabla 12. ANDEVA de Hojas Libres de estrías a las 0 semanas.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	8	7	1	3	0.0501
Bloque	3	3	1	2	0.1130
Tratamiento	5	4	1	3	0.0504
Error	5	12	4.0 e-01		
Total	13	19			

Elaborado por: El Autor

Se observa en la Tabla 13 que en general las HLE se mantuvieron muy similares a la inflorescencia de todos los tratamientos. Los tratamientos T1, T3 y T5 a las 0 semanas tuvieron 7 hojas HLE, mientras que los tratamientos T2 y T4 tuvieron 8 HLE. En la Tabla 13 se muestra que el test de Duncan arroja que no existe diferencias significativas de los tratamientos T1, T2, T3, T4 con el tratamiento testigo (T5). La única diferencia significativa que existió fue la de los tratamientos T1 y T4.

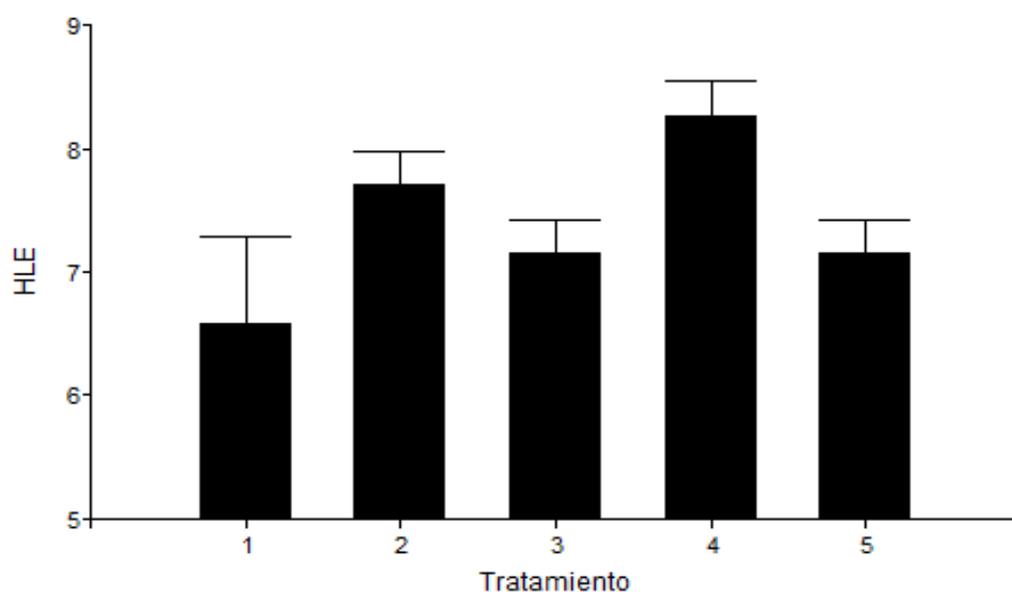
Tabla 13. Medias de Hojas libres de estrías a las 0 semanas en los tratamientos del ensayo

Tratamiento	HLE	
T1	7	B
T2	8	AB
T3	7	AB
T4	8	A
T5	7	AB
Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (P>0.05). CV=9%		

Elaborado por: El Autor

Como se observa en el Gráfico 8 los tratamientos T1, T3 y T5 a las 0 semanas tuvieron 7 hojas HLE, mientras que los tratamientos T2 y T4 tuvieron 8 HLE.

Gráfico 7. Hojas totales a las 0 semanas de los tratamientos del ensayo.



Elaborado por: El Autor.

4.2.2 Hojas Libres de Estrías a las 10 semanas.

Los datos obtenidos de los diferentes bloques se encuentran en la Tabla 11 se observa el número de hojas libres de estrías por bloques a las 10 semanas de la inflorescencia. Los CV% de los tratamientos están dentro del rango de aceptación en ensayos de campo.

Según el ANDEVA (Tabla 14) podemos observar que existe diferencias en el tratamiento porque $P < 0.05$.

Tabla 14. ANDEVA de Hojas Libres de estrías a las 10 semanas

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40	7	6	11	0.0002
Bloque	1	3	3.3 e-01	1	0.5885
Tratamiento	39	4	10	19	<0.0001
Error	6	12	1		
Total	46	19			

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 15 se observa la media de los resultados de los tratamientos del ensayo. Se observa que existen 3 rangos estadísticos (A, B y C), en los cuales T1, T2, T3 se encuentran agrupados en los rangos BC, mientras que el T3 con el grupo B y el T4 grupo A.

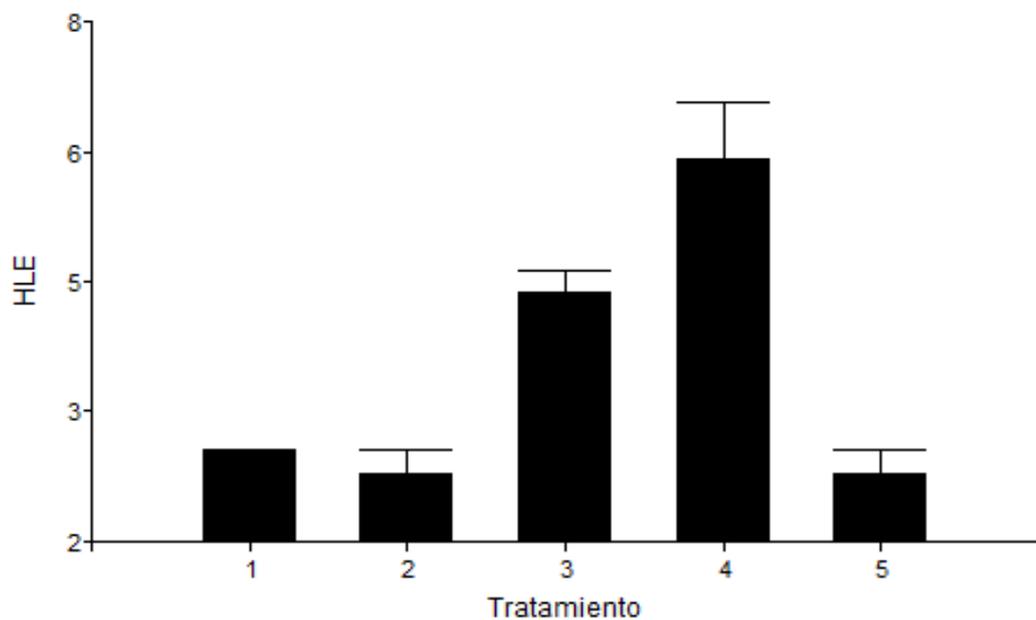
Tabla 15: Medias de Hojas Libres de Estrías a las 10 semanas en los tratamientos del ensayo.

