

# UCUENCA

## Universidad de Cuenca

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Carrera de Ingeniería Agronómica

**Alternativas de manejo de la pudrición basal causada por el hongo *Fusarium* spp. en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*), en el cantón Palora – Morona Santiago**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo

**Autores:**

Segundo Olivo Castro Arcentales

Henry Leonardo López Espinoza

**Director:**

Walter Iván Larriva Coronel

ORCID:  0000-0002-9292-1119

**Cuenca, Ecuador**

2023-04-19

### Resumen

La pitahaya amarilla (*Hylocereus undatus*) es un cultivo de gran importancia en nuestro país, ya que últimamente se ha constituido como un cultivo muy rentable económicamente para los productores del Cantón Palora. Sin embargo, la transición de planta silvestre a cultivo ha traído consigo varios problemas agronómicos, entre ellos los fitosanitarios que reducen significativamente la producción de la planta. Entre ellos los causados por hongos del género *Fusarium*, que para su control el método más utilizado ha sido el químico, sin embargo, el uso de agroquímicos afecta directamente a la calidad del suelo y agua, generando limitaciones para los productores y el medio ambiente, es por esto que se han buscado alternativas más eficientes y rentables como el uso de microorganismos antagonistas para prevenir y erradicar enfermedades fúngicas. Por lo que en la presente investigación se experimentó con controles alternativos y un tradicional. La investigación constó de cuatro tratamientos, cada tratamiento con 5 repeticiones; dando un total de veinte unidades experimentales, cada una de ellas con 5 pencas de pitahaya amarilla con un total de cien. Los tratamientos consistieron en aplicaciones tipo drench de disoluciones inoculadas con *Trichoderma* y *Bacillus subtilis* más un tratamiento químico Carboxina (Vitavax) y un tratamiento control, en plantas infectadas por *Fusarium*. El tratamiento químico resultó ser el más eficiente en el control de *Fusarium*, ya que muestra un porcentaje menor en incidencia y severidad del patógeno, seguido de los controles alternativos *Trichoderma* y *Bacillus subtilis* respectivamente, estas mostraron ser más económicas, pero no más efectivas.

*Palabras clave:* incidencia, severidad, *fusarium*, pitahaya

### Abstract

The yellow pitahaya (*Hylocereus undatus*) is a crop of great importance in our country, since it has recently become a very profitable crop economically for the producers of Cantón Palora. However, the transition from wild plant to cultivation has brought with it several agronomic problems, including phytosanitary problems that significantly reduce the production of the plant. Among them are those caused by fungi of the genus *Fusarium*, which for their control the most used method has been chemical, however, the use of agrochemicals directly affects the quality of soil and water, generating limitations for producers and the environment, which is why more efficient and profitable alternatives have been sought, such as the use of antagonistic microorganisms to prevent and eradicate fungal diseases. For this reason, in the present research we experimented with alternative controls and a traditional one. The research consisted of four treatments, each treatment with 5 replications; giving a total of twenty experimental units, each with 5 yellow pitahaya stalks for a total of one hundred. The treatments consisted of drench type applications of solutions inoculated with *Trichoderma* and *Bacillus subtilis* plus a chemical treatment Carboxin (Vitavax) and a control treatment, on plants infected by *Fusarium*. The chemical treatment proved to be the most efficient in the control of *Fusarium*, since it showed a lower percentage in incidence and severity of the pathogen, followed by the alternative controls *Trichoderma* and *Bacillus subtilis* respectively, which proved to be more economical, but not more effective.

*Keywords:* incidence, severity, *fusarium*, pitahaya

## Índice de contenido

Introducción .....	11
1. Objetivos.....	13
1.1 General: .....	13
1.2 Específicos: .....	13
2. Hipótesis.....	14
2.1 Hipótesis nula (H0) .....	14
2.2 Hipótesis alternativa (H1) .....	14
3. Revisión bibliográfica .....	15
3.1 Pitahaya .....	15
3.1.1 Origen .....	15
3.1.2 Características Botánicas.....	15
3.1.3 Taxonomía .....	16
3.1.4 Adaptabilidad .....	16
3.1.5 Propagación.....	17
3.1.6 Cultivo de pitahaya.....	17
3.1.7 Plagas y enfermedades presentes en Pitahaya .....	18
3.2 Daños y pérdidas por <i>Fusarium</i> .....	18
3.2.1 Distribución del patógeno.....	19
3.2.2 Modo de acción de <i>Fusarium</i> .....	19
3.3 Métodos de Control: .....	20
3.3.1 Control Químico .....	20
3.3.2 Control Biológico .....	20
4. Materiales y métodos.....	22
4.1 Zona de Estudio .....	22
4.2 Materiales y equipos requeridos para el presente proyecto .....	22
4.2.2 Químicos.....	22
4.2.3 Biológicos.....	22
4.2.4Tecnológicos.....	23
4.3 Métodos .....	23
4.3.1 Diseño estadístico.....	23
4.3.2 Toma de muestras vegetales.....	23
4.3.3 Aislamiento y replicación de <i>Fusarium</i> .....	23
4.3.4 Identificación morfológica de <i>Fusarium</i> .....	24

# UCUENCA

5

4.3.5	Pruebas de patogenicidad del hongo en pencas de pitahaya .....	24
4.3.6	Inoculación del patógeno en el sustrato .....	24
4.3.7	Trasplante de pencas a fundas .....	24
4.3.8	Tratamientos .....	25
4.4	Variables a evaluar .....	25
4.4.1	Incidencia .....	25
4.4.2	Severidad .....	25
4.5	Costos variables de los tratamientos en estudio .....	26
5.	Resultados y discusión .....	27
5.1	Incidencia .....	27
5.2	Severidad .....	29
5.3	Costos variables .....	32
	Conclusiones .....	34
	Recomendaciones .....	35
	Referencias .....	36
	Anexos .....	40

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b>	Mapa de ubicación del proyecto de investigación .....	22
<b>Figura 2.</b>	Fórmula para calcular el porcentaje de la incidencia.....	25
<b>Figura 3.</b>	Fórmula para calcular el porcentaje de la severidad .....	26
<b>Figura 4.</b>	Porcentaje de Incidencia de Fusarium sobre Pitahaya Amarilla .....	28
<b>Figura 5.</b>	Porcentaje de Severidad de Fusarium spp. sobre plántulas de Pitahaya Amarilla a nivel de vivero. ....	31

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b>	Clasificación taxonómica de la Pitahaya (Hylocereus spp.) .....	16
<b>Tabla 2.</b>	Tratamientos planteados para la investigación .....	25
<b>Tabla 3.</b>	Escala de evaluación de síntomas externos causados por Fusarium .....	26
<b>Tabla 4.</b>	Análisis de la varianza para el porcentaje de incidencia de Fusarium spp. en plántulas de Pitahaya a nivel de vivero. ....	27
<b>Tabla 5.</b>	Porcentaje de incidencia de Fusarium spp. en pencas de Pitahaya. ....	28
<b>Tabla 6.</b>	Análisis de la varianza para el porcentaje de incidencia de Fusarium spp. en plántulas de Pitahaya a nivel de vivero. ....	29
<b>Tabla 7.</b>	Comparación de a pares Kruskal Wallis ( $\alpha=0,05$ ) para la determinación del porcentaje de severidad por parte de Fusarium en el cultivo de Pitahaya. ....	30
<b>Tabla 8.</b>	Costos variables de los tratamientos en estudio.....	32

### Agradecimientos

A Dios por permitirme lograr este propósito en mi vida, gratitud infinita a mi Madre que ha sido pilar fundamental en todo lo que me he propuesto, en especial a mi familia y amigos. A la Universidad de Cuenca y a todos nuestros profesores que siempre nos han brindado su apoyo, en especial al Ing. Walter Larriva nuestro director de tesis por compartir con nosotros su conocimiento y por demostrarnos ser una persona muy bondadosa.

Mi agradecimiento profundo a todo ese grupo de personas quienes confiaron y aportaron para que logre cumplir mi sueño. Existen muchos nombres a los cuales quisiera dar las gracias sin embargo sé que me voy a olvidar de algunos, pero de manera especial quisiera agradecer a mis padres quienes siempre se esforzaron para que cada uno de sus hijos puedan salir adelante y aquí el fruto de su tan anhelado sueño, un agradecimiento infinito a Silvia quien formó parte de todo este proceso siendo el soporte fundamental en este logro, a mi hijo Mathias, mis hermanos quienes fueron también parte importante de este logro, a mis amigos que a pesar de no ser de las mismas edades me hicieron parte de su grupo. Así también quisiera agradecer a nuestro tutor Ing. Walter Larriva que siempre con su vocación de buen maestro y gran ser humano nos ha guiado hasta terminar con nuestros objetivos planteados.

Segundo C. Henry L.

## Dedicatoria

A Dios que me ha permitido realizar este trabajo, a mi familia y amigos que siempre han confiado en mí y mis capacidades. A mí por este logro, por no decaer en los momentos difíciles y seguir planteándome cumplir más objetivos.

Segundo Castro

## Dedicatoria

Este trabajo va dedicado de manera especial a mí mismo, talvez suene algo egocéntrico, pero es importante el reconocimiento propio ya que sin el esfuerzo y empeño diario nada de esto hubiese sido posible, el apoyo siempre ha sido importante, pero si no lo hubiese aprovechado seguiría en el mismo lugar, es un premio a mi esfuerzo y creo que lo tengo bien merecido.

