



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL MANEJO BIOLÓGICO, QUÍMICO Y  
CONVENCIONAL DE ENFERMEDADES DEL FILOPLANO EN EL  
CULTIVO ESTABLECIDO DE TUNA (*Opuntia ficus indica* L.)**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR:**

**LUIS FERNANDO CESEN FIALLOS**

Riobamba – Ecuador

2022



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**EVALUACIÓN DEL MANEJO BIOLÓGICO, QUÍMICO Y  
CONVENCIONAL DE ENFERMEDADES DEL FILOPLANO EN EL  
CULTIVO ESTABLECIDO DE TUNA (*Opuntia ficus indica* L.)**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**AUTOR:** LUIS FERNANDO CESEN FIALLOS

**DIRECTOR:** Ing. FERNANDO JOSÉ RIVAS FIGUEROA Ph.D

Riobamba – Ecuador

2022

© 2022, Luis Fernando Cesen Fiallos

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Luis Fernando Cesen Fiallos, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de diciembre de 2022

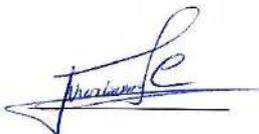
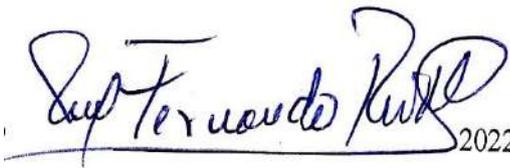


**Luis Fernando Cesen Fiallos**

**0605101716**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; tipo: Proyecto de Investigación, **EVALUACIÓN DEL MANEJO BIOLÓGICO, QUÍMICO Y CONVENCIONAL DE ENFERMEDADES DEL FILOPLANO EN EL CULTIVO ESTABLECIDO DE TUNA** (*Opuntia ficus indica* L.), realizado por el señor: **LUIS FERNANDO CESEN FIALLOS**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Víctor Alberto Lindao Córdova Ph.D <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2022-12-15
Ing. Fernando José Rivas Figueroa Ph.D <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-12-15
Ing. Pablo Israel Álvarez Romero Ph.D <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2022-12-15

## **DEDICATORIA**

El presente Trabajo de Integración Curricular está dedicado a todos aquellos que han intervenido en el mismo. También está dedicado para todos aquellos que necesiten de la información recopilada del mismo.

*Luis*

## **AGRADECIMIENTO**

El presente Trabajo de Integración Curricular se logró mediante el apoyo de entidades particulares e institucionales. En las particulares, se agradece principalmente a los familiares y amigos cercanos. Por parte de las institucionales, se ofrece un inmenso agradecimiento a la Institución de Educación Superior ESPOCH, la que a través de sus docentes y ambiente académico brinda a sus estudiantes y a la comunidad politécnica una preparación profesional de calidad.

*Luis*

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xiii
RESUMEN.....	xv
SUMMARY.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>4</b>
<b>1.1. Planteamiento del Problema .....</b>	<b>4</b>
<b>1.2. Objetivos .....</b>	<b>4</b>
<i>1.2.1. Objetivo General .....</i>	<i>4</i>
<i>1.2.2. Objetivos Específicos .....</i>	<i>4</i>
<b>1.3. Justificación.....</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Hipótesis .....</b>	<b>5</b>
<i>1.4.1. Nula .....</i>	<i>5</i>
<i>1.4.2. Alternativa.....</i>	<i>5</i>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. Referencias teóricas .....</b>	<b>6</b>
<i>2.1.1. Generalidades del cultivo de tuna.....</i>	<i>6</i>
<i>2.1.2. Origen y distribución geográfica de la tuna .....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.3. Taxonomía .....</i>	<i>7</i>
<i>2.1.4. Características morfológicas .....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.4.1. Sistema radical.....</i>	<i>8</i>
<i>2.1.4.2. Cladodio.....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.4.3. Yemas florales.....</i>	<i>9</i>
<i>2.1.4.4. Morfología de la flor.....</i>	<i>10</i>
<i>2.1.4.5. Fruto.....</i>	<i>10</i>
<i>2.1.5. Características fisiológicas.....</i>	<i>10</i>

2.1.5.1.	<i>Ciclo CAM</i> .....	11
<b>2.1.6.</b>	<b><i>Requerimientos agroecológicos</i></b> .....	12
2.1.6.1.	<i>Suelo</i> .....	12
2.1.6.2.	<i>Condiciones climáticas</i> .....	13
<b>2.1.7.</b>	<b><i>Manejo agronómico del cultivo de tuna</i></b> .....	13
2.1.7.1.	<i>Riego</i> .....	13
2.1.7.2.	<i>Fertilización</i> .....	14
2.1.7.3.	<i>Podas</i> .....	16
<b>2.1.8.</b>	<b><i>Enfermedades en el cultivo de tuna</i></b> .....	16
2.1.8.1.	<i>Principales enfermedades y síntomas en el cultivo de tuna</i> .....	17
<b>2.1.9.</b>	<b><i>Generalidades de hongos fitopatógenos asociados con enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna</i></b> .....	20
2.1.9.1.	<i>Geotrichum sp.</i> .....	20
2.1.9.2.	<i>Alternaria sp.</i> .....	21
2.1.9.3.	<i>Fusarium sp.</i> .....	22
2.1.9.4.	<i>Epicoccum sp.</i> .....	23
<b>2.1.10.</b>	<b><i>Manejo integrado de enfermedades</i></b> .....	24
2.1.10.1.	<i>Control biológico</i> .....	25
2.1.10.2.	<i>Control químico</i> .....	32

### **CAPÍTULO III**

<b>3.</b>	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	36
<b>3.1.</b>	<b>Enfoque de investigación</b> .....	36
<b>3.2.</b>	<b>Nivel de Investigación</b> .....	36
<b>3.3.</b>	<b>Diseño de investigación</b> .....	36
3.3.1.	<i>Según la manipulación o no de la variable independiente (no experimental, casi experimental, experimental)</i> .....	37
3.3.2.	<i>Según las intervenciones en el trabajo de campo (transversal, longitudinal)</i> .....	37
<b>3.4.</b>	<b>Tipo de estudio (documental/de campo)</b> .....	37
<b>3.5.</b>	<b>Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra</b> .....	37
3.5.1.	<i>Unidad experimental</i> .....	37
<b>3.6.</b>	<b>Métodos, técnicas e instrumentos de investigación</b> .....	38
3.6.1.	<i>Caracterización del lugar</i> .....	38
3.6.1.1.	<i>Ubicación geográfica</i> .....	38
3.6.1.2.	<i>Condiciones climáticas</i> .....	39

<b>3.6.2. Materiales</b> .....	39
3.6.2.1. <i>Materiales de campo</i> .....	39
3.6.2.2. <i>Materiales biológicos</i> .....	39
3.6.2.3. <i>Materiales químicos</i> .....	39
3.6.2.4. <i>Materiales de oficina</i> .....	39
<b>3.6.3. Métodos</b> .....	40
3.6.3.1. <i>Croquis del ensayo</i> .....	40
3.6.3.2. <i>Tratamientos de estudio</i> .....	40
<b>3.6.4. Variables y métodos de evaluación</b> .....	41
3.6.4.1. <i>Incidencia</i> .....	41
3.6.4.2. <i>Severidad</i> .....	41
3.6.4.3. <i>Área bajo la curva del progreso de la enfermedad</i> .....	42
3.6.4.4. <i>Eficacia de los tratamientos</i> .....	43
<b>3.6.5. Manejo del cultivo</b> .....	43
3.6.5.1. <i>Selección del lote</i> .....	43
3.6.5.2. <i>Delimitación de las unidades experimentales</i> .....	43
3.6.5.3. <i>Fertilización edáfica</i> .....	43
3.6.5.4. <i>Poda</i> .....	44
3.6.5.5. <i>Labores de control de malezas</i> .....	44
3.6.5.6. <i>Cosecha</i> .....	44

## CAPÍTULO IV

<b>4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS</b> .....	45
<b>4.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados</b> .....	45
4.1.1. <i>Incidencia</i> .....	45
4.1.2. <i>Severidad</i> .....	48
4.1.3. <i>Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)</i> .....	49
4.1.3.1. <i>Incidencia</i> .....	49
4.1.3.2. <i>Severidad</i> .....	51
4.1.4. <i>Eficacia de los tipos de control (químico, biológico y convencional)</i> .....	53
4.1.5. <i>Productividad y Rendimiento</i> .....	53
4.1.5.1. <i>Número de flores</i> .....	53
4.1.5.2. <i>Número de frutos</i> .....	55
4.1.5.3. <i>Rendimiento (g)</i> .....	57
<b>4.2. Discusión</b> .....	57