Tratamiento	HLE	
T1	3	B C
T2	3	B C
T3	5	B
T4	6	A
T5	3	B C
Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (P>0.05). CV=8%		

Elaborado por: El Autor.

Por medio del Test de Duncan se demuestra que el tratamiento T4 tiene diferencias significativas ($P>0.05$) a los demás tratamientos, con 6 hojas libres de estrías a las 10 semanas. El tratamiento testigo (T5) así como el T1 y T2 salieron con 3 HLE y el T3 con 5 HLE (Gráfico 9).

Gráfico 8. Hojas totales a las 10 semanas de los tratamientos del ensayo.



Elaborado por: El Autor

4.3 Índice de severidad

En el ensayo se evaluaron las hojas a la semana 0 y en la semana 10, por medio de la Escala de Stover se procedió a calificar el grado de severidad en la que se encontró la hoja inspeccionada y con la fórmula de Townsend y Heuberger se calculó el índice de severidad (%). Los coeficientes de variación de los tratamientos están dentro del rango de aceptación en ensayos de campo.

4.3.1 Índice de severidad 0 semanas.

Los datos obtenidos de los índices de severidad a las 0 semanas de los diferentes bloques se encuentran en la Tabla 16. Los CV% de los tratamientos están dentro del rango de aceptación en ensayos de campo.

Tabla 16. Datos de los índices de severidad (IS) por bloque a las 0 semanas.

Bloque	0 Semanas					10 Semanas				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
1	14.14	12.59	15.24	14.29	14.86	27,96	23.44	20	16.26	22.44
2	13.77	12.5	12.75	14.12	11.67	22.62	25.36	24.19	15.38	25.36
3	20.18	18.06	13.73	11.63	15.97	26.67	29.49	19.05	19.44	28.99
4	14.35	13.04	13.81	13.16	18.57	25.69	25	21.53	20.95	28.79
X	15.61	14.05	13.88	13.30	15.27	26	26	21	18	26
SD	3.06	2.69	1.03	1.22	2.86	2.28	2.58	2.24	2.62	3.12
CV%	19.58	19.12	7.39	9.17	18.72	8.84	10.00	10.59	14.58	11.82

X: Media, SD: Desviación estándar, CV%: Coeficiente de variación

Elaborado por: El Autor

Tabla 17. ANDEVA de índices de severidad (IS) a las 0 semanas

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	37.38	7	5.34	1.07	0.4349
Bloque	22.12	3	7.37	1.48	0.2688
Tratamiento	15.27	4	3.82	0.77	0.5664
Error	59.66	12	4.97		
Total	97.04	19			

Elaborado por: El Autor

Según el ANDEVA (Tabla 17) se observa que no existen diferencias en los tratamientos porque el $P > 0.05$, y por lo tanto se acepta la hipótesis nula donde las medias no son significativamente diferentes. En la Tabla 18 se observa la media de los resultados de los tratamientos del ensayo.

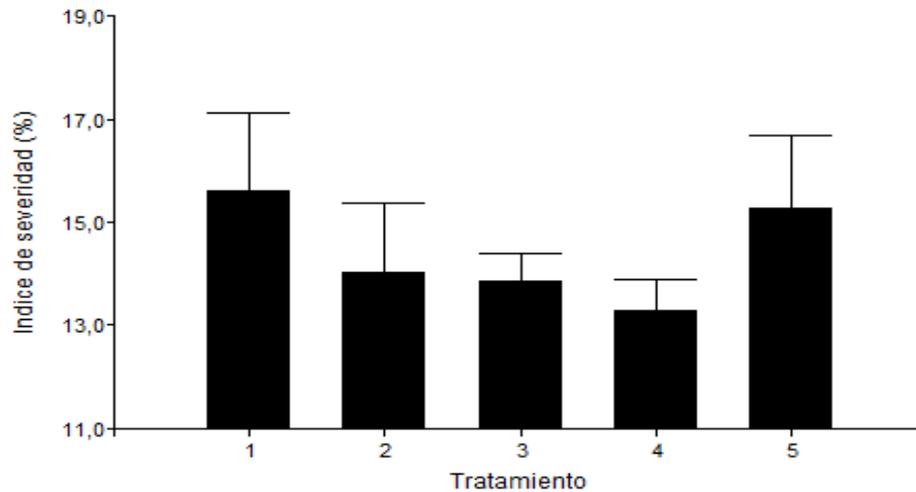
Tabla 18. Medias de los índices de severidad a las 0 semanas.

Tratamiento	Índice de severidad (%)	
T1	15.61	A
T2	14.05	A
T3	13.88	A
T4	13.30	A
T5	15.27	A
Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0.05$). CV=18%		

Elaborado por: El Autor

Se puede observar que los menores índices de severidad son los tratamientos T3, T4. Los valores de índice de severidad a las 0 semanas de los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 son 15.61%, 14.05%, 13.88%, 13.30% y 15.27% respectivamente, lo que también se puede visualizar en la Gráfico 10.

Gráfico 9. Índice de Severidad (%) a las 0 semanas de los tratamientos del ensayo.



Elaborado por: El Autor

4.3.2 Índice de severidad 10 semanas.