Henry López

## Introducción

Sudamérica posee mucha riqueza natural, es único en su biodiversidad, en su flora, en su fauna y en la riqueza de sus suelos debido principalmente a su ubicación geográfica (COMAFORS, 2006), uno de los factores más determinante para esta riqueza es la Cordillera de los Andes la cual proporciona microclimas para que se desarrollen dentro de ella gran variedad de cultivos exóticos, entre ellos la Pitahaya.

La Pitahaya es una fruta exótica tropical, ampliamente distribuida en América e incluso presente en el continente asiático. Ecuador dispone aproximadamente de 3500 hectáreas de pitahaya, las cuales se encuentran distribuidas en provincias como Pichincha, Manabí, Morona Santiago y Loja (Huachi, et al., 2015). Inicialmente se sembraba varias especies de pitahayas introducidas desde Colombia, pero hace algunos años se identificó la especie *H. undatus* (Cactaceae) registrada por el Banco Central del Ecuador en el Cantón Palora, Provincia Morona Santiago (Cobos, 2007). En el Cantón Palora el cultivo de Pitahaya es una de las principales fuentes de ingresos económicos tanto para los pequeños y medianos productores, a su vez ha generado nuevas fuentes de empleo debido a la alta demanda de mano de obra dentro de la cadena de producción (Diéguez, Zabala, Villaroel, & Sarduy, 2020).

La Pitahaya amarilla es un tipo de planta silvestre, pero gracias a su excelente sabor, apariencia, calidad y propiedades nutraceuticas han llegado a tener gran aceptación en el mercado nacional e internacional (Vargas, y otros, 2020). Sin embargo, la transición rápida de pitahaya (ecotipo “palora”) de planta silvestre a cultivo comercial ha traído consigo ciertos problemas agronómicos que aún quedan por resolver. Uno de los aspectos que más condicionan los rendimientos de los cultivos son los problemas fitosanitarios (Gómez, Rodríguez, Miranda, & González, 2009). La aparición de enfermedades está relacionada con desordenes en la microbiología del suelo (Villar, Ernst, & Cadenazzi, 2018). En el suelo existe un equilibrio microbiológico en donde naturalmente las poblaciones se autorregulan (Borrero & Silva, 2005). No obstante, las malas prácticas agrícolas han llevado a que ciertos patógenos no tengan enemigos naturales y su población crezca de forma incontrolada generando serios problemas en los cultivos (Martínez, Infante, & Reyes, 2013). Dentro de los patógenos más importantes se encuentran los hongos, causantes de enfermedades que bloquean los haces vasculares de las plantas, evitando el flujo normal de agua y nutrientes, lo cual se refleja en un desarrollo vegetativo reducido, baja producción de frutos, entre otros (Ruiz, Ornelas, & Olivas, 2018).

El género *Fusarium* es el causante de varias enfermedades en el cultivo de Pitahaya entre ellas la pudrición basal del tallo y la pudrición de la base del fruto, disminuyendo el potencial

productivo de la planta (Salazar, Serna, & Gómez, 2016). Una infección por *Fusarium* spp, en algunos casos podría empezar en la raíz y terminar necrosando la parte aérea de las plantas (Rudy, Hugh, & Loza, 2011).

El cantón Palora reúne las condiciones ideales para que el hongo *Fusarium* se desarrolle en su máximo potencial ya que este prefiere suelos con alta precipitación y alta humedad, estos factores climáticos favorecen su reproducción, ya que el modo de dispersión es ideal para la liberación de sus conidios y su posterior diseminación (Méndez & Iglesias, 1997). Para poder controlar a estos patógenos los fungicidas químicos son los más usados con resultados satisfactorios, con algunas limitantes como la inducción del desarrollo de resistencia por parte de los patógenos, muerte de microorganismos benéficos, contaminación de suelos agrícolas y otros efectos negativos (Shafique & Sultana, 2016).

Por lo tanto, necesario buscar alternativas de manejo para el control de patógenos que eviten problemas de resistencia a largo plazo, teniendo al uso de organismos antagonistas como una de las alternativas de control de enfermedades en las plantas. De ahí que la utilización de microorganismos es considerada como una opción viable y factible en el manejo de plagas y enfermedades en la Agricultura moderna (Goñas, Vera, & Leiva, 2017). Existen varios tipos de microorganismos entre hongos y bacterias que han sido identificados como controladores alternativos, que se pueden aplicar para contrarrestar problemas fitosanitarios, entre ellos tenemos: Al género *Trichoderma* un excelente biocontrolador por su efecto antagónico y su mecanismo de acción (Guédez, Cañizález, Castillo, & Olivar, 2009), también en los últimos años se menciona que las cepas bacterianas de *Bacillus subtilis* que por su mecanismo de acción controla hasta un 67% el desarrollo de agentes fitopatogénicos presentes en el suelo especialmente *Fusarium* spp (Villa, Alfonso, Rivero, & Gonzales, 2007).

En base a lo anteriormente manifestado, la presente investigación tiene como objetivo evaluar diferentes alternativas de manejo/control de la marchitez basal causada por *Fusarium* spp, con la finalidad de poder brindar a los productores de pitahaya herramientas de manejo eficientes acorde a su presupuesto y amigables con el medio ambiente.

## 1. Objetivos

### 1.1 General:

- Evaluar alternativas de manejo de la pudrición basal causada por el hongo *Fusarium* spp. en el cultivo de pitahaya (*Hylocereus undatus*), en el cantón Palora – Morona SantiagoOz.

### 1.2 Específicos:

- Evaluar la eficiencia de tres alternativas propuestas para el control del hongo *Fusarium* spp. causante de la pudrición basal en el cultivo de la pitahaya (*Hylocereus undatus*), Palora – M. Santiago.
- Analizar los costos variables de los tratamientos en estudio.

## 2. Hipótesis

### 2.1 Hipótesis nula (H0)

Ninguno de los tratamientos en estudio demostrará ser eficiente en el control de *Fusarium* spp. en el cultivo de la pitahaya.

### 2.2 Hipótesis alternativa (H1)

Al menos uno de los tratamientos en estudio demostrará ser eficiente en el control de *Fusarium* spp. en el cultivo de la pitahaya.

### 3. Revisión bibliográfica

#### 3.1 Pitahaya

##### 3.1.1 Origen

La Pitahaya (*Hylocereus undatus*) es originaria de México y cultivada en algunos países tropicales y subtropicales, como Taiwán, el sur de China, Israel, Tailandia, Australia, Estados Unidos de América y Malasia (Verona, Urcia, & Paucar, 2020). La pitahaya amarilla es una epífita facultativa que evolucionó en el pie de monte andino amazónico en Perú, Ecuador y Colombia; lo que explica su comportamiento trepador y tallo segmentado con facilidad de emitir raíces secundarias (Verona, Urcia, & Paucar, 2020).

##### 3.1.2 Características Botánicas

La pitahaya es una planta perenne, trepadora, epífita que crece comúnmente sobre árboles y piedras, debido a que no puede sostenerse por sí misma. Dentro del género *Hylocereus*, la especie *H. undatus*, es la más estudiada, por su amplia variación morfológica, fisiológica y genética. Actualmente no se cuenta con suficientes descripciones anatómicas que permitan apoyar el reconocimiento de las especies del género *Hylocereus* presentes en México y su distribución. Los tallos o cladodios, son suculentos, verdes y fotosintéticos, se caracterizan por presentar costillas o aristas gruesas que los recorren longitudinalmente. Las hojas típicas se transforman en acúleos (de 2 a 4 mm) dispuestos en los bordes formando fascículos en las denominadas aréolas (pequeñas almohadillas homólogas de las yemas que originan brotes e inflorescencias). Las flores son hermafroditas y actinomorfas, se insertan directamente sobre los tallos, tienen forma tubular, son grandes (de 20 a 40 cm de longitud y hasta 25 cm en su diámetro mayor). El verticilo sexual masculino lo integran numerosos estambres dispuestos en espiral que producen granos de polen. El ovario del gineceo es ínfero con numerosos carpelos soldados y unilocular que se prolonga en un único estilo con brácteas completamente verdes o verdes con orillas rojas y pétalos blancos, amarillos o rosados, el cual contiene numerosos primordios seminales crasinucelados y bigtégmicos, con largos funículos arreglados en una placentación basal o parietal. El fruto es una baya globosa o subglobosa, mide en promedio de 8 a 15 cm de largo y de 6 a 10 cm de diámetro, su pericarpelo es de color rojo o amarillo (Montesinos, y otros, 2015).

### 3.1.3 Taxonomía

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica de la Pitahaya (*Hylocereus* spp.)