<b>4.3.</b>	<b>Comprobación de la hipótesis .....</b>	<b>66</b>
-------------	---	-----------

## **CAPÍTULO V**

<b>5.</b>	<b>MARCO PROPOSITIVO.....</b>	<b>67</b>
<b>5.1.</b>	<b>Propuesta.....</b>	<b>67</b>

## **CAPÍTULO VI**

<b>6.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
<b>6.1.</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>68</b>
<b>6.2.</b>	<b>Recomendaciones .....</b>	<b>70</b>

## **GLOSARIO**

## **BIBLIOGRAFÍA**

## **ANEXOS**

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1-2:</b>	Composición química de la tuna.....	7
<b>Tabla 2-2:</b>	Descripción taxonómica de <i>Opuntia ficus-indica</i> .....	8
<b>Tabla 3-2:</b>	Normas provisionales para un criterio de fertilización en el cultivo de tuna.....	15
<b>Tabla 4-2:</b>	Recomendaciones provisionales de fertilización para la producción de tuna donde no existen análisis de suelos.....	15
<b>Tabla 5-2:</b>	Enfermedades en el cultivo de tuna causado por agentes patógenos bióticos.....	17
<b>Tabla 6-2:</b>	Descripción taxonómica de <i>Bacillus subtilis</i> .....	29
<b>Tabla 7-2:</b>	Clasificación taxonómica de <i>Trichoderma harzianum</i> .....	32
<b>Tabla 1-3:</b>	Tratamientos involucrados en el diseño experimental.....	36
<b>Tabla 2-3:</b>	Esquema del análisis de varianza para cada tratamiento.....	37
<b>Tabla 3-3:</b>	Especificaciones de la ue en la evaluación de los tipos de control de las enfermedades del filoplano del cultivo de tuna.....	38
<b>Tabla 4-3:</b>	Datos geográficos del lugar de investigación.....	38
<b>Tabla 5-3:</b>	Condiciones agroclimáticas del lugar de investigación.....	39
<b>Tabla 6-3:</b>	Tratamientos en la evaluación de tipos de control biológico químico y convencional de las enfermedades del filoplano del cultivo de tuna.....	41
<b>Tabla 1-4:</b>	ANOVA de la incidencia en plantas tratadas con diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna.....	46
<b>Tabla 2-4:</b>	Promedio a los 15 días de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	47
<b>Tabla 3-4:</b>	Promedio a los 71 y 79 días de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	47
<b>Tabla 4-4:</b>	Promedio a los 87 y 95 días de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	47
<b>Tabla 5-4:</b>	ANOVA de la severidad en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	48
<b>Tabla 6-4:</b>	Promedio de la variable severidad en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	49
<b>Tabla 7-4:</b>	ANOVA del ABCPE de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	50

<b>Tabla 8-4:</b>	Promedio del ABCPE de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	51
<b>Tabla 9-4:</b>	ANOVA del ABCPE de la variable severidad en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	52
<b>Tabla 10-4:</b>	Eficacia de los tipos de control químico, biológico y convencional relacionados con el manejo de enfermedades del filoplano del cultivo de tuna.....	53
<b>Tabla 11-4:</b>	ANOVA del número de flores a los 72 días en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	54
<b>Tabla 12-4:</b>	Promedio de la variable número de flores en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	55
<b>Tabla 13-4:</b>	ANOVA del número de frutos en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	56
<b>Tabla 14-4:</b>	Promedio de la variable número de frutos en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	56
<b>Tabla 15-4:</b>	ANOVA del rendimiento en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.....	57

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1-3:</b>	Croquis del diseño experimental.....	40
<b>Ilustración 2-3:</b>	Escala de severidad de mancha negra del cladodio de la tuna.....	42
<b>Ilustración 1-4:</b>	Diagrama de caja y bigotes de la variable incidencia expresada en porcentaje de acuerdo con los tratamientos establecidos.....	45
<b>Ilustración 2-4:</b>	Diagrama de caja y bigotes de la variable severidad expresada en porcentaje de acuerdo con los tratamientos establecidos.....	48
<b>Ilustración 3-4:</b>	Curva del progreso de la enfermedad para la variable incidencia en plantas de tuna tratadas con diferentes tratamientos.....	50
<b>Ilustración 4-4:</b>	Curva del progreso de la enfermedad para la variable severidad en plantas de tuna tratadas con diferentes tratamientos.....	52
<b>Ilustración 5-4:</b>	Diagrama de caja y bigotes de la variable número de flores de acuerdo con los tratamientos establecidos.....	54
<b>Ilustración 6-4:</b>	Diagrama de caja y bigotes de la variable número de frutos de acuerdo con los tratamientos establecidos.....	55
<b>Ilustración 7-4:</b>	Diagrama de caja y bigotes de la variable rendimiento expresado en gramos (g) de acuerdo con los tratamientos establecidos.....	57

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>ANEXO A:</b>	CULTIVO ESTABLECIDO DE TUNA EN TUNSHI
<b>ANEXO B:</b>	MUESTRAS DE PORCENTAJE DE SEVERIDAD EN CLADODIOS DE TUNA
<b>ANEXO C:</b>	LABORES CULTURALES EN EL CULTIVO DE TUNA (CONTROL DE MALEZAS)
<b>ANEXO D:</b>	APLICACIONES FITOSANITARIAS EN EL CULTIVO DE TUNA
<b>ANEXO E:</b>	LABORES CULTURALES EN EL CULTIVO DE TUNA (PODA)
<b>ANEXO F:</b>	LABORES CULTURALES EN EL CULTIVO DE TUNA (FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EDÁFICA)
<b>ANEXO G:</b>	LABORES DE COSECHA EN EL CULTIVO DE TUNA
<b>ANEXO H:</b>	CLASIFICACIÓN SEGÚN FRAC DE LOS FUNGICIDAS CON MODO DE ACCIÓN SOBRE LA RESPIRACIÓN
<b>ANEXO I:</b>	CLASIFICACIÓN DE LOS FUNGICIDAS CON MODO DE ACCIÓN SOBRE LA BIOSÍNTESIS DE ESTEROL EN LAS MEMBRANAS
<b>ANEXO J:</b>	CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FRAC DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS CON ACTIVIDAD MULTISITIO
<b>ANEXO K:</b>	ANOVA DE LA VARIABLE INCIDENCIA A LOS 0, 7, 23, 31, 39, 47, 55 Y 63 DÍAS
<b>ANEXO L:</b>	ANOVA DE LA VARIABLE SEVERIDAD A LOS 0, 7, 15, 23, 31, 39, 47, 55, 63, 71, 79 Y 85 DÍAS
<b>ANEXO M:</b>	ANOVA DE LA VARIABLE NÚMERO DE FLORES A LOS 0 Y 57 DÍAS
<b>ANEXO N:</b>	ANOVA DE LA VARIABLE NÚMERO DE FRUTOS A LOS 0 Y 72 DÍAS
<b>ANEXO O:</b>	MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DE DISPERSIÓN DE LA VARIABLE RENDIMIENTO
<b>ANEXO P:</b>	GRÁFICO CORRESPONDIENTE A LOS VALORES DE TEMPERATURA (°C) EN EL ÁREA EXPERIMENTAL
<b>ANEXO Q:</b>	GRÁFICO CORRESPONDIENTE A LOS VALORES DE HUMEDAD RELATIVA (%) EN EL ÁREA EXPERIMENTAL
<b>ANEXO R:</b>	GRÁFICO CORRESPONDIENTE A LOS VALORES DE PUNTO DE ROCÍO (°C) Y VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)
<b>ANEXO S:</b>	RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DE MOCHILA
<b>ANEXO T:</b>	DOSIS RECOMENDADAS DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS
<b>ANEXO U:</b>	DOSIS TOTAL PARA APLICAR DE PRODUCTOS QUÍMICOS