Los datos obtenidos de los índices de severidad a las 10 semanas de los diferentes bloques se encuentran en la Tabla 16.

Según el ANDEVA (Tabla 19) se observa que existe diferencias en el tratamiento debido a que $P < 0.05$.

Tabla 19. ANDEVA de índices de severidad (IS) por bloque a las 10 semanas

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	243.54	7	34.79	5.65	0.0046
Bloque	26.59	3	8.86	1.44	0.2803
Tratamiento	216.95	4	54.24	8.80	0.0015
Error	73.92	12	6.16		
Total	317.46	19			

Elaborado por: El Autor.

Tabla 20. Medias de los índices de severidad.

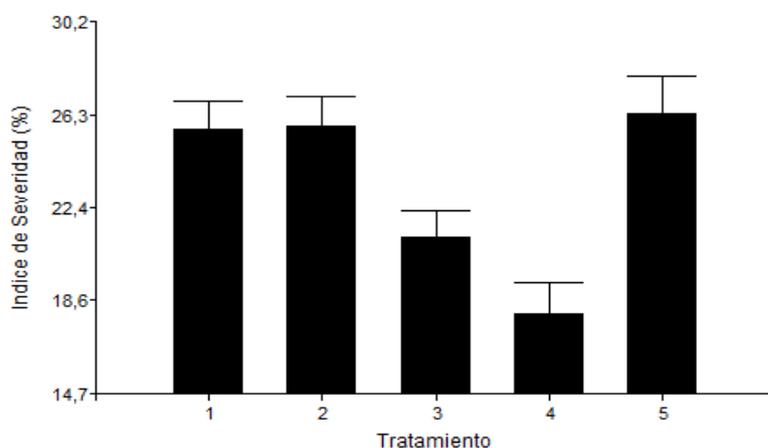
Tratamiento	Índice de severidad (%)	
T1	25.74	A
T2	25.82	A
T3	21.19	B
T4	18.01	B
T5	26.40	A
Medias con una letra en común no son significativamente diferentes (P>0.05).CV=15.5%		

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 20 se observa la media de los resultados de los tratamientos del ensayo, indicando además las diferencias significativas entre tratamientos. Como se observa en la Tabla 20 en el Test de Duncan se encontró que existe que los tratamientos T3 y T4 son estadísticamente diferente (P>0.05) a los demás tratamientos. Mientras que en entre T3 y T4 no existen diferencias significantes.

Los valores de índice de severidad a las 10 semanas de los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 son 25.75%, 25.82%, 21.19%, 18.01% y 26.40% respectivamente, lo que también se puede visualizar en la Gráfico 11.

Gráfico 10: Índice de Severidad (%) a las 0 semanas de los tratamientos del ensayo.



Elaborado por: El Autor

4.4 Número de hojas a la cosecha

Al momento de la cosecha se observó el número de hojas de todas las plantas de los tratamientos y bloques, los datos obtenidos de los diferentes bloques se encuentra en la Tabla 21 se observa el número total de hojas a la cosecha por bloques. Los CV% de los tratamientos están dentro del rango de aceptación en ensayos de campo.

Tabla 21. Datos de las hojas totales a la cosecha.

Bloque	Hojas totales (T1)	Hojas totales (T2)	Hojas totales (T3)	Hojas totales (T4)	Hojas totales (T5)
1	5	5	6	7	5
2	5	5	6	6	5
3	5	6	6	7	4
4	5	6	7	7	4
Media (X)	5	6	6	7	5
Desviación Estándar (SD)	0,00	0,58	0,50	0,50	0,58
Coficiente de Desviación (CV%)	0,00	10,50	8,00	7,41	12,83

Elaborado por: El Autor

Según el ANDEVA (Tabla 22) se observa que existe diferencias en el tratamiento ($p < 0.05$).

Tabla 22. ANDEVA de hojas totales a la cosecha.

F.V	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	40	7	6	11	0.0002
Bloque	1	3	3.3 e-01	1	0.5885
Tratamiento	39	4	10	19	<0.0001
Error	6	12	1		
Total	46	19			

Elaborado por: El Autor

En la Tabla 23 se observa las medias de los resultados de los tratamientos del ensayo, indicando además las diferencias significativas entre tratamientos.

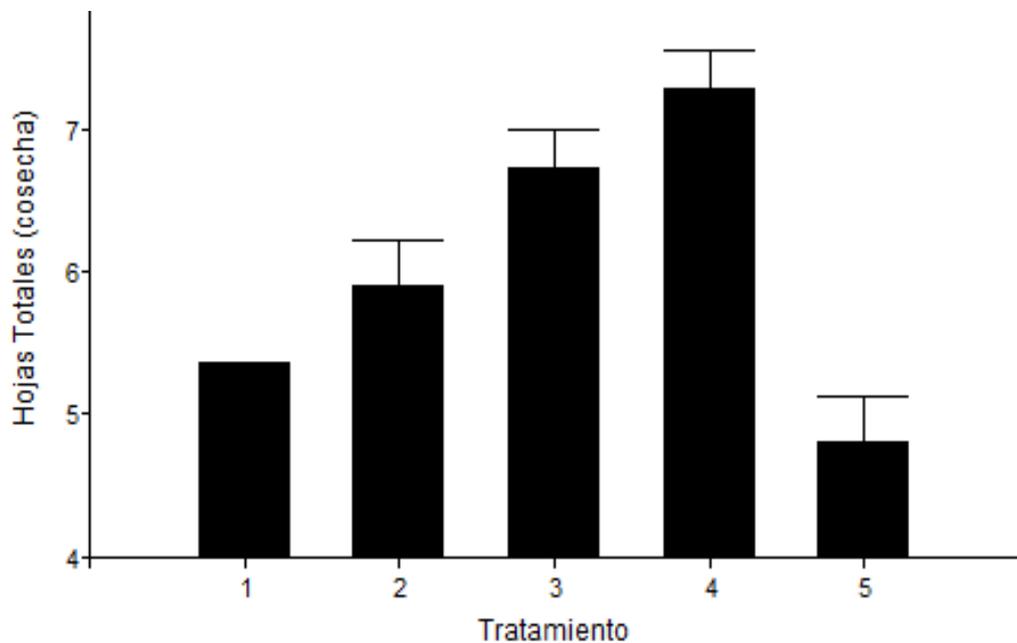
Tabla 23. Medias del número de hojas totales a la cosecha.