Nombre científico	<i>Hylocereus</i> spp.
Reino	Plantae
División	Magnoliophita
Clase	Magnoliopsida
Orden	Caryophyllale
Familia	Cactaceae – cactácea
Género	<i>Hylocereus</i>
Especie	<i>H. extensus</i> (Salm- Dyck ex De Candolle) <i>H. setaceus</i> (Salm-Dyck ex De Candolle) <i>H. tricae</i> (Hunt) <i>H. minutiflorus</i> Br. and R. <i>H. megalanthus</i> (Schum. ex Vaupel) <i>H. stenopterus</i> (Weber) Br. and R. <i>H. calcaratus</i> (Weber) Br. and R. <i>H. undatus</i> (Haw.) Br. and R. <i>H. esquiintlensis</i> (Kimmn.) <i>H. ocamponis</i> (Salm-Dyck) Br. and R. <i>H. guatemalensis</i> (Eich.) Br. and R. <i>H. purpusii</i> <i>H. costaricensis</i> (Weber) Br. and R. <i>H. trigonus</i> (Haw.) Safford <i>H. triangularis</i> (L.) Br. and R

(Ezquibel & Araya, 2012)

### 3.1.4 Adaptabilidad

La pitahaya (*Hylocereus undatus*) es una cactácea nativa de América, cuya adaptabilidad a diversas condiciones ambientales ha favorecido su introducción a países con marcadas diferencias en clima y suelo. Como especie xerofítica -adaptada a ambientes secos y áridos- ha desarrollado mecanismos encaminados a favorecer la captación de agua (aparatos radicales muy grandes, con gran desarrollo horizontal), evitar su pérdida por transpiración (órganos aéreos con reducidas o gruesas cutículas; bajo número de estomas por unidad de

superficie, presentes en el tallo, entre otras) o favorecer su acumulación gracias al desarrollo del parénquima acuífero, lo que se manifiesta plásticamente en la consistencia carnosa casi general de los órganos aéreos (Montesinos, y otros, 2015).

### **3.1.5 Propagación**

En la pitahaya, la principal forma de propagación es vegetativa, a partir de los tallos, esquejes o cladodios, de manera natural a través de la separación de los tallos y en el caso de plantas cultivadas, mediante trasplante directo en el terreno definitivo o su colocación en bolsas con sustrato hasta la formación de nuevos tallos. También se utiliza el injerto a partir de vástagos y patrones seleccionados (Montesinos, y otros, 2015).

### **3.1.6 Cultivo de pitahaya**

La pitahaya amarilla es una fruta exótica tropical con gran aceptación en el mercado nacional e internacional (Huachi, et al., 2015) ya que por medio de estudios realizados en varios países, se han logrado identificar algunas de las propiedades benéficas que presenta la pitahaya para el organismo, mismas que le confieren características de ser una fruta completa por sus cualidades alimenticias y su composición nutricional, en los que se desatacan su alto contenido de betalaínas y pigmentos que han sido considerados como una alternativa al uso de colorantes artificiales en alimentos así como también la presencia de antioxidantes especialmente las betacianinas y betaxantina además de su aporte proteico y fundamentalmente por su contenido de fibra y un conjunto de ácidos grasos poli-insaturados (Ezquivel & Araya, 2012).

El cultivo de la pitahaya requiere de factores ambientales especiales, es por tanto que en Ecuador se desarrolla en sectores específicos ya que le proporcionan características edáficas y climáticas ideales que inciden directamente en el crecimiento y calidad de la fruta. Este cultivo exige un clima sub cálido húmedo, temperatura ambiente, una humedad relativa que supere el 50 % y una formación ecológica de bosque húmedo montano bajo (Huachi, et al., 2015), actualmente en Ecuador se tiene cultivado aproximadamente de 1528 hectáreas de pitahaya con un rendimiento promedio de 7.6 t/ha (Vargas, y otros, 2020). En el país, existen dos ecotipos de pitahaya amarilla, la denominada “Pichincha” o también conocida como “Nacional” (frutos de hasta 150 g de peso), que se cultiva en el noroccidente de Pichincha, y el ecotipo “Palora” (frutos de hasta 350 g de peso), que se cultiva en Morona Santiago (Palora) y en Pichincha (Trujillo, 2014).

### 3.1.7 Plagas y enfermedades presentes en Pitahaya

El rendimiento del cultivo de Pitahaya se puede ver disminuido por el ataque de plagas como como: La mosca de la fruta (*Ceratitis capitata*), el chinche patón (*Leptoglossus zonatus*) y la mosca del botón floral de la pitahaya (*Dasiops saltans*) (Kondo, Quintero, Atilio, & Manrique, 2015). También este cultivo puede verse afectado por diversas enfermedades fitopatogénicas causadas por hongos y bacterias, dentro de las principales enfermedades causadas por bacterias tenemos: Pudrición del tallo provocadas por *Enterobacter hormaechei* y la pudrición suave de tallos causada por *Erwinia* spp (Sánchez, Castro, Meneses, & Quesada, 2019). Las principales enfermedades que se puedan encontrar en la Pitahaya amarilla causadas por hongos patogénicos son: La enfermedad de la pudrición negra causada por *Alternaria alternata* (Villaplana, Paéz, & Valencia, 2017), antracnosis causado por *Colletotrichum*, la pudrición del fruto y del tallo causados por *Fusarium* spp (Balendres & Bengoa, 2019), algunas de estas enfermedades han sido reportadas en la zona de Palora como agentes causantes de enfermedades en el cultivo de Pitahaya (Suárez, Pico, & Delgado, P8 Reconocimiento de enfermedades fúngicas sobre pencas de pitahaya amarilla (*Cereus* sp.) en el cantón Palora, 2019).

### 3.2 Daños y pérdidas por *Fusarium*

El género *Fusarium* es un grupo de hongos filamentosos ampliamente distribuidos en el suelo y plantas, debido a su capacidad de crecer en condiciones desfavorables son considerados oportunistas (Tapia & Amaro, 2014), este género posee una gran especificidad patógeno-hospedante. En genotipos susceptibles, las esporas del hongo germinan estimuladas por compuestos orgánicos, que son liberados por las raíces del hospedante; la penetración la realiza directamente por la cofia de la raíz, con la ayuda de enzimas degradativas o mediante el crecimiento intercelular, momento a partir del cual procede la colonización, desde el ápice de la raíz (Gordon, 2017).

Una vez dentro del hospedante el hongo avanza por el tejido vascular causando una decoloración que se extiende por toda la planta (Pérez, 2014), esto debido a que coloniza los vasos del xilema hasta obstruirlos e impide la translocación de agua y nutrientes a los diferentes órganos de las plantas (Castaño, 2015). En Colombia se han encontrado incidencias de hasta el 29,3% (Mora, 2012); sin embargo, para el Ecuador en el cultivo de Pitahaya no se tiene registro de incidencias hasta la fecha.

### 3.2.1 Distribución del patógeno

*Fusarium* es conocido como uno de los agentes fitopatogénicos de mayor preocupación a nivel del mundo, debido a que ocasiona severas enfermedades que afectan a múltiples cultivos de importancia económica (Magliano & Chulze, 2013). Es un patógeno ampliamente distribuido en Latino América y el Caribe afectando a más de 80 cultivos de importancia comercial (Clavijo, 2014). *Fusarium* spp es una de las enfermedades más importantes en varios cultivos en el Ecuador, este patógeno se encuentra distribuido por todo el país y en ocasiones se ha observado incidencias de hasta el 100 % en cultivos bajo invernadero (Ochoa & Fonseca, 1998). A finales de los noventa se establecieron superficies relativamente grandes de cultivos comerciales, pero el desconocimiento del manejo de la propagación del patógeno hizo que muchos de estos fracasen, permitiendo un intercambio indiscriminado de material de siembra que conlleva a la diseminación de la enfermedad por todo el país (Ochoa, 2009). En el Cantón Palora se han evidenciado 22 aislados de *Fusarium* spp, estrechamente relacionado con el daño en las raíces de Pitahaya (Suárez, Pico, Delgado, & Caicedo, 2019).

### 3.2.2 Modo de acción de *Fusarium*

Este patógeno ha evolucionado de tal manera que usa diferentes estrategias para poder sobrevivir, puede mantenerse en suelo como micelio o como esporas en ausencia de sus anfitriones, y si se encuentra cerca una planta hospedera, la infección puede iniciar en las raíces, en partes de la planta por encima del suelo, a través del aire o el agua (Villa, Pérez, Basurto, Soto, & Martínez, 2015). Para lograr una infección exitosa, la interacción entre hongo-planta responde a un proceso donde se deben movilizar diferentes conjuntos de genes para la señalización temprana del hospedero, la adhesión a la superficie de este, la descomposición enzimática de barreras físicas, la defensa contra los compuestos antifúngicos del anfitrión, la inactivación y la muerte de las células huésped por micotoxinas segregadas (Agrios, 2005). Las especies de *Fusarium* no sólo inactivan sustancias tóxicas producidas por el anfitrión, sino que también producen toxinas propias que aumentan su virulencia (Villa, Pérez, Basurto, Soto, & Martínez, 2015).

Los primeros síntomas son pequeñas manchas de color entre amarillo y marrón, que dan lugar, en condiciones favorables, a una pudrición blanda. En los frutos se presentan, inicialmente, en el pedúnculo; cuando hay un alto grado de severidad la enfermedad puede ocasionar su caída. Las pencas presentan lesiones de color amarillo, que luego se ponen de color marrón. Los síntomas en el tallo principal consisten en una pudrición blanda que se inicia cerca de la superficie del suelo, se desarrolla en forma ascendente y puede causar la

muerte de la planta. Las heridas ocasionadas a las raíces por maquinaria o la afección de nematodos aumentan la susceptibilidad al marchitamiento y favorecen el desarrollo del hongo (Mora, 2012).