**ANEXO V:** DOSIS TOTAL APLICAR EN LOS TRATAMIENTO DE CONTROL BIOLÓGICO

**ANEXO W:** SÍNTOMAS DE LA ENFERMEDAD “*MANCHA NEGRA DEL CLADODIO*” EN EL CULTIVO DE TUNA DE INVESTIGACIÓN

## RESUMEN

El objetivo del presente Trabajo de Integración Curricular fue evaluar bajo condiciones de campo los tipos de control biológico, químico y convencional de las enfermedades del filoplano en el cultivo establecido de tuna (*Opuntia ficus-indica* L.). La investigación comprendió tres fases: identificación y establecimiento del área experimental, aplicación de los tratamientos y evaluación de las variables propuestas. El área experimental se ubicó en la Estación Experimental Tunshi de la ESPOCH; se estableció un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones. Los tratamientos establecidos fueron los siguientes: (T<sub>1</sub>) *Bacillus subtilis*, (T<sub>2</sub>) *Trichoderma harzianum*, (T<sub>3</sub>) Piraclostrobin, (T<sub>4</sub>) Tebuconazol, (T<sub>5</sub>) Sulfato de cobre y (T<sub>6</sub>) Testigo; las dosis aplicadas correspondieron a: (T<sub>1</sub>) 4 L ha<sup>-1</sup>, (T<sub>2</sub>) 10<sup>6</sup> UFC mL<sup>-1</sup>, (T<sub>3</sub>) 1 cm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup>, (T<sub>4</sub>) 1 cm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup>, (T<sub>5</sub>) 1 cm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup> y (T<sub>6</sub>) sin aplicación; la frecuencia de aplicación fue cada 15 días; y el número de aplicaciones fue de 6 en el período de investigación. Las variables evaluadas correspondieron al manejo de la enfermedad: Incidencia y Severidad; las mismas, que comprendieron un período de 0 a 95 días, con intervalos de 8 días. Mientras, que las variables de productividad, número de flores y frutos, fueron evaluadas a los 0, 57 y 72 días y el rendimiento, a los 95 días. Los resultados mostraron diferencias significativas para la variable incidencia, severidad, número de frutos y flores; en el caso de incidencia el mejor tratamiento fue (T<sub>3</sub>) Piraclostrobin, en severidad (T<sub>5</sub>) Sulfato de cobre, en número de flores (T<sub>6</sub>) Testigo y en número de frutos (T<sub>4</sub>) Tebuconazol. Por lo que se concluye que los tipos de control biológico, químico y convencional tienen potencial de manejo en las enfermedades en el cultivo establecido de tuna. Se recomienda el uso de piraclostrobin, sulfato de cobre y *Bacillus subtilis* para su manejo fitosanitario.

**Palabras clave:** <TUNA (*Opuntia ficus-indica* L.)>, <MANEJO DE ENFERMEDADES>, <CONTROL QUÍMICO>, <CONTROL BIOLÓGICO>, <CONTROL CONVENCIONAL>, <INCIDENCIA>, <SEVERIDAD>, <PRODUCTIVIDAD>.

  
D.B.R.A.I.  
Ing. Eriqthya Castillo



0012-DBRA-UTP-2023

## SUMMARY

This present investigation aimed to evaluate the types of biological, chemical and conventional control of phylloplane diseases under field conditions in the established cultivation of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.). The research consisted of three phases: identification and establishment of the experimental area, application of the treatments and evaluation of the proposed variables. The experimental area was located at the Tunshi Experimental Station at ESPOCH; a Randomized Complete Block Design (RCBD) with three replications was established. The treatments established were the following: (T<sub>1</sub>) *Bacillus subtilis*, (T<sub>2</sub>) *Trichoderma harzianum*, (T<sub>3</sub>) Pyraclostrobin, (T<sub>4</sub>) Tebuconazole, (T<sub>5</sub>) Copper sulfate and (T<sub>6</sub>) Control; the applied doses corresponded to: (T<sub>1</sub>) 4 L ha<sup>-1</sup>, (T<sub>2</sub>) 10<sup>6</sup> CFU mL<sup>-1</sup>, (T<sub>3</sub>) 1 cm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup>, (T<sub>4</sub>) 1 cm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup>, (T<sub>5</sub>) 1 cm<sup>3</sup> L<sup>-1</sup> and (T<sub>6</sub>) no application; the frequency of application was every 15 days; and the number of applications was six during the investigation. The variables evaluated corresponded to the management of the disease: Incidence and severity, which covered a period from 0 to 95 days, with intervals of eight days. The productivity variables, number of flowers and fruit were evaluated at 0, 57 and 72 days, and yield at 95 days. The results showed significant differences for the variables incidence, severity, number of fruits and flowers; in the case of incidence the best treatment was (T<sub>3</sub>) Pyraclostrobin, in severity (T<sub>5</sub>) Copper sulfate, in number of flowers (T<sub>6</sub>) Control and in number of fruits (T<sub>4</sub>) Tebuconazole. Therefore, it is concluded that biological, chemical, and conventional control types have management potential for diseases in the established prickly pear crop. The use of pyraclostrobin, copper sulfate and *Bacillus subtilis* is recommended for phytosanitary management.

**Keywords:** <TUNA (*Opuntia ficus-indica* L.)>, <DISEASE MANAGEMENT>, <CHEMICAL CONTROL>, <BIOLOGICAL CONTROL>, <CONVENTIONAL CONTROL>, <INCIDENCE>, <SEVERITY>, <PRODUCTIVITY>.



Esthela Isabel Colcha Guashpa

0603020678

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica* L.) es considerado como una alternativa frente a las condiciones adversas del ambiente y algunas específicas del suelo que dificultan el establecimiento de cualquier otro cultivo, por la alta tolerancia que tiene en entornos áridos y semiáridos, donde escasea el principal recurso que posibilita la agricultura: agua (Orone et al., 2003, p. 196). De manera que la UNDP/UNOS (1997) citado en Arba (2020, p. 335), declaran que más del 30% del total de área de tierras del planeta corresponden a entornos áridos y semiáridos; que generan un gran reto a nivel agrícola productivo, por las condiciones intrínsecas del ambiente mismo; es decir, baja tasa de precipitación, suelos pobres a nivel nutricional y las elevadas temperaturas que imposibilitan el asentamiento de cualquier cultivo agrícola (Arba, 2020, p. 335). Por ello, Nobel (1995) y Yahia (2011a) citados en Yahia y Saénz (2011, p. 291), mencionan que esta especie vegetal habita en una gran variedad de regiones geográficas con marcadas diferencias ambientales, siendo así que se la puede encontrar desde las zonas desérticas tanto a nivel de mar, las regiones tropicales de Centroamérica y aquellas áreas que alcanzan temperaturas por debajo de cero grados Celsius. De ahí la importancia de encontrar especies vegetales que se adapten bajo condiciones extremas del ecosistema, y que sirvan de sustento económico productivo para el agricultor (Arba, 2020, p. 336). Por lo que, Le Houerou (2002) citado en Arba (2020, p. 336) destaca el hecho que *Opuntia ficus-indica* sea una especie que perfectamente se adapta a tales entornos, y que además puede producir alimento y forraje a bajo costo.

Dentro de los usos que se dan a *Opuntia ficus-indica* en la industria de los alimentos, puede ser utilizado sus frutos como jugo para la preparación de bebidas, ya que presenta un porcentaje bajo de calorías y un alto porcentaje de vitamina C, iones de calcio, potasio y sodio; a su vez también se la utiliza para la preparación de mermeladas, helados y margarinas (Gupta, 2019, p. 184). Dentro del campo cosmético, se suele realizar, a través del jugo de los cladodios, productos de higiene y cosméticos, como jabón líquido y sólido, acondicionadores, lociones y crema para la protección solar (Gupta, 2019, p. 184). También tiene un alto potencial en la generación de combustibles, ya que se puede producirlo a través de la fermentación de los cladodios, y generaría una alternativa frente a los combustibles de origen fósil (Gupta, 2019, p. 184). También cumple un papel importante en la alimentación de la población del sector rural en regiones áridas; en México los cladodios jóvenes de 3 a 4 semanas son consumidos por las personas, usando distintas formas de cocinarlo (Arba, 2020, p. 342). Mientras, que FAO (2013) citado en Arba (2020, p. 342) menciona que las plantas comprendidas entre 1 a 2 años son usados como forraje para el ganado. Dentro de los usos médicos, según la medicina popular, es utilizado para tratar la gastritis, fatiga y lesiones del hígado; los compuestos químicos presentes en el cladodio de *Opuntia ficus-indica* sirven para

tratar diferentes afecciones a la salud humana, tal es el ejemplo de los flavonoides que actúan como agentes antioxidantes, también se ha encontrado concentraciones significantes de taurina la misma que ayuda en diferentes enfermedades y disfunciones de los órganos (Gupta, 2019, p. 185). Además, de acuerdo con Guevara y Yahia (2005); Yahia (2011) citados en Yahia y Sáenz (2011, p. 292) la utilizan como un cultivo de revegetación que ayuda a mitigar los daños ocasionados por la erosión en áreas degradadas. Pero el uso más reconocido en este cultivo es como hospedera para la crianza de la cochinilla del carmín (*Dactylopius coccus*) (Arba, 2020, p. 336), para la obtención del pigmento natural, el cual según Vigueras y Portillo (1997) citados en Flores et al. (2006, p. 97), se utiliza en la industria alimenticia, textil y farmacéutica. Adicionalmente, también puede utilizarse en fuente para la obtención de tintes naturales, suplementos alimenticios, y hasta como constituyente en materiales de construcción (Yahia y Sáenz, 2011, p. 292).