Tratamiento	Número de hojas	
T1	5	C D
T2	6	B C
T3	6	A B
T4	7	A
T5	5	D
Medias con una letra en común no son significativamente diferentes ($P > 0.05$). CV=10.6%		

Elaborado por: El Autor.

Como se observa en la Tabla 23 el tratamiento T4 es el de mayor cantidad de hojas totales con 7 hojas (Gráfico 11) que de acuerdo al test de Duncan al 5% es estadísticamente diferente ($P>0.05$) a los tratamientos T1, T2, T5 con números de hojas totales a la cosecha de 5, 6 y 5 respectivamente, mientras que T3 con 6 hojas se encuentra en un rango de significancia similar al T4 (A y B). El tratamiento testigo T5 con el rango de significancia D tiene diferencias significativas con los tratamientos T2, T3, T4.

Gráfico 11. Número totales de hojas a la cosecha.



Elaborado por: El Autor

5 DISCUSION

La Sigatoka negra causada por el hongo *Pseudocercospora fijiensis* (previamente conocida como *Mycosphaerella fijiensis*), es la enfermedad foliar más destructiva del banano en todo el mundo (Fullerton y Casonato, 2019). La Sigatoka negra no destruye inmediatamente a las plantas de banano, pero causa una necrosis foliar severa, lo que resulta en una reducción del área fotosintética, y que en su efecto incide negativamente al peso del racimo y la producción de frutos (Goenaga, Irish, y Marrero, 2019).

En las plantaciones de banano como medida de control de la Sigatoka negra se busca llegar con el mayor número de hojas a la parición por lo mencionado anteriormente para que así la planta tenga mayor capacidad fotosintética y así ayude a un mejor desarrollo del fruto. Es conocido que la Sigatoka Negra produce puntos oscuros que se convierten en manchas y progresivamente destruye la lámina foliar hasta causar la defoliación total de la planta (Segura, 2018). De la misma manera se trata de llegar con el mayor número de hojas a la cosecha para evitar maduración temprana del racimo (Churchill, 2016).

El número total de hojas en plantas recién florecidas es de 12 a 14. Se debería mantener de 8 a 10 hojas durante la fase de desarrollo de la inflorescencia y 5 a 8 hojas para el momento de cosecha (Almodovar y Diaz, 2017). En el presente trabajo se evaluó el número total de hojas en las plantas 0 y 10 semanas y en plantas a la cosecha, debido a que en estas etapas fisiológica se puede establecer los niveles de infección causado por el hongo de la Sigatoka negra y consecuentemente se puede determinar los tipos de fungicidas y las frecuencias de aplicación. De acuerdo a los resultados obtenidos podemos observar que el tratamiento 4 (T4) presenta los mejores números de hojas totales en todas las etapas (0 semanas, 10 semanas y a la cosecha) con 13, 11 y 8 hojas respectivamente, mientras que para el testigo

(T5) 11, 8, y 5 hojas totales que es un resultado no óptimo para cosechar frutos de calidad (Villegas, Rey, Mosquera, Gutierrez, & Sánchez, 2016)

En la variable de hojas libres de estrías (HLE) los resultados fueron similares a los de hojas totales. A las 0 semanas las variaciones son mínimas con 7 y 8 hojas libres de estrías, siendo los tratamientos T2 y T4 los de 8 HLE. A las 10 semanas el tratamiento T4 es el tratamiento donde tiene la mayor cantidad de hojas libres de estrías (6) lo que es un indicativo del impacto de la Sigatoka Negra en la hojas. el T3 también dio resultados óptimos con HLE de 5, mientras que los T1, T2 y T5 con 3. Estos resultados se asemejan con el estudio de Villegas et al. (2016).

El índice de severidad nos indica el nivel de infección en el cual se encuentra la planta, Por esta razón se deben hacer evaluaciones periódicas (semanales o quincenales) sobre la incidencia y severidad de la sigatoka negra en cada finca, el método de Stover Modificado por Gauhl califica visualmente el área total cubierta por todos los síntomas de la enfermedad en cada hoja de plantas próximas a la floración. Esta escala incluye seis, donde el grado 1 es el de menor afectación y presenta pequeñas lesiones o puntos de color blanco-amarillento a marrón, de 1 mm de longitud, denominadas pizcas, que se pueden visualizar en el envés de las hojas, y llega hasta el grado 6 donde se presenta manchas con centro seco y hundido, de coloración marrón clara, rodeadas de tejido clorótico (Bitencourt, dos Santos, Jario, Souza, y Branco, 2020).

El rango de aceptación según los expertos en el tema sugieren que una hoja de banano no debería pasar del grado de severidad 4 según Stover (Álvarez, Pantoja, Gañán, y Ceballos, 2013). Los resultados obtenidos en el presente ensayo sugieren que el *Bacillus subtilis* a dosis mayores de 1.5 L/ha, son óptimos en el control frente a la Sigatoka Negra. Hay que mencionar que formulador del producto indica que la dosis recomendada es la de 1 L/ha, la cual no es eficaz para el control de la Sigatoka negra. El tratamiento T4 con

dosis de 2 L/ha fue el de menor Índice de severidad con 18% al contrario del tratamiento testigo (T5) en el cual el índice de severidad fue de 26%.