### 3.3 Métodos de Control:

El control de patógenos habitantes del suelo es complejo, más aún, cuando producen estructuras de resistencia, como sucede con *Fusarium* y aunque se han desarrollado diferentes prácticas para su manejo, incluido el control químico con fungicidas sistémicos, la naturaleza de estos productos es una amenaza, por el aumento de la resistencia del patógeno (Pérez, 2014).

#### 3.3.1 Control Químico

Para el control químico de *Fusarium* spp se usa VITAVAX® 400 que es un polvo mojable de uso agrícola, cuyos ingredientes activos son: Carboxin 5,6-dihidro-2-metil-N-fenil-1,4-oxatiin-3-car-boxamida 20%. Thiram: Tretrametiluran disulfuro 20%, se usa en tratamiento de semillas, la acción móvil de sus activos permite en la semilla tratada, que la actividad fungicida persista hasta cuando la plántula inicie la formación del segundo par de hojas. VITAVAX® 400 como fungicida ofrece protección contra agentes causales de pudrición de plántulas. VITAVAX® 400 es altamente efectivo contra los principales patógenos que atacan las semillas que son transmitidas por este medio como: *Rhizoctonia* sp., *Pythium* sp., *Fusarium* sp., *Sclerotium* sp., *Penicillium* sp., *Alternaria* sp., *Aspergillus flavus*, *Cercospora* sp., *Aspergillus niger*, *Strepto-myces* sp (Edifarm, 2015).

#### 3.3.2 Control Biológico

Los métodos alternativos para el control de enfermedades patogénicas están siendo cada vez más utilizados en la Agricultura (Villa, Pérez, Basurto, Soto, & Martínez, 2015), cada vez se emplean nuevas propuestas para el control de enfermedades fúngicas. El uso de alternativas biológicas sumadas a otras prácticas agrícolas incide en la reducción de enfermedades en los cultivos, los biocontroladores utilizan microorganismos antagónicos como *Trichoderma*, *Bacillus*, *Beauveria* entre otros. El diagnóstico preventivo es la clave para el control oportuno de la enfermedad (Solís & Armas, 2017).

##### 3.3.2.1 Trichoderma

El género *Trichoderma* logra reducir significativamente la incidencia de *Fusarium* y puede constituir una alternativa para el control de la marchitez basal (González, Torrado, M, & Céspedes, 2020) debido a su acción favorable por competencia de nutrientes y espacio, ya que crecen rápidamente, superando el hasta en un 50% el desarrollo del patógeno (Fernández & Suárez, 2019).

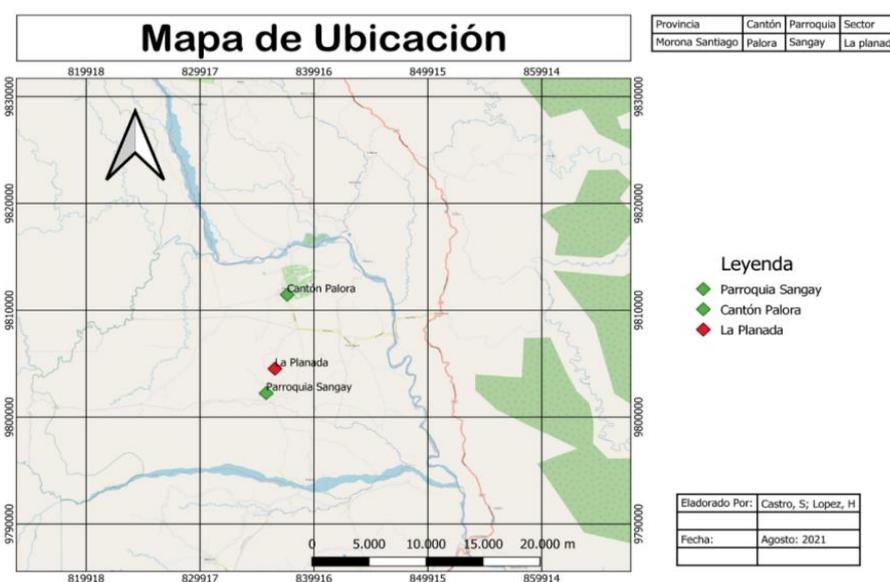
### **3.3.2.2 Bacillus subtilis.**

Estas bacterias son bacilo Gram-positivo, catalasa-positivo, aerobio estricto (aún son capaces de crecer en vía anaeróbica), produce endosporas resistentes, antibióticos y matriz extracelular (biofilm), frecuentemente se encuentran en el suelo. Tienen la capacidad para producir una amplia gama de moléculas bioactivas, que muestran fuertes propiedades antifúngicas, junto con una baja toxicidad y alta biodegradabilidad. Además, produce antibióticos muy efectivos contra los hongos y cuando se instala en las raíces y hojas, induce a la planta a producir fitoalexinas, que confieren resistencia al ataque de hongos y nematodos patógenos. Esta es una característica, que tiene muchas ventajas en comparación con los fungicidas químicos, ya que no es tóxico para humanos, animales y plantas y no constituye un contaminante ambiental (Nagua, 2018).

## 4. Materiales y métodos

### 4.1 Zona de Estudio

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el predio del Ing. Fernando Villa (EQUAPRODUCE), el cual se encuentra ubicado en el sector la Planada perteneciente a la Parroquia Sangay, en el Cantón Palora, provincia de Morona Santiago. La zona de estudio se encuentra a 920 msnm, siendo su principal actividad el cultivo de pitahaya amarilla para exportación.



**Figura 1.** Mapa de ubicación del proyecto de investigación

### 4.2 Materiales y equipos requeridos para el presente proyecto

#### 4.2.1 Físicos

Cámara de flujo laminar tipo II, microscopio binocular, estéreo microscópico, incubadora, autoclave, fundas plásticas, cajas Petri, estufas, pico, pala, atomizador.

#### 4.2.2 Químicos

Medio de cultivo PDA (Agar Papa Dextrosa), VITAVAX® 400.

#### 4.2.3 Biológicos

Pencas de pitahaya, Agentes alternativos de control (*Trichoderma*, *Bacillus*).

#### 4.2.4 Tecnológicos

Computador, cámara digital, software Infostat y Microsoft Excel.

### 4.3 Métodos

#### 4.3.1 Diseño estadístico

Se aplicó un Diseño Completamente al Azar (DCA), que constó con cuatro (4) tratamientos y cinco (5) repeticiones, dando un total de veinte (20) unidades experimentales las cuales constaron de cinco (5) plantas con un total de cien (100) plantas de pitahaya para toda la evaluación de la investigación. El correspondiente análisis estadístico se realizó en el software Infostat, se realizó un ANOVA para los datos que presentan normalidad y exista homogeneidad de varianzas (homocedasticidad).

#### 4.3.2 Toma de muestras vegetales

Se visitaron 5 lotes de varios productores de pitahaya amarilla en la parroquia Sangay del Cantón Palora, en donde existen lotes con antecedentes de ataques de *Fusarium* spp, posteriormente se identificaron plantas que presentaron sintomatología del patógeno, de estas plantas se recolectaron muestras vegetales del fruto, raíces y suelo. Estas muestras fueron transportadas en cámaras húmedas al laboratorio de Fitopatología de la Facultad de Ciencias Agropecuarias para ser procesadas.

#### 4.3.3 Aislamiento y replicación de *Fusarium*.

Posteriormente se preparó medio de cultivo PDA en la cámara de flujo laminar tipo II, con el fin de aislar y multiplicar el patógeno. Para el aislamiento se tomaron fragmentos de tejido enfermo de aproximadamente 5 x 5 mm, involucrando tejido infectado y sano con la ayuda de un bisturí esterilizado. Dichos fragmentos pasaron en inmersión por agua destilada estéril durante 30 segundos, un minuto en alcohol etílico al 70%, dos minutos en hipoclorito de sodio al 1% y se lavaron en agua destilada estéril por 30 segundos (Hernández, Carranza, Maldonado, & Domingo, 2020).

Finalmente, con la ayuda de un asa esterilizada se tomaron 10 fragmentos del micelio del hongo y se incubaron en 10 cajas Petri, dichos medios inoculados serán trasladados a la cámara de incubación durante 8 días a una temperatura constante de 25 °C. Se emplearon

cultivos con crecimiento monosporal para obtener inóculo disponible para la toda la investigación.

#### **4.3.4 Identificación morfológica de *Fusarium*.**

Se realizó una identificación del hongo a nivel microscópico considerando características como la coloración del micelio aéreo en el medio de cultivo y la finalización del tiempo de incubación. Para la verificación de las características morfológicas de *Fusarium* spp, se realizaron comparaciones de las estructuras morfológicas con microscopios al finalizar el tiempo de incubación, donde se efectuaron montajes en porta objetos, con tinción azul de metileno, al microscopio óptico de luz en 40X.