Debido a la específica forma en que el cultivo se desarrolla, se considera como un cultivo rústico, es decir, que no requiere cuidados estrictos de manejo como el riego y nutrición vegetal. Esto tiene su ventaja en que puede ser utilizado como cultivo en regiones desérticas o semiáridas con una prevalencia de estrés por calor (Elouafi et al., 2020, p. 7). De esta manera podemos contrastarlo con las condiciones que se presentan en nuestro país, en donde existen áreas con déficit de humedad en más de nueve meses al año, ubicadas tanto en la región Litoral como en la Sierra: en la parte litoral se puede ejemplificar con las provincias de Manabí, Guayas, El Oro y Santa Elena; mientras, que en la Sierra se encuentran particularmente las áreas pertenecientes a las estribaciones de la cordillera occidental del Sur (provincia de Loja), y además, en los valles interandinos de Carchi, Cotopaxi, Pichincha, Imbabura, Chimborazo, Tungurahua y Azuay (Segarra, 2014, p. 5). Entonces podemos observar una correspondencia entre lo citado anteriormente con el establecimiento geográfico de plantaciones de tuna, según nos informa Erazo et al. (2021, p. 156), donde la tuna se cultiva principalmente en las provincias de la región Sierra y casos particulares dentro de la zona costera.

Por otra parte, debemos considerar de forma obligatoria el control de las enfermedades asociados con manifestaciones en el filoplano, como parte del manejo que se da al cultivo. Estas enfermedades tienen la característica de que suelen tener por agentes causales a microorganismos patógenos con amplio espectro de hospederos, tanto de plantas en general como cultivos. A su vez, provocan en el cladodio daños irreversibles, por lo cual con se prolongará la pérdida de plantas de tuna (Alvarado y Santín, 2017, p. 10). De ahí la importancia tanto de conocer los agentes causales de las enfermedades en el cultivo de tuna para luego elaborar un plan de control (químico, biológico, convencional) y disminuir la afectación de las enfermedades en la planta, ya sea de

acuerdo con la finalidad que se trate de obtener con el establecimiento del cultivo (Agrios, 2005, p. 294).

De tal forma que radica la importancia del presente Trabajo de Integración Curricular en generar una alternativa en el control de enfermedades en el filoplano del cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica*), para ello se estableció una diferenciación entre los diversos tipos de control que existen para el manejo de estas. Por una parte, se estableció un tipo de control biológico, utilizando microorganismos antagonistas de los hongos patógenos que generalmente se encuentran asociados a ese tipo de enfermedades, se priorizó el uso de *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*. En el control químico, se utilizaron productos con los ingredientes activos piraclostrobin y tebuconazol. Y, en el último caso, se estableció un control convencional, aunque también es químico, pero es lo que los productores por lo general utilizan para contrarrestar los efectos de las enfermedades en la tuna: estamos hablando del uso de cualquier compuesto basado en cobre, para este ensayo se utilizó sulfato de cobre heptahidratado. La información generada por este Trabajo de Integración Curricular pretende servir de guía para futuras investigaciones relacionadas con el manejo de enfermedades en *Opuntia ficus-indica*. De manera que con la verificación y acumulación de conocimiento en este campo proporcione a la comunidad agrícola de nuestro país una alternativa para una producción sustentable en el cultivo de tuna.

La organización de este Trabajo de Integración Curricular, según el formato establecido, está dividido en seis capítulos. El primer capítulo con título “Problema de Investigación”, formula el planteamiento general para esta investigación, los objetivos, la justificación y por último las hipótesis. En el segundo capítulo “Marco Teórico”, se detalla de manera exhaustiva la información existente sobre el tema de investigación, y las diferentes referencias teóricas que ayudan a la comprensión del Trabajo de Integración Curricular. El tercer capítulo denominado “Marco Metodológico” trata sobre las características del tema de investigación, tales como enfoque, nivel, diseño, manipulación variable independiente, la intervención y el tipo de estudio; y a su vez se detalla los métodos utilizados para la experimentación. El cuarto capítulo “Marco de Análisis e Interpretación de Resultados” desarrolla la obtención del análisis de datos estadísticos, y la interpretación de estos. Luego, el quinto capítulo “Marco Propositivo” no se aplica para este Trabajo de Integración Curricular debido a que es un proyecto de investigación. Por último, el capítulo sexto está constituido por las conclusiones y recomendaciones.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1. Planteamiento del Problema

En nuestro contexto existe escasa información sobre el manejo de enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica* L.), en consideración que los productores no conocen los agentes microbianos asociados a las enfermedades que se producen en los cladodios, de manera particular los agentes fúngicos pertenecientes a los géneros *Geotrichum* sp., *Alternaria* sp., *Fusarium* sp. y *Epicoccum* sp., que según últimos estudios han sido encontradas frecuentemente asociadas a patologías del filoplano en el cultivo de tuna.

#### 1.2. Objetivos

##### 1.2.1. *Objetivo General*

Evaluar bajo condiciones de campo los tipos de control biológico, químico y convencional de las enfermedades del filoplano del cultivo establecido de tuna (*Opuntia ficus indica* L.).

##### 1.2.2. *Objetivos Específicos*

Cuantificar el nivel de daño de los hongos fitopatógenos asociados a enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna bajo los tipos de control biológico, químico y convencional.

Determinar la eficacia de los tipos de control (químico, biológico o convencional) para el control de enfermedades del filoplano en tuna en condiciones de campo.

#### 1.3. Justificación

El manejo adecuado de enfermedades es una actividad importante dentro de un plan de establecimiento o cuidado de un cultivo, ya que permite por un lado identificar a los organismos causantes de enfermedades, y en consecuencia llevar a cabo un tipo de control específico que se ajuste tanto a las necesidades del cultivo, ambiente y económicas del productor. Por lo tanto, llevar a cabo una investigación sobre los tipos de control de enfermedades en el cultivo de tuna, podrá contribuir a generar alternativas que se adapten a las necesidades específicas del entorno

agrícola. En conclusión, con la presente investigación se trata de establecer el tipo de control (químico, biológico o convencional) más eficaz contra las enfermedades relacionadas con el filoplano del cultivo de tuna.

#### **1.4. Hipótesis**

##### ***1.4.1. Nula***

**H<sub>0</sub>:** Ni el control químico, ni el control biológico, ni el control convencional mitiga la acción de los hongos fitopatógenos asociados a enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica* L.).

##### ***1.4.2. Alternativa***

**H<sub>1</sub>:** Por lo menos uno de los tipos de control propuestos mitiga la acción de los hongos fitopatógenos asociados a enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica* L.).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Referencias teóricas

##### 2.1.1. *Generalidades del cultivo de tuna*

La especie vegetal comúnmente denominada tuna, cuyo nombre científico corresponde a *Opuntia ficus-indica*, es una cactácea que presenta características morfológicas propias de la familia, tales como: porte arbustivo, porciones de tallo que reciben el nombre de cladodios cuya función es realizar la actividad fotosintética, presentan gloquidias que pertenecen a la estructura de la hoja (espinas); las flores pueden ir de un color amarillo al naranja, y sus frutos adoptan colores como amarillo, púrpura y rojo (Abascal y Yarnell, 2020, p. 752).

De acuerdo con Butera et al. (2002) citados en El-Mostafa et al. (2014, p. 14480), la tuna es una planta que se desarrolla y crece en entornos geográficos con predominancia a la aridez, que abarca territorios como México, América del sur y países del Mediterráneo. Debido a esa característica morfológica y fisiológica de adaptación a aquellos entornos, la tuna puede considerarse como una alternativa de producción agropecuaria en contraposición a los cultivos tradicionales, ya que pueden adaptarse a períodos prolongados de sequía y optimizar el uso de agua (Edvan et al., 2020, p. 1).

Los usos que se dan al cultivo de tuna, de acuerdo con Mazri (2018, p. 309), están destinados principalmente a satisfacer las necesidades alimenticias de las personas, ya que los frutos pueden ser consumidos frescos o como una bebida; ya que los cladodios y las frutas (Tabla 1-2) de la tuna contienen carbohidratos, fibra, grasas (lípidos), proteínas con alto porcentaje de calcio (Gupta, 2012, p. 184). Mientras que otras partes de la planta, como el cladodio, es utilizado como una fuente nutritiva de alimentación para las personas y el ganado vacuno. Además, es utilizado para fines farmacéuticos y cosméticos.