En estudios realizados por Gutierrez , Mosquera, Gonzales , Mira, y Villega (2016) aplicaron *Bacillus Subtilis* (BS) en plantaciones de banano con sigatoka negra para evaluar su eficacia. Aplicaron el BS en solución con agua a 0.15 L/ha y 1.5 L/ha cada 11 días durante 10 semanas redujeron la gravedad de la Sigatoka negra en un 20,2% y un 28,1% respectivamente; reducciones comparables a las obtenidas con los fungicidas protectores clorotalonil (1,5 L/ha) y mancozeb (3,8 L/ha). El BS incorporado en diferentes programas con fungicidas sistémicos redujo el nivel de enfermedad hasta en un 42,9% sin diferencias significativas con el programa convencional. Estos resultados son similares a los del presente ensayo en el cual las dosis de 1.5 (T3) y 2 L/ha (T4) se obtuvieron los mejores resultados, controlando la infección en un 20 y 32% respectivamente.

En otro ensayo realizado por Villegas et al. (2016) en un programa de fumigación de 7 ciclos en Medellín, Colombia compararon el uso de mancozeb (2 l/ha) o *Bacillus subtilis* ($2.0 \pm 1.0 \times 10^9$ CFU/m, 1.0 L/ha) en una mezcla de fungicidas sistémicos. Encontraron que no existe diferencia significativa entre usar mancozeb (2 L/ha) o *Bacillus subtilis* ($2.0 \pm 1.0 \times 10^9$ CFU/m, 1.5 L/ha), un resultado favorable para el uso de del microorganismo como alternativas agroecológicas para el control de la Sigatoka negra. Los autores comentaron que los factores ambientales afectan la efectividad del programa de biocontrol con *Bacillus subtilis*.

Con esta alternativa se espera lograr disminuir el uso de fungicidas químicos y a su vez bajamos los costos de producción, debido a que el uso de productos fitosanitarios para el control de la sigatoka negra se verán disminuidos.

6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

- Se evaluó el efecto del uso de *Bacillus subtilis* para el control de la infección de la Sigatoka Negra (*Mycosphaerella fijiensis*) en el cultivo de banano en el sector de La Troncal y se encontró que el tratamiento T4 con una dosis de 2 L/ha es efectiva como control biológico como sugiere la evidencia de la experimentación realizada.
- Se identificó los numero totales de hojas totales a las 0 semanas (enfunde) y a las 10 semanas en los cuales a las 0 semanas se tuvo un promedio de 12 hojas en todos los tratamientos excepto en el T4 donde alcanzo un total de 13 hojas. A las 10 semanas el T4 tuvo 11 hojas al contrario del testigo que tuvo 9 hojas. En cuanto a las hojas libre de estrías HLE se identificó que a las 0 semanas tuvieron un promedio de 7 y 8, mientras que a las 10 semanas los tratamientos T3 y T4 tuvieron 5 y 6 HLE, al contrario del testigo (T5) que un valor muy bajo para una planta sana de banano con 3 HLE.
- Con el análisis de las hojas se calculó el índice de severidad a las 0 y 10 semanas. A las 0 semanas no hubo diferencias significativas entre tratamientos. A las 10 semanas los tratamientos T3 (1.5 L/ha) y T4 (2 L/ha) fueron los de menor índice de severidad con 21.19% y 18.01% respectivamente, mientras que el testigo (T5) tuvo un índice de severidad de 26.40%.
- Se determinó que el número de total de hojas a la cosecha de los tratamientos estuvo marginalmente dentro del rango con 5-6 hojas excepto el tratamiento T4 con 7 hojas totales a la cosecha.

6.2 Recomendaciones

- Se recomienda realizar investigaciones con la dosis del Tratamiento T4 desde la plantilla.
- Se recomienda aplicar combinación de microorganismos como *B. subtilis* con la asociación de *Trichoderma* y *Pseudomonas* para evaluar la respuesta.
- Se recomienda observar cómo afecta el aplicar *Bacillus subtilis* a los microorganismos del suelo.
- Analizar los nutrientes foliares y edáficos después de aplicar *Bacillus subtilis*

7 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Adirano-Mayo, M., Mejía-Ortiz, J., Ovando-Medina, I., Albores-Flores, V., & Salvador-Figueroa, M. (2018). Effect of alcoholic extracts of garlic (*Allium sativum*) and clove (*Syzygium aromaticum*) on the development of *Mycosphaerella fijiensis* Morelet. *Mexican Journal of Phytopathology*, 36, 379–393. <https://doi.org/10.18781/R.MEX.FIT.1805-2>
- AgroBioTech. (2017). Banane Williams banana.pdf. Retrieved May 10, 2021, from <http://www.agrobiotech.bio/en/banana/34-banane-verte.html>
- Almodovar, W., & Diaz, M. (2017). *Universidad de Puerto Rico- Recinto de Mayagüez*. Obtenido de https://academic.uprm.edu/walmodovar/HTMLobj-276/Manual_ID_y_MIP_de_SN_y_Enferm_Plat_y_Guineo.pdf
- Álvarez, E., León, S., Sánchez, M., & Cusme, B. (2020). Evaluación socioeconómica de la producción de plátano en la zona norte de la Provincia de los Ríos. *Journal of Business and Entrepreneurial Studies*, 4, 86–97. <https://doi.org/doi.org/10.37956/jbes.v4i2.78>
- Álvarez, E., Pantoja, A., Gañán, L., & Ceballos, G. (2013). *La Sigatoka negra en plátano y banano*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO).
- Alvarez, E., Pantoja, A., Gañan, L., & Ceballos, G. (2013a). Estado del arte y opciones de manejo del Moko y la Sigatoka negra en América Latina Y el Caribe. *Centro Internacional de Agricultura Tropical*, 387. Retrieved from <http://www.fao.org/3/i3400s/i3400s.pdf>
- Alvarez, E., Pantoja, A., Gañan, L., & Ceballos, G. (2013b). *La Sigatoka negra en plátano y banano. Guía para el reconocimiento y manejo de la enfermedad, aplicado a la agricultura familiar*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/as089s/as089s.pdf>
- Amobonye, A., Bhagwat, P., Pandey, A., Singh, S., & Pillai, S. (2020). Biotechnological potential of *Beauveria bassiana* as a source of novel biocatalysts and metabolites. *Critical Reviews in Biotechnology*, 40,