#### **4.3.5 Pruebas de patogenicidad del hongo en pencas de pitahaya**

Una vez aislado el patógeno se realizaron pruebas de patogenicidad y virulencia, se inoculó el hongo en pencas de pitahaya trasplantadas en condiciones controladas, mediante la aplicación tipo drench en el suelo y con inmersiones de las pencas de pitahaya en soluciones contaminadas con esporas del patógeno, estas pruebas se realizaron en el invernadero de la Facultad de Ciencias Agropecuarias con la finalidad de que el patógeno aislado provoque sintomatología.

#### **4.3.6 Inoculación del patógeno en el sustrato**

El sustrato (suelo propio de la zona de estudio) donde se plantaron las pencas de pitahaya fue inoculado con una solución líquida contaminada por *Fusarium* spp en una concentración de  $1 \times 10^8$  ufc/ml, las inoculaciones se realizaron mediante aplicaciones en drench, 15 días antes del trasplante de las plantas de pitahaya para que el patógeno pueda colonizar y adaptarse a las nuevas condiciones edáficas.

#### **4.3.7 Trasplante de pencas a fundas**

Las pencas fueron trasplantadas en fundas de polietileno de color negro, de 5 Kg (30 cm x 35 cm) a campo abierto en la zona de estudio, con sustrato procedente de los mismos perfiles de suelo existentes en los sitios de la investigación, con el fin de obtener las mismas características edáficas para que los resultados sean lo más apegado a la realidad posible.

En la base de la penca se realizó una incisión con un bisturí nº10, esto con el objeto de lograr una infección por parte del patógeno.

#### 4.3.8 Tratamientos

Posterior a esto se realizaron aplicaciones tipo drench con los siguientes tratamientos:

**Tabla 2.** *Tratamientos planteados para la investigación*

Tratamientos	Producto comercial	Dosis	Frecuencia	Número de aplicaciones
T1 ( <i>Bacillus subtilis</i> )	Em´s + <i>Bacillus subtilis</i>	2 kg/ha	Cada 8 días	3
T2 ( <i>Trichoderma</i> )	Tricho-plus	2 L/ha	Cada 15 días	3
T3 (Químico)	VITAVAX 400	2.2 Kg/ha	Cada 8 días	3
T4 (Control)	NA	NA	NA	NA

NA: No aplica

#### 4.4 Variables a evaluar

Se realizó una cuantificación del número de plantas infectadas por *Fusarium*, del total de plantas muestreadas (incidencia) y se determinó el porcentaje de alcance de la enfermedad (severidad) en el tallo y raíz de las pencas de pitahaya.

##### 4.4.1 Incidencia

Para determinar la incidencia del patógeno sobre las pencas de pitahaya se aplicó la metodología propuesta por Kugler (2016), aplicando la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\text{Total de plantas que presentan síntomas}}{\text{Total de plantas muestreadas}} * 100$$

**Figura 2.** *Fórmula para calcular el porcentaje de la incidencia*

Se contabilizaron las plantas totales de la investigación y las plantas que manifiestan síntomas de la enfermedad cada 15 días post trasplante.

##### 4.4.2 Severidad

Para determinar la severidad causada por esta enfermedad se aplicó la metodología propuesta por Kugler (2016), para lo cual se empleó siguiente fórmula:

$$IPS = \frac{\sum(\text{Grado de categoría} * \text{frecuencia})}{\text{Total de unidades evaluadas}} * 100$$

**Figura 3.** *Fórmula para calcular el porcentaje de la severidad*

Donde:

**IPS** = Índice promedio de la severidad

Con el fin de facilitar la estimación del promedio de la severidad, se tomó en cuenta una escala de evaluación de síntomas para medir el nivel de daño causado por el patógeno en las pencas y la raíz.

**Tabla 3.** *Escala de evaluación de síntomas externos causados por Fusarium*

<b>Porcentaje de daño</b>	<b>Síntoma externo</b>
0%	Sin síntomas aparentes
25%	Presencia de pequeñas manchas amarillas
50%	Presencia de manchas amarillas y marrones
75%	Inicio de pudrición blanda en la base del tallo
100%	Muerte progresiva de la planta

*Partiendo de los criterios de Kugler (2016) modificado.*

#### **4.5 Costos variables de los tratamientos en estudio**

Finalmente se realizó una comparación entre el costo por tratamientos aplicados frente a la eficiencia de cada uno de ellos, para poder realizar una recomendación en campo a los productores que posean cultivos de Pitahaya. Para aquello se obtuvieron los costos variables de cada uno de los tratamientos aplicados por unidad de área (hectárea). Para el registro de las aplicaciones de los agro insumos se tomó en cuenta la fecha de aplicación, el producto empleado, la cantidad o dosis aplicada, la mano de obra requerida y la frecuencia de aplicación con la finalidad de determinar los costos por cada tratamiento en campo.

## 5. Resultados y discusión

Cabe mencionar que los datos obtenidos en la presente investigación fueron analizados para comprobar los supuestos de normalidad a través de la prueba de Levene, los cual cumplió con dichos supuestos, por lo tanto, se procedió a aplicar el ANOVA respectivo en cada una de las variables en estudio.

### 5.1 Incidencia

En la **Tabla 4** se puede observar el ADEVA para la variable incidencia, que sí existen diferencias significativas entre tratamientos aplicados para *Fusarium spp.*, agente causal relacionado con la pudrición basal del cultivo de Pitahaya.

**Tabla 4.** Análisis de la varianza para el porcentaje de incidencia de *Fusarium spp.* en plántulas de Pitahaya a nivel de vivero.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	496	3	165,33	1,07	0,3904
Tratamiento	496	3	165,33	1,07	0,3904
Error	2476,8	16	154,8		
Total	2972,8	19			

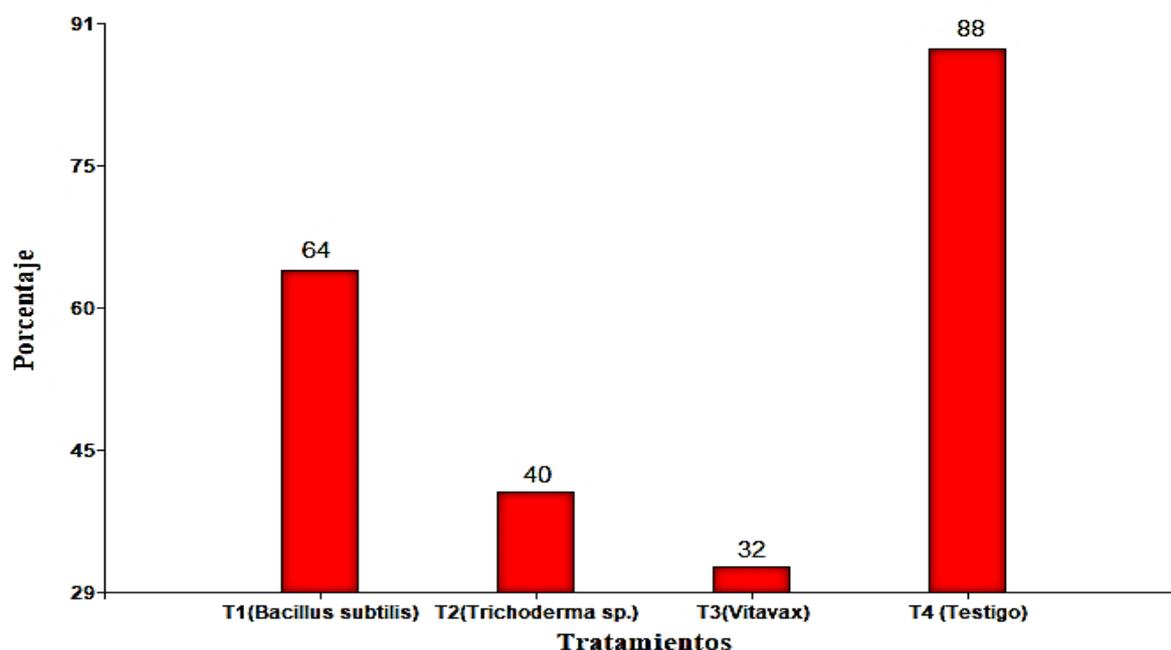
Para mostrar cuál de los tratamientos resultó más efectivo se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal Wallis análisis de a pares ( $\alpha=0,05$ ) y como resultado de lo cual se determinaron 3 rangos A, AB y B (**Tabla 5**). Mostrando que el tratamiento que menos incidencia de *Fusarium spp.* presentó fue Carboxina (vitavax) con una media de 32% (**Figura 4**). Si bien es cierto que en el mercado pueden existir productos que también podría de alguna manera ayudar a controlar este patógeno; sin embargo, según la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (2015), el uso de estos productos químicos aumenta considerablemente los costos de producción y causan daños al medio ambiente. *Trichoderma* como agente alternativo presentó una media de 40% en cuanto al control de la enfermedad, estos resultados se pueden corroborar con el trabajo de investigación realizada por Guédez y sus colaboradores (2009), quienes en condiciones *in vitro* obtuvieron un 50% de inhibición de *Trichoderma harzianum* sobre *Fusarium spp.*, con mecanismos de acción como parasitismo, competencia por nutrientes y espacio.