**Tabla 1-2:** Composición química de la tuna

	<b>Materia seca en g/100 g</b>	<b>Peso fresco en g/100 g</b>
Agua	-	88,95
Carbohidratos	46 – 71	3 – 7
Cenizas	19 – 23	1 – 2
Fibra	18	1 – 2
Proteína	4 – 10	5 – 1
Lípidos	1 – 4	2

Fuente: Gupta R., 2012, p. 184

Realizado por: Cesen, L., 2022

En general, las especies del género *Opuntia* son importantes dentro del ámbito agronómico y ecológico; y como consecuencia directa, especialmente en zonas áridas o semiáridas, se puede establecer como un cultivo que ayude al agricultor a mejorar sus condiciones de vida tanto económicas como sociales. Debido a que es un cultivo fácil de establecer y mantener; y además la fruta puede tener una gran calidad nutricional para el mercado local y externo con una producción que oscila las 25 toneladas por hectárea (Nefzaoui et al. 2014; citados en Mazri, 2018, p. 310). En adición, Nefzaoui et al. (2014); Paiva et al. (2016); Sáenz (2013<sup>a</sup>); Shetty et al. (2012) citados en Mazri (2018, p. 310), destacan la suma importancia que constituye este cultivo dentro del ecosistema, porque puede ser utilizado para reforestar las zonas áridas y ayuda a detener la deforestación, la contaminación ambiental, la pérdida de biodiversidad y la degradación del suelo.

### **2.1.2. Origen y distribución geográfica de la tuna**

La tuna (*Opuntia ficus indica* L.) es una cactácea originaria de América, siendo uno de los centros importantes México, ya que se ha reconocido que desde épocas precoloniales han utilizado esta cactácea con fines alimenticios, medicinales y ornamentales (Riojas y Fuentes, 2006, p. 595). La distribución hacia otras regiones desde México se debió a los procesos de conquista, quienes se encargaron de distribuir la cactácea por Sudamérica y otras regiones del planeta como Europa (Kiesling, 2012, pp. 13-14). Por tanto, se puede encontrar ampliamente distribuida en América, África, Asia, Europa y Oceanía (Reyes et al., 2005, p. 395).

### **2.1.3. Taxonomía**

Dentro del género *Opuntia* se puede encontrar alrededor de 300 especies, las cuales unas pocas son utilizadas para el consumo del humano, que corresponden a unas 12 especies en general

(Beltrán y Ochoa, 2018, p. 190). De manera general se puede apreciar en la Tabla 2-2 una caracterización taxonómica de *Opuntia ficus-indica*.

**Tabla 2-2:** Descripción taxonómica de *Opuntia ficus-indica*

<b>Atributo</b>	<b>Descripción</b>
<b>Reino</b>	Plantae
<b>División</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Magnoliopsida
<b>Orden</b>	Caryophyllales
<b>Familia</b>	Cactaceae
<b>Subfamilia</b>	Opuntioideae
<b>Género</b>	<i>Opuntia</i>
<b>Especie</b>	<i>ficus-indica</i>
<b>Nombre científico</b>	<i>O. ficus-indica</i> (L.)

Fuente: Beltrán y Ochoa, 2018, pp. 187-188

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 2.1.4. Características morfológicas

A continuación, se detalla cada una de las partes que se pueden apreciar de la morfología externa de la planta de tuna:

##### 2.1.4.1. Sistema radical

Además, de las funciones propias de la raíz de las plantas (anclaje al suelo y absorción de agua y nutrientes), en especies pertenecientes a las cactáceas se añaden funciones específicas que vienen dadas de acuerdo con el entorno geográfico y climático, tales como: recursos del suelo variables en zonas áridas, fuertes vientos y hábitats donde predomina la arena y rocas; por todo ello, es necesario conocer la estructura biológica y morfológica de la raíz en esta especie de plantas (Dubrovsky y North, 2002, p. 41). Por otra parte, tal y como declara Pratt et al. (2018, p. 22) el sistema radical de las cactáceas difiere con respecto a otras plantas, debido a que han desarrollado características xeromórficas que les permite adaptarse a los ambientes áridos.

En condiciones favorables de suelo, se desarrolla una raíz pivotante que alcanza los 30 cm de profundidad del suelo. Aunque, en cualquier clase de suelo se ha observado raíces absorbentes en la capa superficial del suelo hasta una profundidad de 30 cm, extendiéndose entre 4 a 8 m (Pratt et al., 2018, p. 22).

#### 2.1.4.2. *Cladodio*

Las características morfológicas y anatómicas del cladodio han evolucionado para almacenar agua en ambientes donde predomina la sequía. Por lo general, en *O. ficus indica* los cladodios poseen las siguientes características: son suculentos, de forma oblonga, usualmente de 30 a 40 cm de longitud y de 18 a 25 cm de ancha; anatómicamente, el cladodio en una sección transversal está formada por epidermis, córtex y tejido vascular (Pratt et al., 2018, p. 23).

Otras estructuras morfológicas que se pueden encontrar en el cladodio son las areolas, espinas y gloquidias.

**Areolas:** estas estructuras son ovaladas y se encuentran por debajo de la epidermis. En condiciones ambientales adecuadas las raíces, flores o cladodios nuevos emergen del tejido meristemático de las areolas. En *O. ficus indica* las areolas tienen una orientación helicoidal, y desarrollan espinas, en lugar de hojas como la mayoría de las plantas. Cuando crecen presentan gloquidias (Pratt et al., 2018, p. 24).

**Espinas y gloquidias:** las espinas en este tipo de especies son equivalentes a las hojas. Se puede distinguir dos tipos de espinas: las espinas normales y las espinas pilosas, éstas últimas se denominan gloquidias. En *O. ficus indica* las espinas están presentes en la primera etapa de crecimiento del cladodio, pero se caen cuando la temperatura ambiental aumenta. Las espinas cumplen la función de reducir la temperatura del tallo durante el día, y su presencia disminuye la interceptación de luz por el cladodio (Pratt et al., 2018, p. 24).

#### 2.1.4.3. *Yemas florales*

Las yemas florales de las cactáceas son las areolas, las cuales se desarrollan de manera temprana en la axila del primordio de la hoja (Pratt et al., 2018, p. 27). Esta estimulación es causada por la producción de hormonas vegetales, que en este caso corresponden a al ácido giberélico y el ácido indolbutírico (Aguilar y Chávez, 1995; citados en Reyes et al., 2006, p. 552). Tal como menciona Reyes et al. (2006, p.552), que una alta producción de flores en cierta manera es perjudicial para el crecimiento de la planta porque reduce significativamente la producción de cladodios. Asimismo, Bowers (1996<sup>a</sup>) citado en Reyes et al. (2006, p. 552), menciona que la sobreproducción de cladodios también reduce significativamente la producción de flores, y además señala que la producción de

flores-cladodios en muchas de las especies de *Opuntia* se mantiene a lo largo del ciclo de vida, pero se alterna cada año entre esos dos factores.

#### 2.1.4.4. *Morfología de la flor*

La estructura floral presenta el pedicelo, que une la flor con el cladodio, el pericarpio que rodea al ovario inferior y el receptáculo que contiene el perianto, el androceo y el gineceo (Bravo, 1978; citado en Reyes et al., 2006, p. 552). El color de la flor de las especies pertenecientes al género *Opuntia* es amarillo, aunque también se puede encontrar con color anaranjado, rosado, rojo, violeta, blancas o moteadas (Anderson, 2001; Bravo, 1978; citados en Reyes et al., 2006, p. 553).

#### 2.1.4.5. *Fruto*

El fruto de *O. ficus indica* corresponde a una baya carnosa simple que está formada por un ovario inferior hundido en el tejido del tallo del receptáculo, este presenta la misma morfología del cladodio, es decir, presenta una epidermis con hojas efímeras y areolas perfectas, córtex voluminoso y muchas células mucilaginosas (Pratt et al., 2018, p. 28). En esta especie, Barbera et al. (1992), Nieddu y Spano (1992) citados en Reyes et al. (2006, p. 564), la fruta crece vigorosamente en términos de longitud, amplitud, peso y volumen durante los primeros 20 a 30 días después de la anthesis, y deja de crecer a partir de los 59 a 90 días luego de la anthesis. Con respecto al comportamiento del crecimiento y desarrollo del fruto de *O. ficus-indica* en referencia al tiempo, se puede distinguir varias curvas sigmoideas, en las que se distinguen tres fases: una correspondiente a una alta tasa de crecimiento, otra un crecimiento intermedio lento y al final un crecimiento rápido (Barbera et al., 1994; citados en Reyes et al., 2006, p. 564). De manera que, Nerd y Mizrahi (1995) citados en Reyes et al. (2006, p. 564), han observado que el crecimiento de la cáscara ocurre en la fase uno, la semilla muestra un máximo crecimiento durante la fase dos, y la pulpa tiene su máximo crecimiento durante las fases dos y tres. Las frutas por lo general presentan dos tipos de semillas estériles, una de ellas suele predominar sobre la otra, y, en consecuencia, esto repercute en la falta de viabilidad de las semillas (Pratt et al., 2018, p. 29).