1019–1034. <https://doi.org/10.1080/07388551.2020.1805403>

- Arafati, N., Farzadfar, S., & Pourrahim, R. (2013). Characterization of Coat Protein Gene of Cucumber Mosaic Virus Isolates in Iran. *Iranian Journal of Biotechnology*, 11, 109–104. <https://doi.org/10.5812/ijb.10715>
- Arias-Londoño, M., Zapata-Ocampo, P. A., Mosquera-Arevalo, A. R., Sanchez-Torres, J., & L, A.-G. (2019). Antifungal protein determination for submerged cultures of the medicinal mushroom *Ganoderma lucidum* (Ganodermataceae) with activity over the phytopathogen fungus *Mycosphaerella fijiensis* (Mycosphaerellaceae). *Actualidades Biológicas*, 41(111), 53–64. <https://doi.org/10.17533/udea.acbi.v41n111a04>
- Arroyave, J., Mosquera, S., & Villegas, V. (2017). Actividad de biocontrol de células y lipopéptidos de *Bacillus subtilis* EA-CB0015 frente a hongos patógenos poscosecha. *CONTROL BIOLÓGICO*, 114, 195-200.
- Aziz, S. M. A., Ahmed, O. M., El-Twab, S. M., Al-Muzafar, H. M., Amin, K. A., & Abdel-Gabbar, M. (2020). Antihyperglycemic Effects and Mode of Actions of *Musa paradisiaca* Leaf and Fruit Peel Hydroethanolic Extracts in Nicotinamide/Streptozotocin-Induced Diabetic Rats. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 2020, 15. <https://doi.org/doi.org/10.1155/2020/9276343>
- Bakhiet, S., & Elbadri, G. (2004). Infomusa. La revista Internacional sobre Bananos y Platanos, 13(1), 12–14.
- BANANO, T. D. (16 de 4 de 2018). *Taxonomia del banano*. Obtenido de taxonomia del banano: <http://taxonomiadeplantasgrado93.blogspot.com/2018/04/taxonomia-del-banano.html>
- Baridon, J., & Villarreal, E. (06 de 08 de 2017). *UNLP*. Obtenido de <https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/10196/course/section/2634/CULTIVO%20DE%20BANANO%202017.pdf>
- Becker, P., Esker, P., & Umaña, G. (2021). Incorporation of microorganisms to reduce chemical fungicide usage in black sigatoka control programs in Costa Rica by use of biological fungicides. *Crop Protection*, 146, 105657. <https://doi.org/doi.org/10.1016/j.cropro.2021.105657>

- Benner, R., & Arneson, P. (2003). Black sigatoka of bananas and plantains. *The Plant Health Instructor*. <https://doi.org/10.1094/PHI-I-2003-0905-01>
- Bitencourt, V., dos Santos, A., Jario, L., Souza, C., & Branco, J. (2020). The use of UAVs in monitoring yellow sigatoka in banana. *Biosystems Engineering*, 193(1), 115-125.
- Capa Benítez, L. B., Alaña Castillo, T. P., & Benítez Narváez, R. M. (2016). Importancia de la Producción de banano orgánico. Caso: Provincia El Oro, Ecuador. *Universidad y Sociedad*, 8(3), 64–71.
- Churchill, A. (2016). *Mycosphaerella fijiensis*, the black leaf streak pathogen of banana: progress towards understanding pathogen biology and detection, disease development, and the challenges of control. *MOLECULAR PLANT PATHOLOGY*, 12(4), 307-308.
- Cortéz, G. (1994). *Atlas agropecuario de Costa Rica*. San Jose, C.R: EUNED. CROPLIFE. (12 de 08 de 2020). CROPLIFE. Obtenido de <https://www.croplifela.org/es/plagas/listado-de-plagas/sigatoka-negra>
- Cruz-Martín, M., Acosta-Suárez, M., Mena, E., Roque, B., Pichardo, T., & Alvarado-Capó, Y. (2017). Antifungal activity of *Musa* phyllosphere *Bacillus pumilus* strain against *Mycosphaerella fijiensis*. *Tropical Plant Pathology*, 42, 121–125. <https://doi.org/10.1007/s40858-017-0139-3>
- Exterior, M. d. (12 de 2017). *Informe sector bananero ecuatoriano*. Recuperado el 08 de 08 de 2021, de informe sector bananero ecuatoriano: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-esp%C3%B1ol-04dic17.pdf>
- FAO. (07 de 2013). *La Sigatoka Negra en platano y banano*. Obtenido de La Sigatoka Negra en platano y banano: <http://www.fao.org/3/as089s/as089s.pdf>
- FAO. (2016). *Ecuador's banana sector under climate change: An economic and biophysical assessment to promote a sustainable and climate-compatible strategy*. Roma, Italy.
- FAO. (2020). *Análisis del mercado del banano de 2019*. Roma.