**Tabla 5.** Porcentaje de incidencia de *Fusarium* spp. en pencas de Pitahaya.

Tratamientos	Medias	D.E	Ranks
T3 (Vitavax-Carboxina)	32	5,5	A
T2 ( <i>Trichoderma</i> )	40	7,1	A
T1 ( <i>Bacillus subtilis</i> )	64	12,3	A B
T4 (Testigo)	88	17,1	B

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

El tratamiento de menor eficiencia fue *Bacillus subtilis* ya que presentó un porcentaje de incidencia de *Fusarium* spp. del 64%, lo cual no está en los rangos de inhibición presentados por Villa en el 2007, quién obtuvo un 67% de inhibición de la cepa de *Bacillus subtilis* B/B  $\alpha$ 10(B/BL10) sobre *Fusarium* en condiciones de laboratorio, cabe recalcar que estos resultados no fueron evaluados en campo, donde las condiciones son muy diferentes a las *in vitro*, debido entre otros factores en que a nivel de campo las condiciones ambientales son cambiantes, pudiendo ser este un componente que influyó en los resultados obtenidos por los biocontroladores; entre tanto cabe mencionar que estos últimos obtuvieron mejor resultado que el tratamiento control, que presentó un 88% de incidencia (**Figura 4**).



**Figura 4.** Porcentaje de Incidencia de *Fusarium* sobre Pitahaya Amarilla

Si bien es cierto que el tratamiento químico en la presente investigación fue el más efectivo en cuanto a tener el menor número de plantas infectadas con el patógeno, no obstante, la incidencia del hongo sigue siendo bastante alta, lo cual podría deberse a que en la presente investigación para inocular el patógeno en las pencas se realizó un corte en la base del tallo para facilitar la infección de *Fusarium spp.* a la planta, facilitando al hongo el libre ingreso del patógeno hacia el interior de la planta para colonizar los distintos tejidos, pudiendo ser la principal ruta de ingreso los daños mecánicos ocasionados por las labores culturales en la coronación y fertilización del cultivo (Hernández, Sánchez, & Galeana, 2014), a más del corte que se realizó para la obtención de los esquejes en campo. Este corte se lo realizó con la finalidad de simular las condiciones reales a las cuales están expuestas la base del tallo de la planta de pitahaya, ya que periódicamente en el campo se realizan labores culturales de coronamiento y fertilización, para lo cual se usa herramientas cortantes como: machete, guadañas y tijeras, las cuales dejan expuesto el sistema radicular y en la gran mayoría de casos se puede observar raíces con cortes. Es de resaltar que la alta precipitación de la zona reúne las condiciones ideales para que las esporas del hongo germinen en el área afectada, favorecida por la alta humedad y temperaturas requeridas (Askun, 2018).

## 5.2 Severidad

Para el grado de severidad en la presente investigación los resultados se asemejan a los obtenidos en la variable incidencia, para lo cual realizado el ADEVA (**Tabla 6**) se muestran que existe diferencias significativas entre los tratamientos.

**Tabla 6.** Análisis de la varianza para el porcentaje de incidencia de *Fusarium spp.* en plántulas de Pitahaya a nivel de vivero.

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	583,95	3	194,65	24,81	<0,0001
Tratamiento	583,95	3	194,65	24,81	<0,0001
Error	125,52	16	7,85		
Total	709,47	19			

Como podemos observar en la **Tabla 6** el porcentaje de severidad del tratamiento químico es el que mostró menos severidad por el patógeno en las pencas de pitahaya, esto debido a que el ingrediente activo Carboxina (vitavax) en dosis comerciales, controla el crecimiento de *Fusarium* de manera tanto preventiva como erradicante (González, 2014); este tratamiento mostro pencas con áreas de tejido menos afectadas y además se pudo observar un volumen radical mayor al testigo absoluto, así mismo el número de brotes fue mayor con este tratamiento. Entre tanto que el tratamiento control mostró un porcentaje elevado ~~mayor~~ de

severidad en las pencas de pitahaya, reflejado en una mayor zona de tejido afectado, observándose igualmente un menor número de brotes y un sistema radicular deficiente y de menor volumen, esto puede corroborarse con el reporte de Caetano y sus colaboradores (2011), los cuales manifiestan que la pitahaya no produce fitoalexinas lo que la hace más susceptible a ataques de patógenos.

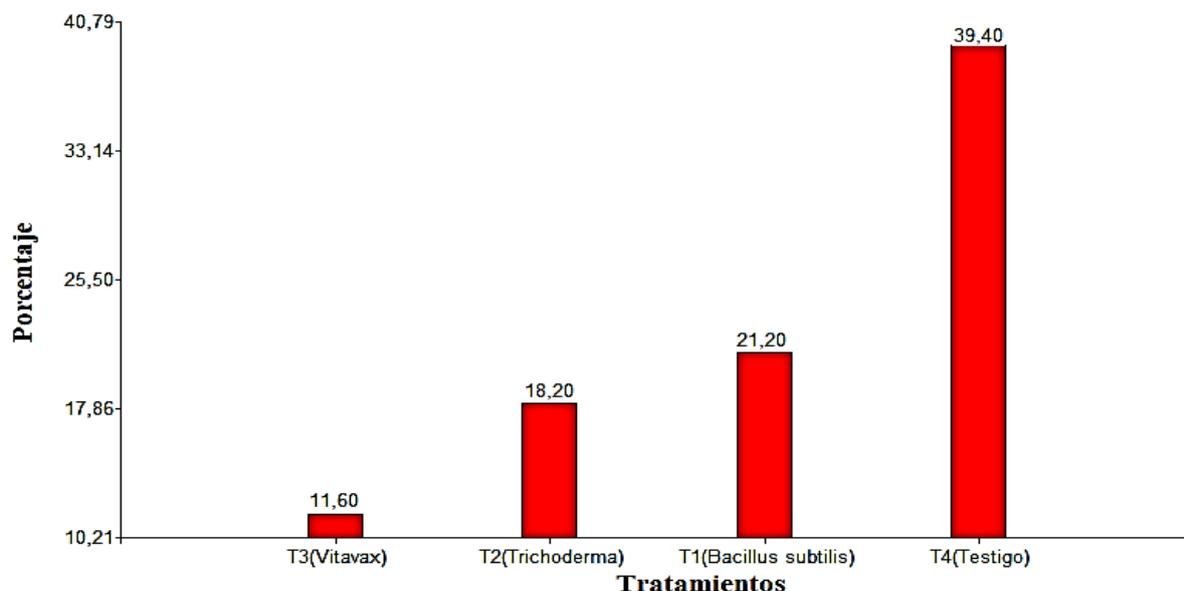
Luego de realizar la respectiva prueba de Tukey entre las medias de tratamientos, se pudo determinar cuatro (4) rangos diferentes (**Tabla 7**), demostrando nuevamente el tratamiento con Carboxina ser el mejor.

**Tabla 7.** Comparación de a pares Kruskal Wallis ( $\alpha=0,05$ ) para la determinación del porcentaje de severidad por parte de *Fusarium* en el cultivo de Pitahaya.

Tratamientos	Medias	D.E.	Ranks
T3(Vitavax-Carboxina)	11,6	3,1	A
T2( <i>Trichoderma</i> )	18,2	9,2	A B
T1( <i>Bacillus subtilis</i> )	21,2	11,7	B C
T4(Testigo)	39,4	18	C

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

El tratamiento que mejores resultados mostró es el control químico Carboxina (vitavax) con una media de 11,6 % de tejido afectado en aquellas plantas infectadas por el patógeno. Por otro lado, *Bacillus subtilis* resulto medianamente eficiente en el control con una media de 21,20%. También se logró detectar la presencia de nematodos en el suelo de las fundas donde se aplicó el control químico, esto se podría deber a que cuando se aplica un producto químico fungicida se afecta la microflora que controlan los nematodos sobre todo fitófagos, mediante diferentes mecanismos (López, 2015). Al realizar aplicaciones químicas en el suelo se eliminan también hongos benéficos para el suelo, de esta manera será más fácil que los nematodos sobrevivan en este medio, y aprovechen la humedad que existe en el suelo para poder reproducirse y mediante las heridas realizadas en las pencas por labores culturales, tengan libre entrada al sistema radicular, propagándose y causando daños a las plantas. Para contrarrestar esto lo que generalmente se puede aplicar como método de control es la rotación de cultivos la cual altera las propiedades biológicas, químicas y físicas de los suelos y es uno de los métodos más efectivos para reducir las pérdidas debidas a la infección por nematodos (Arauz, 2011); sin embargo, en el cultivo de Pitahaya esta práctica no se la puede realizar debido a que es un cultivo perenne por lo que al momento de usar Carboxina se debe considerar también un método de control de nematodos para no dejar expuesta a la planta a ataques de estos patógenos.



**Figura 5.** Porcentaje de Severidad de *Fusarium spp.* sobre plántulas de Pitahaya Amarilla a nivel de vivero.

En la **Figura 5** se puede observar que el porcentaje de severidad fue menor en el tratamiento químico con respecto al tratamiento control; sin embargo, la aparición de síntomas de nematodos es preocupante ya que en la zona de estudio este organismo es causante de grandes pérdidas económicas según el INIAP (2020).