#### 2.1.5. *Características fisiológicas*

La tuna (*Opuntia ficus indica* L.) es una planta con metabolismo del ácido crasuláceo (CAM), esta particularidad ha permitido en cierta manera afianzar el éxito de las *Opuntias*, debido a su peculiar patrón de fijación de carbono y pérdida de agua, las mismas que ocurren durante la noche (Inglese et al., 2018, p. 32).

Las plantas que presentan el metabolismo CAM, a diferencia de las C3 y C4, asimilan el dióxido de carbono atmosférico (CO<sub>2</sub>) durante la noche, y, en consecuencia, lo refijan durante el día siguiendo el mecanismo de Calvin (Geydan y Melgarejo, 2005, pp. 3-4).

Bajo esta perspectiva, Herppich y Peckmann (2000) citados en Geydan y Melgarejo (2005, p. 4), destacan la característica morfológica de la planta con respecto al metabolismo CAM, ya que los estomas permanecen abiertos durante la noche y cerrados la mayor parte del día, dando como consecuencia una pérdida mínima de agua y una fotorrespiración reducida por parte de la planta. Por ello, Cushman (2001) citado en Geydan y Melgarejo (2005, p. 4), concluye que este tipo de plantas presenta una ventaja competitiva en ambientes donde el recurso agua es limitante, debido a que exhiben tasas de eficiencia del uso de agua de hasta diez veces más altas que las plantas C4.

Pero también se distingue, de acuerdo con Nobel (1986) citado en Inglese et al. (2018, p. 32), que este metabolismo, tanto la entrada de CO<sub>2</sub> y la acumulación de ácido que ocurren durante la noche, puede verse afectado por las condiciones ambientales como temperatura del aire, luz, estado hídrico de la planta, nutrientes y salinidad del suelo.

#### *2.1.5.1. Ciclo CAM*

El metabolismo ácido de las crasuláceas es un mecanismo fotosintético que se relaciona principalmente con la eficiencia del uso de agua en las plantas, por ello son capaces de fijar el carbono y conservar el agua minimizando la pérdida de agua durante condiciones de clima extremo (Gilman y Edwards, 2020, p. 57). Este ciclo representa un mecanismo de concentración de CO<sub>2</sub> como un modo de adaptación y/o evolución de plantas específicas que se han desarrollado en ambientes terrestres con déficit de agua, y en ambientes acuáticos por la deficiencia de carbono inorgánico (Inglese et al., 2018, p. 32).

Las cactáceas como es bien sabido pertenece al grupo de plantas suculentas, por lo que presentan una morfología y fisiología similar, siendo un punto en común el tener células grandes con capacidad para almacenar agua (Griffiths y Males, 2017, p. 890). La función principal de esta característica (suculencia) es la de almacenar agua en las células para su posterior uso, por ello la cantidad de agua expresada en porcentaje que alcanza en los órganos suculentos es del 90 a 95%; esto es fundamental como estrategia ecofisiológica dentro de entornos extremadamente variables (Griffiths y Males, 2017, p. 891). La relación entre las plantas suculentas y el mecanismo fotosintético CAM se conjuga en la característica que tienen las células, ya que por lo general presentan

volúmenes grandes, esto debido a que CAM requiere vacuolas grandes para almacenar los ácidos orgánicos producidos durante la fijación primaria de CO<sub>2</sub>. De acuerdo con Keeley y Rundel (2003) citados en Ogburn y Edwards (2010, p. 204), este mecanismo fotosintético (CAM) es común en las suculentas que se desarrollan en ambientes propensos a la sequía, y además es un modo de las plantas acuáticas que se ven desfavorecidas por la disponibilidad de CO<sub>2</sub> en el día.

#### **2.1.6. Requerimientos agroecológicos**

Los organismos vivos se ven afectados de múltiples maneras en cualquier tiempo por el ambiente; de manera que las situaciones externas individuales, que reciben el nombre de factores ambientales, son fundamentales para generar una mejor comprensión de dicha influencia. Estos factores ambientales pueden dividirse en abióticos y bióticos; dentro de los primeros tenemos la temperatura, humedad, luz solar, y el suplemento de agua, minerales y CO<sub>2</sub> (Schulze et al., 2019, p. 10). Por otra parte, los factores bióticos incluyen todos aquellos organismos que interactúan con la planta, tales como competidores, polinizadores, organismos simbióticos, agentes patógenos, entre otros (Schulze et al., 2019, p. 10).

El interés por entender la interacción de las plantas con su entorno está motivado por cuestiones biológicas y por la necesidad de aumentar la productividad agrícola (Schulze et al., 2019, p. 10). La distribución de las especies vegetales se debe a los factores ambientales como temperatura y precipitación, lo cual también limitan el crecimiento de estas, y el rendimiento también se vería afectado (Boyer, 1982; citado en Schulze et al., 2019, p. 10).

##### **2.1.6.1. Suelo**

De acuerdo con Nobel (2002) citado en Inglese et al. (2018, p. 34-35), considera que la tuna se adapta a cualquier tipo de suelo, y también puede proliferar en suelos con condiciones limitadas tales como capas superficiales endurecidas. Además, es un cultivo versátil, pero es sensible a la salinidad y falta de drenaje en el suelo, debido a que sus raíces son muy sensibles a la falta de oxígeno.

La captación de CO<sub>2</sub> durante la noche y su pronta acumulación como ácido en los tallos puede verse influenciado por el nivel de nutrientes en el suelo (Nobel, 1989; citado en Nobel y Bobich, 2002, p. 62). De los elementos involucrados en la nutrición vegetal, el Nitrógeno (N) es el que ha demostrado tener una influencia positiva en la captación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (Nobel y Bobich, 2002, p. 62). En el caso de *O. ficus-indica*, la captación de CO<sub>2</sub> se duplica a medida que el

nivel de Nitrógeno (N) en el clorénquima incrementa de 1% a más de 2% de la masa seca (Nobel, 1983; citado en Nobel y Bobich, 2002, p. 62). Por otra parte, la salinidad del suelo tiene un efecto negativo en la captación de CO<sub>2</sub>, ya que la misma se ve desfavorecida a medida que la concentración de Sodio (Na) en el clorénquima incrementa de 20 ppm a 300 ppm de materia seca (Nobel, 1983; citado en Nobel y Bobich, 2002, p. 62). De la misma manera, Gersani et al. (1993) citados en Inglese et al. (2018, p. 35), señalan lo siguiente, que para la producción de tuna existe un límite de salinidad que corresponde a 50 mol m<sup>-3</sup>, o 1,76 ppm de NaCl.

#### *2.1.6.2. Condiciones climáticas*

Todo cuanto se desarrolla en los ecosistemas está regulado en gran parte por la temperatura del aire; en el caso de los cultivos, la temperatura afecta en la tasa de crecimiento y desarrollo, la fotosíntesis, la transpiración entre otras. Los cultivos se ven afectados por el calor mediante la absorción de la radiación solar, parte de esa energía absorbida es utilizada para calentar el aire (Calor sensible), y que determina la temperatura del aire por encima del cultivo (Villalobos et al., 2016, p. 55).

Otro aspecto importante y determinante es la temperatura, ya que cuando son mayores a 30 °C existe una reducción en la actividad fotosintética de alrededor el 70 % durante la etapa inicial del crecimiento del fruto, y puede desencadenar en una madurez anticipada y reducción en el tamaño del fruto. A su vez la exposición a altas temperaturas del fruto puede afectar al mismo a bajas temperaturas durante el almacenamiento poscosecha (Inglese et al., 2018, p. 37).

#### *2.1.7. Manejo agronómico del cultivo de tuna*

##### *2.1.7.1. Riego*

De acuerdo con Han y Felker (1997) & Domínguez et al. (2015) citados en Potgieter y D`Aquino (2018, p. 63), consideran que el éxito o popularidad que ha tenido la tuna como cultivo temporal en muchas zonas propensas a la sequía y con déficits de agua, se debe a su adaptabilidad en condiciones adversas climáticas, tolerando la sequía y teniendo un alto grado de eficiencia en el uso de agua por parte de estas plantas. Así, el éxito de esta clase de plantas (cactáceas) también se debe principalmente a la capacidad de sus raíces para transportar el agua, disponiendo de un sistema que le permite absorberla mientras está disponible, para de esa manera resistir la pérdida de agua cuando se presenta la sequía (Dubrovsky y North, 2002, p. 50).