- FAOSTAT. (2019). *FAOSTAT*. Obtenido de FAOSTAT: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC/visualize>
- fruticola, P. (03 de 03 de 2021). *Portal fruticola*. Obtenido de Portal fruticola: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/03/03/ecuador-bajan-exportaciones-de-banano-en-principales-mercados-durante-enero-de-2021/>
- Fullerton, R., & Casonato, S. (2019). The infection of the fruit of 'Cavendish' banana by *Pseudocercospora fijiensis*, cause of black leaf streak. *Eur J Plant Pathol*, 155(3).
- Goenaga, R., Irish, B., & Marrero, A. (2019). Yield and Fruit Quality Traits of Two Plantain Cultivars Grown at Two Locations in Puerto Rico under Black Leaf Streak Disease Pressure. *HortTechnology*, 29(6), 958–966.
- Gomez, M., Vergara, A., Ruiz, H., Safari, N., Elayabalan, S., Ocimati, W., & Blomme, G. (2019). AI-powered banana diseases and pest detection. *Plant Methods*, 15(92), 1-11.
- Gonzabay, R. (2017). Cultivo del banano en el Ecuador. *Revista AFESE*, 58(58), 1-10.
- Guillen, D. (28 de 03 de 2017). *Eficacia de seis fungicidas en el control de Mycosphaerella citri Whiteside en naranja, Var. 'Valencia' en Tlayecac, Morelos, México*. Recuperado el 09 de 08 de 2021, de <http://cagricola.uclv.edu.cu/descargas/html/v44n3/body/cag10317.html>
- Gutierrez , j., Mosquera, S., Gonzales , L., Mira, J., & Villega , V. (2016). Control efectivo de la enfermedad de Sigatoka negra usando un fungicida microbiano basado en cultivo de *Bacillus subtilis* EA-CB0015. *Control biológico*, 87, 39-46.
- Guzman, M. (2012). Control biológico y cultural de la sigatoka-negra. *Tropical Plant Pathology*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2927.7442>
- Guzmán, M., Orozco-Santos, M., & Perez, L. (2013). Las enfermedades sigatoka de las hojas del banano: dispersión, impacto y evolución de las estrategias de manejo en américa latina y el caribe. In *XX Reunião Internacional da Associação para a Cooperação em Pesquisa e Desenvolvimento Integral das Musáceas (Bananas e Plátanos)* (pp. 98–

116).

- INAMHI. (2013). *Anuario Meteorológico*. Obtenido de <https://www.inamhi.gob.ec/wp-content/uploads/anuarios/meteorologicos/Am%202011.pdf>
- InfoAgro. (2021). *El cultivo del plátano (banano)*. Obtenido de https://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_platano__banano_.asp
- INIAP. (2009). *Tecnologías para regular la incidencia del virus del estriado del banano (BSV) en plantaciones comerciales de musaceas en Ecuador*. Retrieved from <http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=INIAP.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=001661>
- INTAGRI. (18 de 10 de 2018). *MANEJO DE LA SIGATOKA NEGRA EN BANANO*. Obtenido de MANEJO DE LA SIGATOKA NEGRA EN BANANO: <https://www.intagri.com/articulos/frutales/manejo-de-la-sigatoka-negra-en-banano>
- IVAMI. (2021). Obtenido de <https://www.ivami.com/es/microbiologia-de-alimentos/642-bacillus-subtilis-investigacion-y-recuento>
- Khan, A., Das, A., Murmu, I., & Debnath, S. (2019). *Genetic Diversity in Banana*.
- Lauderbaugh, G. M. (2012). *The History of Ecuador, The Greenwood Histories of the Modern Nations*.
- MAG. (2018). Ministerio de Agricultura y Ganadería. Producción bananera en Ecuador. Retrieved from <https://www.agricultura.gob.ec/produccion-bananera-de-ecuador-sera-fortalecida/>
- MAGAP. (09 de 09 de 2019). *MAGAP*. Obtenido de MAGAP: <https://www.agricultura.gob.ec/agricultura-la-base-de-la-economia-y-la-alimentacion/>
- Manzo, G., Guzman, S., Rodriguez, C., James, A., & Orozco, M. (2005). Biología de *Mycosphaerella fijiensis* Morelet y su Interacción con. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 23, 87–96.

- Marín, D. (28 de 11 de 2018). *Instructivo para la evaluacion de incidencia y severidad*. Obtenido de https://ditisa.net/files/5ffdc14f1f74_Anexo%204.2-1_Instructivo%20para%20la%20evaluaci%F3n%20de%20Incidencia%20y%20Severidad%20de%20la%20Sigatoka%20negra.pdf
- Mejía, G. (2018). *Cultivo de plátano (Musa paradisiaca)*.
- Mendoza, M. (2 de 10 de 2019). *Un mapamundi bananero dominado por Ecuador*. Obtenido de líderes: <https://www.revistalideres.ec/lideres/mapamundi-banano-ecuador-exportaciones-produccion.html>
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (09 de 09 de 2019). MAG. Obtenido de MAG: <https://www.agricultura.gob.ec/agricultura-la-base-de-la-economia-y-la-alimentacion/>
- Ministerio de Comercio Exterior. (12 de 2017). *Informe sector bananero ecuatoriano*. Recuperado el 08 de 08 de 2021, de informe sector bananero ecuatoriano: <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2019/06/Informe-sector-bananero-esp%C3%B1ol-04dic17.pdf>
- MPCEIP. (2017). Informe Sector Bananero Ecuatoriano. Retrieved May 10, 2021, from <https://www.produccion.gob.ec/informes-sectoriales-banano/>
- NCBI. (2020). *NCBI*. Obtenido de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/Browser/wwwtax.cgi?mode=Info&id=214697&lvl=3&lin=f&keep=1&srchmode=1&unlock>
- Orozco-Santos, M., Orozco-Romero, J., Pérez-Zamora, O., Manzo-Sánchez, G., Farías-Larios, J., & Da Silva Moraes, W. (2008). Prácticas culturales para el manejo de la Sigatoka negra en bananos y plátanos. *Tropical Plant Pathology*, 33, 189–196.
- Ploetz, R. C. (2015). Fusarium Wilt of Banana. *Phytopathology*, 105, 1512–1521. <https://doi.org/doi.org/10.1094/PHYTO-04-15-0101-RVW>
- Portal Frutícola. (03 de 03 de 2021). *Portal frutícola*. Obtenido de Portal frutícola: <https://www.portalfruticola.com/noticias/2021/03/03/ecuador->