De los tratamientos planteados como biológicos, *Trichoderma* muestra resultados parecidos a Carboxina, esto se debería, al decir de Rivera, Brenes & Zuñiga (2018), a que *Trichoderma* es un gran productor de metabolitos secundarios con importancia farmacéutica y biotecnológica que incluyen péptidos no ribosomales, pirones, sideróforos y terpenos volátiles y no volátiles. Además, se localiza en la rizosfera, donde se da una intensa actividad entre las plantas y los microorganismos asociados a través del intercambio y percepción de señales. Como consecuencias, cuando el sistema radicular es colonizado, la asociación se potencia proveyendo protección a la zona contra microorganismos patógenos y también desarrollando más el sistema radicular, lo que mejora la absorción de nutrientes y agua. Lo anterior incrementa la tolerancia al estrés por parte de la planta, promueve el crecimiento vegetal e induce resistencia contra los patógenos (Rivera, Brenes, & Zuñiga, 2018). Para mejorar los resultados en el control de *Fusarium* se podrían usar la combinación de productos químicos y biológicos, investigaciones previas realizadas por García, en 2010, indican que son factibles aplicaciones conjuntas entre algunos agroquímicos y hongos antagonistas que pueden ayudar a mejorar la efectividad de ambos agentes de control. La existencia de un

efecto sinérgico cuando se aplica el hongo con dosis subletales del agroquímico puede tener implicaciones importantes en el impacto que las actividades agrícolas tienen sobre el ambiente y sobre la dinámica de las poblaciones de insectos plaga y hongos fitopatógenos. El uso de menores cantidades de agroquímicos permitirá obtener alimentos menos contaminados, una mayor protección del ambiente y reducir la tasa de selección de organismos resistentes a estos productos (Organización Mundial de la Salud, 2022).

### 5.3 Costos variables

Para el análisis de los costos variables de cada uno de los tratamientos en estudio, se consideró tanto los costos del producto empleado, así como el costo de aplicación de cada uno de ellos y se le relacionó a un gasto de producto empleado para una hectárea de pitahaya; en el presente estudio los costos de empleo estimados para cada tratamiento evaluado, así como la frecuencia de su uso por hectárea y por año se puede apreciar en la **Tabla 8**.

**Tabla 8.** Costos variables de los tratamientos en estudio.

Tratamiento	Frecuencia de aplicación	Costo/hectárea
Carboxina	Aplicaciones semanales	960,00
<i>Trichoderma</i>	Aplicaciones quincenales	456,00
<i>Bacillus subtilis</i>	Aplicaciones semanales	408,00

Según el INIAP (2020), incluyen también productos agroquímicos como: Sulfato de cobre pentahidratado (Kupper), Pyraclostrobin (Nedpyr), Benfuracarb (Nakar), los cuales aumentan el costo de producción. Estas aplicaciones convencionales con los productos químicos mencionados anteriormente según Ghosal *et. al.*, (2020) podrían ser efectivos sobre el crecimiento del micelio del patógeno, por lo que estos productos son muy utilizados en el cantón Palora. Normalmente en zonas productoras de pitahaya cuando se presentan la sintomatología de *Fusarium* en algún lote en producción se procede a realizar una curación química, la cual incluye insumos agrícolas que presentan un alto costo económico (INIAP, 2020).

Tomando en cuenta la mano de obra y el valor de cada producto aplicado por hectárea, se realizó una comparación entre los costos de aplicación de insumos por hectárea, entre los

tratamientos convencionales y los alternos presentes en esta investigación, para determinar cuál es la aplicación más económica y a su vez más efectiva y eficiente.

En la **Tabla 8** se puede observar el costo anual por hectárea de cada uno de los tratamientos evaluados en la presente investigación, siendo el tratamiento con Carboxina el de mayor costo, sin embargo, es el que mejores resultados presentó en el control de *Fusarium* spp., si se compara con las aplicaciones alternativas (*Trichoderma*, *Bacillus*) que presentan un costo de casi un 50% menor al convencional y con porcentajes de control sobre *Fusarium* regulares, a manera general la Carboxina (Vitavax) es el tratamiento que mejor resultados presenta en el control, pero los costos de aplicación de este tratamiento son demasiados elevados, tras realizar las 3 aplicaciones, estos datos se asemejan a los encontrados por Solano & Brenes (2012), quienes evaluaron el efecto de diferentes tratamientos (Vitavax, Orthocide, solarización y testigo), sobre porciones de suelo inoculado con *Fusarium* spp, en la etapa de germinación de cedro dulce (*Cedrela tonduzii*).

## Conclusiones

En cuanto a la incidencia, si se compara con el tratamiento control, se pudo determinar que la aplicación de Carboxina muestra una menor incidencia del patógeno, seguido de los tratamientos alternativos con *Trichoderma* y *Bacillus*; sin embargo, todos los tratamientos presentan plantas con sintomatología de haber sido afectadas por el patógeno.

La severidad del ataque por parte de *Fusarium* que mostraron algunas plantas de pitahaya, nos indica que el control químico es el que presenta un menor porcentaje de severidad, seguido del tratamiento con *Trichoderma*. Se pudo evidenciar que las plantas en las cuales se aplicó el tratamiento químico, presentaron nódulos en su sistema radicular indicando la presencia de nemátodos

En cuanto a los costos de las aplicaciones se pudo evidenciar que las aplicaciones químicas son altamente costosas comparadas con las aplicaciones biológicas, sin embargo, la eficiencia de los productos químicos es más alta.

### Recomendaciones

Se recomienda realizar capturas de cepas nativas de *Trichoderma* que pertenezcan a la zona de estudio y multiplicarlas, con esto lograremos cepas más adaptadas al medio.

Se recomienda evaluar plantas de Pitahaya Roja como patrones para posteriormente realizar injertos con la variedad Amarilla, ya que se estima que son más resistentes a los encharcamientos y por tanto a nematodos y enfermedades fúngicas.

Para futuras investigaciones se recomienda considerar hacer estudios en el control de la pudrición basal del fruto, causado por el mismo agente etiológico considerado en nuestra investigación, ya que se encuentra presente en problemas fitosanitarios en post-cosecha.

## Referencias

- Agrios, G. (2005). *Plant Pathology*. Elsevier Academic Press.
- Arauz, L. (2011). Fitopatología: un enfoque agroecológico. *Universidad de Costa Rica*, 59.
- Askun, T. (2018). Introductory Chapter: Fusarium: Pathogenicity, Infections, Diseases, Mycotoxins and Management. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.76507>.
- Balendres, M., & Bengoa, J. (2019). Enfermedades de la fruta del dragón ( especie *Hylocereus* ): etiología y opciones de gestión actuales. *CROP Protection*, 9.
- Borrero, C., & Silva, H. (2005). Efectos de *Trichoderma* (in vitro) en los microorganismos no patógenos descomponedores de la materia orgánica de un suelo oxisol clase IV del piedemonte llanero.
- Castaño, Z. (2015). Principios básicos de hongos fitopatógenos. . *Centro Editorial Universidad de Caldas*, 362.
- Clavijo, S. (2014). Búsqueda de resistencia a la pudrición causada por *Fusarium* spp. en *Capsicum*. *Universidad Nacional de Colombia* , 24.
- Cobos, J. (2007). *Proyecto de factibilidad para la exportación de pitahaya a alemania*. Quito: Universidad Tecnológica Equinoccial.
- COMAFORS. (2006). *Apoyo a planes nacionales de reforestación ambientalmente amigable*. Quito: Corporación de Manejo Forestal Sustentable|.
- Diéguez, K., Zabala, A., Villaroel, K., & Sarduy, L. (2020). Evaluación del impacto ambiental del cultivo de Pitahaya, Cantón Palora, Ecuador. *TecnoLógicas*, 8-16.
- Edifarm. (2015). Ficha Técnica de Vitavax 400. *ECUAQUIMICA*.
- Ezquibel, P., & Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria limentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 113-129.
- Ezquivel, P., & Araya, Y. (2012). Características del fruto de la pitahaya (*Hylocereus* sp.) y su potencial de uso en la industria alimentaria. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos.*, 120, 124.
- Fernández, J., & Suárez, C. (2019). ANTAGONISMO IN VITRO DE *Trichoderma harzianum* Rifai SOBRE *Fusarium oxysporum* Schlecht f. sp *passiflorae* EN MARACUYÁ (*Passiflora edulis* Sims var. *Flavicarpa*) DEL MUNICIPIO ZONA BANANERA COLOMBIANA. *Revista Nacional de Agronomía* , 6.
- Gómez, L., Rodríguez, M., Miranda, I., & González, E. (2009). Factores limitantes de los rendimientos y calidad de las cosechas en la producción protegida de hortalizas en Cuba. *Revista de Protección Vegetal*, 4-5.