De la misma manera, Mulas y D'Hallewin (1997) & Van der Merwe et al. (1997) citados en Potgieter y D'Aquino (2018, p. 63), recomiendan aplicar un riego complementario, a pesar de que se puede conseguir un rendimiento de fruta estable en condiciones de poca lluvia, y esta recomendación se la hace cuando se presenta zonas con lluvias por debajo de 300 mm año<sup>-1</sup>. Por ello, también supone una ventaja porque contribuye de manera significativa durante las fases críticas de crecimiento y el desarrollo de la planta de tuna (Potgieter y D'Aquino, 2018, p. 63).

Otra consideración que se tiene en cuenta, de acuerdo con los autores Barbera (1984, 1994) y Domínguez et al. (2015) citados en Potgieter y D'Aquino (2018, p. 63), es la aplicación de dos o tres riegos de 30 – 50 mm de lámina durante la fase de desarrollo del fruto, ya que incrementa el tamaño de la fruta y la pulpa de esta.

Además, Nobel (1995) citado en Potgieter y D'Aquino (2018, p. 63), consideró que se necesita por lo menos 10 mm de agua, ya sea de lluvia o riego, para humedecer el suelo en la zona de las raíces de la planta de tuna. En la última década se ha logrado determinar el coeficiente de cultivo (Kc) de la tuna, y corresponde a un valor alrededor de 0,5 – 0,6 (Consoli et al., 2013; citados en Potgieter y D'Aquino, 2018, p. 63).

Con respecto a los sistemas de riego utilizados en plantaciones de tuna, Inglese (1995) citado en Potgieter y D'Aquino (2018, p. 64), señala que los más utilizados son riego por goteo y microaspersión. Los microaspersores influyen en el tamaño y calidad del fruto, debido a que cubren un área extensa con volúmenes de agua inferiores en las zonas superficiales donde se ubican las raíces (Potgieter, 2001; Snyman, 2004, 2005; citados en Potgieter y D'Aquino, 2018, p. 64).

#### *2.1.7.2. Fertilización*

La finalidad de la fertilización es proveer básicamente de los nutrientes necesarios a la planta, para que complete sus procesos de crecimiento y desarrollo. Estos nutrientes corresponden a elementos en estado de asimilación; y se suele dividir en macronutrientes y micronutrientes. Los fertilizantes pueden ser de naturaleza orgánico o inorgánica; y deben cumplir ciertas normas para su distribución y comercialización, como ejemplo tenemos las normas europeas donde declaran que cualquier fertilizante debe tener los siguientes nutrientes: Nutrientes primarios, entre estos el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), nutrientes secundarios calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S), y los micronutrientes boro (B), cobalto (Co), cobre (Co), hierro (Fe), manganeso (Mn), molibdeno (Mo) y zinc (Zn) (Delgado et al., 2016, pp. 321-322).

En el caso del cultivo de tuna, de acuerdo con los autores Nerd y Mizrahi (1992) y Domínguez et al. (2014) citados en Potgieter y D`Aquino (2018, p. 61), destacan de manera clara que la deficiencia de nutrientes afecta al metabolismo de la planta que conlleva a resultados negativos en cuanto tienen que ver con el rendimiento y calidad de la fruta.

Para los autores Nobel (1983, 1988) y Magallanes Quintanar et al. (2006) citados en Potgieter y D`Aquino (2018, p. 61), destacan el hecho de que las recomendaciones de fertilización en el cultivo de tuna son de poca utilidad, debido a la propia naturaleza de la planta ya que difieren morfológica y fisiológicamente del resto de plantas. Sin embargo, Potgieter y D`Aquino (2018, pp. 61-62), nos presentan en las siguientes tablas (Tabla 3-2 y Tabla 4-2) ciertas recomendaciones a tomar en cuenta:

**Tabla 3-2:** Normas provisionales para un criterio de fertilización en el cultivo de tuna

Suelo (parámetro)	Norma	Cladodio terminal	Norma (%DM)
pH (agua)	6,5 – 7,5	N	<sup>b</sup>
P (mg kg <sup>-1</sup> )	20 – 30	P	0,1 – 0,3
K (mg kg <sup>-1</sup> ) <sup>a</sup>	80 – 100	K	1,5 – 4,0
Ca (mg kg <sup>-1</sup> )	>400	Ca	2,0 – 4,5
Mg (mg kg <sup>-1</sup> )	100 – 150	Mg	1,0 – 1,5
Na (mg kg <sup>-1</sup> )	< 200	Na	0,02 – 0,03
Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	30 – 70		
Ca/N	4,0		
K/N	3,4		
N/P	4,5		
Ca/Mg	3,0		

<sup>a</sup> donde (Ca+Mg)/K>8; <sup>b</sup> plantas jóvenes (0-2 años); 0,6-0,8%; plantas maduras (≥3 años); 0,9-1,3%.

**Fuente:** Potgieter y D`Aquino, 2018, p. 62

**Realizado por:** Cesen, L., 2022

**Tabla 4-2:** Recomendaciones provisionales de fertilización para la producción de tuna donde no existen análisis de suelos

Nutriente	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4
N	50	50	70	100
P	10	10	20	30
K	20	20	30	50
Mg	10	10	20	40

**Fuente:** Potgieter y D`Aquino, 2018, p. 62

**Realizado por:** Cesen, L., 2022

### 2.1.7.3. Podas

La principal razón para llevar a cabo la poda en la tuna es para proveerla de la suficiente radiación fotosintéticamente activa en los cladodios terminales (Potgieter y D`Aquino, 2018, p. 60). De acuerdo con Hester y Cacho (2003) e Inglese et al. (2009, 2010) citados en Potgieter y D`Aquino (2018, p. 60), algunas ventajas de la poda son: control del tamaño de la planta, formación de la planta como un seto, incremento de la producción de fruta, mejoramiento del tamaño de fruto, asimismo facilita la detección y control de plagas, facilita de cosecha y rejuvenecimiento de plantas viejas.

**Poda de producción:** De acuerdo con Mulas y D`Hallewin (1992) citados en Potgieter y D`Aquino (2018, p. 61), este tipo de poda es importante para mantener un equilibrio entre el crecimiento vegetativo y reproductivo, y el número de cladodios nuevos para la floración del siguiente ciclo productivo. Además, la poda de producción contribuye de manera significativa la calidad de la fruta debido a que reduce la densidad de la copa y permite una mejor manipulación de la fruta en su estado de crecimiento y desarrollo (Inglese et al., 2002, 2010; citados en Potgieter y D`Aquino, 2018, p. 61).

**Poda de formación:** La característica principal de este tipo de poda es que se la realiza el primer año de establecido el cultivo, para luego ser reemplazada por la poda de producción (Targa et al., 2013 & Nasr, 2015; citados en Potgieter y D`Aquino, 2018, p. 61). Así, Potgieter y D`Aquino (2018, p. 61), señala que se realiza este tipo de poda para dar una forma adecuada a la planta durante su crecimiento vegetativo.

**Poda de rejuvenecimiento:** La característica propia de esta poda es llevar a cabo un rejuvenecimiento de las plantas viejas de tuna mediante un corte alrededor de 50 cm por encima del nivel del suelo (Potgieter y D`Aquino, 2018, p. 61). Asimismo, Potgieter y D`Aquino (2018, p. 61), recomiendan lo siguiente para realizar la poda de rejuvenecimiento, la misma que se basa en dejar 3 o 4 ramas principales para que constituyan el esqueleto de la planta, y se debe aplicar pintura vinílica blanca en igual proporción con agua para evitar cualquier quemadura solar.

### 2.1.8. *Enfermedades en el cultivo de tuna*

De manera general, al igual que en otras especies vegetales, las enfermedades pueden estar condicionadas por factores abióticos y bióticos: en el primer caso las plantas de tuna pueden verse afectadas por condiciones de estrés ambiental, anomalías genéticas, mal uso de pesticidas y desórdenes fisiológicos; mientras, que del lado biótico están ocasionadas por organismos vivos

como hongos, levaduras, bacterias, fitoplasmas entre otros (Zimmermann y Granata, 2002, p. 244). Las enfermedades de agentes causales bióticos en la tuna se encuentran distribuidas en todas las regiones dedicadas a su cultivo, por lo que la expresión de la enfermedad dependerá de la presencia del patógeno y asimismo las condiciones climáticas (Zimmermann y Granata, 2002, p. 244).