bajan-exportaciones-de-banano-en-principales-mercados-durante-enero-de-2021/

- Russo, M., Scorsetti, A. C., Vianna, M. F., Cabello, M., Ferreri, N., & Pelizza, S. (2019). Endophytic Effects of *Beauveria bassiana* on Corn (*Zea mays*) and Its Herbivore, *Rachiplusia nu* (Lepidoptera:Noctuidae). *Insects*, 10, 1–9.
- Sánchez, E. M. (8 de 7 de 2020). *SECTOR BANANERO*. Obtenido de SECTOR BANANERO: <https://blogs.cedia.org.ec/obest/wp-content/uploads/sites/7/2020/08/Sector-bananero-ecuatoriano-final.pdf>
- Saxena, A., Kumar, M., Chakdar, H., Anuroopa, N., & Bagyaraj, D. (2019). *Bacillus* species in soil as a natural resource for plant health. *Journal of Applied Microbiology*, 1583-1594.
- Schoch, C. (2020). NCBI Taxonomy: a comprehensive update on curation, resources and tools. Retrieved May 9, 2021, from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/Taxonomy/>
- Segura, A. (2018). *Intagri*. Obtenido de <https://www.intagri.com/articulos/frutales/manejo-seguro-eficiente-y-sostenible-de-la-sanidad-del-cultivo-de-banano>
- Selvaraj, M., Vergara, A., Ruiz, H., Safari, N., Elayabalan, S., Ocimati, W., & Blomme, G. (2019). AI - powered banana diseases and pest detection. *Plant Methods*, 15(92), 1–11. <https://doi.org/10.1186/s13007-019-0475-z>
- Tropical, C. N. (07 de 2013). *La Sigatoka Negra en platano y banano*. Obtenido de La Sigatoka Negra en platano y banano: <http://www.fao.org/3/as089s/as089s.pdf>
- Villareal, M., Villa , E., Cira, L., Estrada, M., Parra, F., & De los santos , S. (2018). El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola. *Revista mexicana de fitopatología*, 31(1), 95-130.
- Villegas, V., Rey, V., Mosquera, S., Gutierrez, J., & Sánchez, J. (2016). Incorporation of a microbial fungicide into a chemical fungicide program for the control of black sigatoka disease in banana plants. *Biological and integrated control of plant pathogens*, 116, 74-78.

ANEXO 1

Evidencias fotográficas del ensayo durante el año 2021

Gráfico 12: Ensayo en La Troncal (km 4, via a Puerto Inca), provincia del Cañar.



Elaborado por el autor

Gráfico 13. Medición del producto del Agente de control biológico (*Bacillus subtilis*) en solución líquida.



Elaborado por el autor

Gráfico 14: Mezcla de la solución de *Bacillus subtilis* en agua para aplicar a los tratamientos del ensayo



Elaborado por el autor

Gráfico 15. Aplicación del *Bacillus subtilis* por medio de bomba motor a los tratamientos del ensayo.



Elaborado por el autor



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Alcoser Bonifaz José Andrés**, con C.C: # **0927732537** autor del **trabajo de titulación: Uso de Bacillus subtilis para el control de la sigatoka negra (Micosphaerella fijiensis) en el cultivo de banano en el sector de La Troncal-Cañar**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Agropecuario** en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de titulación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de titulación, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, **14 de septiembre del 2021**

f. _____

Nombre: **Alcoser Bonifaz José Andrés**

C.C: **0927732537**

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TEMA Y SUBTEMA:	Uso de <i>Bacillus subtilis</i> para el control de la sigatoka negra (<i>Micosphaerella fijiensis</i>) en el cultivo de banano en el sector de La Troncal-Cañar		
AUTOR(ES)	José Andrés Alcoser Bonifaz		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	Ángel Bernardo Llerena Hidalgo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil		
FACULTAD:	Facultad técnica para el desarrollo		
CARRERA:	Carrera de Ingeniería Agropecuaria		
TÍTULO OBTENIDO:	Ingeniero Agropecuario		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	14 de septiembre de 2021	No. DE PÁGINAS:	59
ÁREAS TEMÁTICAS:	sigatoka negra, banano, <i>Bacillus subtilis</i> , fungicida, índice de severidad		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Sigatoka negra, Banano, <i>Bacillus subtilis</i> , Fungicida, Índice de severidad Black leaf streak, Banana, <i>Bacillus subtilis</i> , Fungicide, Severity index		
RESUMEN/ABSTRACT (150-250 palabras):			
<p>Este estudio consistió en la evaluación del <i>Bacillus subtilis</i> para el control la Sigatoka Negra (<i>Micosphaerella fijiensis</i>) en el cultivo de banano. El experimento se realizó en la finca del Ab. Luis Castro ubicado en el sector de la Troncal, Cañar. El diseño experimental que se empleó fue el DCA con cinco tratamientos y cuatro bloques. Los tratamientos se basaron en diferentes dosis de <i>Bacillus subtilis</i> (BS) ($1-2 \times 10^8$ CFU) de los cuales fueron T1 (0.5 L/ha), T2 (1 L/ha), T3 (1.5 L/ha), T4 (2 L/ha), y T5 (testigo convencional). Las variables que se estudiaron fueron hojas totales, hojas libres de estrías (HLE) y el índice de severidad. Los análisis estadísticos realizados fueron: el análisis de la varianza (ANDEVA) y luego test de Duncan al 5%. Los resultados determinaron que el tratamiento T4, con dosis de 2 L/ha obtuvo los mejores resultados en todas las variables con el número total de hojas a las 0, 10 semanas y a la cosecha con resultados de 13, 11 y 7 hojas totales. En relación a HLE el T4 obtuvo 8 y 6 hojas libres de estrías a las 0 y 10 semanas respectivamente. Finalmente, el índice de severidad fue óptimo para el T4 con un valor de 18.01%. Los resultados sugieren que la dosis de 2 L/ha de BS puede ser un buen complemento en el manejo de la Sigatoka negra en banano.</p>			
ADJUNTO PDF:	<input checked="" type="checkbox"/> SI	<input type="checkbox"/> NO	
CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +593-9-87654321	E-mail: jose.alcoser@cu.ucsg.edu.ec	
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN (COORDINADOR DEL PROCESO UTE):	Nombre: Ing. Noelia Caicedo Coello, MSc.		
	Teléfono: +593-9-87361675		
	E-mail: Noelia.caicedo@cu.ucsg.edu.ec		
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA			
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):			
Nº. DE CLASIFICACIÓN:			
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):			