- González, E. (2014). *Evaluación de siete fungicidas para el control de cuatro aislados de Fusarium oxysporum*. Managua, Nicaragua: Edicorp.
- González, L., Torrado, J., M., & Céspedes, N. (2020). BIOLOGICAL ALTERNATIVES FOR THE CONTROL OF Fusariumoxysporum IN PEA CROP IN PAMPLONA, NORTH OF SANTANDER. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 16.
- Goñas, M., Vera, N., & Leiva, S. (2017). Efecto antagónico in vitro de controladores biológicos sobre la pudrición gris de frutos de fresa (*Fragaria spp*) en el distrito de Chachapoyas. *Revista de investigación de agroproducción sustentable*, 7-8.
- Gordon, T. (2017). Fusarium oxysporum and the Fusarium Wilt Syndrome. *Revista Fitopatológica*, 2-13.
- Guédez, C., Cañizález, L., Castillo, C., & Olivar, R. (2009). Efecto antagónico de *Trichoderma harzianum* sobre los hongos patógenos postcosecha de la fresa (*Fragaria spp*). *Revista de la sociedad Venezolana de Microbiología*, 4-6.
- Hernández, J., Carranza, C., Maldonado, J., & Domingo, M. (2020). Aislamiento de Fusarium de plantas de vainilla cultivadas en la Huasteca Potosina México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 3-4.
- Hernández, M., Sánchez, D., & Galeana, E. (2014). *Fumonisin*as –*Síntesis y función en la interacción Fusarium verticillioides-maíz*. Ciudad Universitaria, Deleg. Coyoacán: Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas.
- Huachi, L., Yugsi, E., Paredes, M., Coronel, D., Verdugo, K., & Santamaria, P. (2015). Desarrollo de la pitahaya (*cereus sp.*) En Ecuador. *La granja: revista de ciencias de la vida*, 5-8.
- Kondo, T., Quintero, E., Atilio, J., & Manrique, M. (2015). Insectos plagas de importancia económica en el cultivo de pitaya amarilla. *Researchgate*, 3-4.
- López, L. (2015). BIODIVERSIDAD DEL SUELO: CONTROL BIOLÓGICO DE NEMÁTODOS CON HONGOS NEMATÓFAGOS. *Cuadernos de Biodiversidad*, 6.
- Magliano, T., & Chulze, S. (2013). Fusarium head blight in Latin America. *Springer*, 13.
- Martínez, B., Infante, D., & Reyes, Y. (2013). *Trichoderma spp.* y su función en el control de plagas en los cultivos.
- Montesinos, J., Larramendi, L., Ortiz, R., Fonseca, M., Ruiz, G., & Guevara, F. (2015). Pitahaya (*Hylocereus spp.*) un recurso fitogenético con historia y futuro para el trópico seco Mexicano. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas*.
- Mora, D. (2012). Manejo fitosanitario de cultivo de la pitahaya. *Instituto Colombiano Agropecuario*.
- Nagua, E. (2018). Uso de la bacteria bacillus subtilis como agente de control biológico de hongos fitopatógenos en cultivos tropicales. *Universidad Tecnica de Machala*, 3-4.

- Ochoa, J. (2009). Componentes del manejo integrado de fusariosis o marchitez vascular de babaco en el Ecuador. *Revista Técnica Informativa INIAP*, 16-18.
- Ochoa, J., & Fonseca, G. (1998). Enfermedades del Babaco. *Memorias del seminario frutícola del cultivo de babaco bajo invernadero INIAP*, 8.
- Organizacion Mundial de la Salud. (2022). Residuos de plaguicidas en los alimentos. *Organizacion Mundial de la Salud*.
- Pérez, L. (2014). Prevention and diagnostic of Fusarium Wilt (Panama disease) of banana caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense* Tropical Race 4 (TR4). *Ministry of Agriculture, Cuba*, 74.
- Rivera, W., Brenes, J., & Zuñiga, C. (2018). Efectos de la aplicación de *Trichoderma asperellum* y su filtrado en el crecimiento de almácigos de cebolla (*Allium cepa*). *Tecnología en Marcha*, 98-105.
- Rudy, N., Hugh, S. A., & Loza, M. (2011). Evaluación de la capacidad biocontroladora de cepas nativas de *Trichoderma* spp sobre *Rhizoctonia* sp y *Fusarium* sp en café (*Coffea arabica*) en condiciones experimentales. *Journal of the Selva Andina Research Society*, 7-10.
- Ruiz, M., Ornelas, J., & Olivas, G. (2018). Efecto de *Trichoderma* spp. y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate.
- Salazar, C., Serna, L., & Gómez, E. (2016). Caracterización molecular de *Fusarium* asociado a pudrición basal del fruto de Pitahaya. *Agronomía Mesoamericana*, 7-10.
- Sánchez, K., Castro, O., Meneses, M., & Quesada, A. (2019). Etiología de las pudriciones en el tallo de *Hylocereus* sp, provocadas por *Enterobacter hormaechei* en Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 12-14.
- Shafique, H., & Sultana, V. (2016). Management of soil-borne diseases of organic vegetables. *Journal of Plant Protection*.
- Solís, J., & Armas, M. (2017). Alternativas biológicas para el manejo del complejo de manchado de grano en el cultivo de arroz en Babahoyo, provincia de Los Ríos, Ecuador. *Ciencias Naturales y Ambientales*, 12.
- Suárez, C., Pico, J., & Delgado, A. (2019). P8 Reconocimiento de enfermedades fúngicas sobre pencas de pitahaya amarilla (*Cereus* sp.) en el cantón Palora. *Producción Agrícola Sostenible*, 5-9.
- Suárez, C., Pico, J., Delgado, A., & Caicedo, C. (2019). Identificación del agente causal de la pudrición del pie de pitahaya amarilla (*Hylocereus*) en el cantón Palora. *INIAP*, 41.
- Tapia, C., & Amaro, J. (2014). Manual de Microhongos filamentosos comunes. *Programa de Microbiología y Micología*, 2-26.
- Trujillo, D. (2014). Microorganismos asociados a la pudrición blanda del tallo y manchado del fruto en el cultivo de pitahaya amarilla en Ecuador. *Universidad Central del Ecuador*, 20-25.

- Vargas, Y., Pico, J., Díaz, A., Sotomayor, D., Burbano, A., Caicedo, C., . . . Viera, W. (2020). Manual Técnico del cultivo de pitahaya. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP)*, 6-10.
- Verona, A., Urcia, J., & Paucar, L. (2020). Pitahaya (*Hylocereus* spp.): Cultivo, características fisicoquímicas, composición nutricional y compuestos bioactivos. *Scientia Agropecuaria* 1, 4-6.
- Villa, A., Pérez, R. M., Basurto, M., Soto, J., & Martínez, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium* spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 6-12.
- Villa, P., Alfonso, I., Rivero, M., & Gonzales, G. (2007). Evaluación de cepas de *Bacillus subtilis* bioantagonistas de hongos fitopatogenicos del género *Fusarium*. *Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar*.
- Villaplana, R., Paéz, D., & Valencia, S. (2017). Control de la pudrición negra causada por *Alternaria alternata* en pitahaya amarilla (*Selenicereus megalanthus*) mediante baños de agua caliente. *Elsevier*, 11.
- Villar, A., Ernst, O., & Cadenazzi, M. (2018). Efecto de la secuencia de cultivos sobre la población nativa de *Trichoderma* spp. en agricultura sin laboreo.

## Anexos

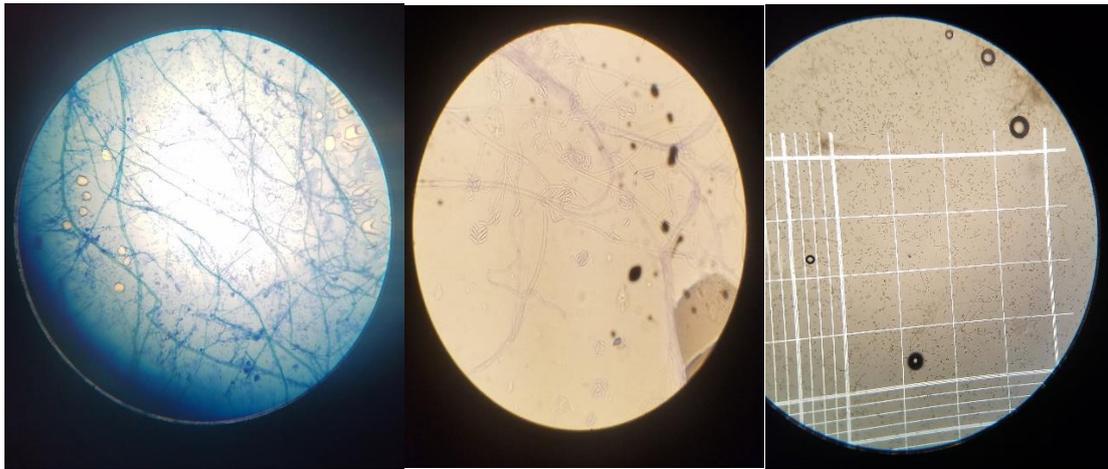
**Anexo A** Visita y recolección de muestras vegetales en lotes de producción con antecedentes de Fusarium



**Anexo B** Repique y aislamiento del patógeno en el Laboratorio de la Facultad de Ciencias Agropecuarias



**Anexo C** Identificación microscópica de *Fusarium* en base a estructuras morfológicas y conteo de ufc (unidades formadoras de colonias).



**Anexo D** Pruebas de patogenicidad a nivel de invernadero



## Anexo E Llenado de fundas y siembra de pencas de Pitahaya



## Anexo F Preparación de inóculo del patógeno



## Anexo G Aplicación tipo drench en el sustrato y la penca para inocular el patógeno



## Anexo H Aplicación de los diferentes tratamientos de acuerdo al cronograma establecido



## Anexo I Toma de datos de datos en campo (Incidencia, severidad, número de brotes y volumen radicular)



## Anexo J Muestreo y toma de datos finales en todos los tratamientos