De acuerdo con Zimmermann y Granata (2002, p. 244), la composición química de los tejidos internos de los individuos pertenecientes al género *Opuntia* favorece el establecimiento de los distintos organismos patógenos, de ahí la importancia de llevar a cabo un minucioso plan de identificación y control de la enfermedad presente.

#### 2.1.8.1. Principales enfermedades y síntomas en el cultivo de tuna

Mediante la Tabla 5-2 se presenta las enfermedades en el cultivo de tuna con su respectivo agente causal y el manejo que se realiza.

**Tabla 5-2:** Enfermedades en el cultivo de tuna causado por agentes patógenos bióticos

Enfermedad	Agente causal	Síntomas	Manejo de la enfermedad
<b>Enfermedades fúngicas</b>			
Mancha negra	<i>Pseudocercospora opuntiae</i>	Decoloración de la cutícula (mancha circular). Tejido del cladodio de color café claro en los márgenes de la mancha. Luego los tejidos se tornan de color oscuro.	Poda preventiva para una correcta ventilación. Aplicación de fungicidas basados en cobre antes del período de lluvias.
Pudrición del cladodio y de la fruta	<i>Lasiodiplodia theobromae</i>	Zonas oscuras redondas que expulsan un exudado gomoso.	Evitar realizar daños mecánicos y heridas en el cultivo. Aplicación de fungicidas: tiabendazol y tiofanato-metil.

Pudrición seca por Alternaria	<i>Alternaria</i> spp.	Lesiones cloróticas circulares alrededor de las espinas o heridas en cladodios o frutos.	Aplicación de fungicidas: mancozeb, iprodione y basados en cobre.
Pudrición de raíces y tallos por Armilaria	<i>Armillaria mellea</i>	Se reduce la turgencia de los tejidos y muestran zonas cloróticas debido a eso. También se observa la liberación de un exudado viscoso.	No plantar en suelos infectados por 2-3 años. El control químico aún no está disponible.
Pudrición algodonosa	<i>Sclerotinia sclerotiorum</i>	Los cladodios se tornan decolorados, luego tienen un color café donde se desprenden hojuelas de masa algodonosa blanca.	Remoción y destrucción de cladodios infectados.
Roya	<i>Aecidium opuntiae</i> ; <i>Puccinia opuntiae</i>	Pústulas amarillo-anaranjadas sobre la superficie de los cladodios y frutos.	Remoción y destrucción de cladodios infectados.
Pudrición escamosa	<i>Scytalidium lignicola</i>	Inicia como una pudrición seca para luego tomar una apariencia escamosa en la base de los cladodios.	Remoción de plantas infectadas.
Pudrición de raíces por <i>Phytophthora</i>	<i>Phytophthora nicotianae</i>	Se observan exudados gomosos en la base del tronco, además presentan una pudrición suave en los tejidos internos.	El suelo debe tener una buena capacidad de drenaje.

		Lesiones de color café al nivel del suelo.	Evitar el exceso de humedad en el suelo.
<i>Pythium</i> de la corona y pudrición del tronco	<i>Pythium aphanidermatum</i>	En un estado avanzado la planta llega a colapsar.	
Pudrición de raíces por <i>Fusarium</i>	<i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>opuntiarum</i>	Los tejidos de la raíz presentan una pudrición de un color rojo intenso.	Plantar en suelos con buen drenaje y reducir la compactación de este.
Moho gris	<i>Botrytis cinerea</i>	Afecta al fruto con zonas circulares infectadas, y luego se suavizan y deterioran.	Evitar heridas durante la cosecha y en el empaque.
Pudrición de fruta por <i>Penicillium</i>	<i>Penicillium</i> spp.	Es principalmente una enfermedad de poscosecha. Los tejidos infectados se tornan de color café, adquieren una apariencia acuosa y blanda.	Recolección y manejo de poscosecha de manera adecuada. Implementación de buenas prácticas sanitarias.
Pudrición suave por <i>Macrophomina</i>	<i>Macrophomina phaseolina</i>	Pudrición suave de color café en la parte próxima del fruto.	No se ha realizado investigación para su control.
Otras	<i>Aspergillus niger</i> , <i>Candida boidimi</i> , <i>Capnodium</i> spp., <i>Cercospora</i> sp., <i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Fusarium</i> species: <i>F. proliferatum</i> , <i>solani</i> y <i>lunatum</i> , <i>Curvularia lunata</i> , <i>Hendersonia opuntiae</i> ,	Dependerá de cada uno de los agentes causales citados, y de su comportamiento e interacción con la planta.	Dependerá de las investigaciones llevadas a cabo para determinar su control.

		<i>Mycosphaerella</i> sp.,		
		<i>Pleospora</i> sp.,		
		<i>Pollaccia</i> sp.,		
		<i>Rhizopus</i> sp.		
<b>Enfermedades bacterianas</b>				
Pudrición suave negra		<i>Erwinia carotovora</i> subsp. <i>Carotovora</i>	Los cladodios presentan manchas acuosas que luego tienen color café y se desprenden.	Remoción y destrucción de las partes infectadas.
Agalla de la corona		<i>Rhizobium radiobacter</i>	Crecimiento tumoral en la base del tallo.	Plantar variedades resistentes hacia este patógeno.
<b>Fitoplasmas y enfermedades virales</b>				
Engrosamiento de cladodios	de	Fitoplasmas 16Srl-B y 16SrV-A	Malformación de cladodios, proliferación de yemas engrosamiento de cladodios.	Plantar variedades resistentes.
Engrosamiento de cladodios por virus	de	Virus del tabaco	Engrosamiento de cladodios, presencia del síndrome de mosaico.	Plantar variedades resistentes.

**Fuente:** Granata et al., 2018, pp. 119-126

**Realizado por:** Cesen, L., 2022

### **2.1.9. Generalidades de hongos fitopatógenos asociados con enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna**

#### **2.1.9.1. *Geotrichum* sp.**

Los hongos del género *Geotrichum* sp. suelen proliferar en sustratos líquidos ricos en nutrientes, material vegetal en descomposición, aguas residuales industriales, en la pasta de papel y en un sin número de alimentos (Botha y Botes, 2014, p. 88). En los últimos años de investigación sobre este género de hongos se ha llegado al hecho de que se encuentran 18 especies de *Geotrichum*, y se

consideran anamórficos u hongos no sexuales, de relación hemiascomicética (Botha y Botes, 2014, p. 88).

La especie *Geotrichum candidum* es considerada un patógeno de poscosecha de una variedad de frutas y hortalizas. Ocasiona la enfermedad denominada podredumbre agria de los cítricos, también la enfermedad llamada podredumbre blanda acuosa en hortalizas tales como: tomate, espárragos, col, fréjol, zanahoria, remolacha, cebolla, lechuga, nabo, etc. También se lo ha encontrado relacionado con daños de poscosecha en banano, mango, melón y frutos de hueso. Estas enfermedades se propagan mediante vectores como moscas de la fruta u otros insectos los cuales transportan hifas o fragmentos de conidios de las frutas y hortalizas dañadas (Botha y Botes, 2014, p. 88).

#### 2.1.9.2. *Alternaria* sp.

El género *Alternaria* sp. tiene una distribución cosmopolita, que incluye especies con una serie de comportamientos bien diferenciados: saprófitos, endófitos y patógenos. Debido a su carácter ubicuo se lo puede encontrar formando parte de diversos sistemas y ambientes, tales como: suelo, la atmósfera y en sistemas biológicos, plantas y animales (Singh et al., 2016, p. 1). A nivel mundial, este género ocupa el décimo lugar de cerca dos mil géneros de hongos, de acuerdo con las asociaciones con hospederos, siendo 4000 hospederos que generan una dependencia con el patógeno (Singh et al., 2016, p. 1).

La mayoría de las especies de *Alternaria* sp. poseen carecen del ciclo sexual, mientras que unas pocas tienen una fase sexual, denominado *Pleospora*. Además, se han descrito extensamente varias especies de *Alternaria* con sus características taxonómicas y morfológicas, su naturaleza patógena y su distribución (Elliott 1917; Neergaard 1945; Ellis 1971, 1976; Simmons 1967, 2002, 2007; citados en Singh et al., 2016, p. 1)

El género *Alternaria* sp. pertenece al reino Fungi, filo Ascomycota, división Deuteromycota, clase Dothideomycetes, orden Pleosporales y familia Pleosporaceae. Muchas de las especies son saprófitas y parásitas. Las dos características distintivas de este género de hongos son la producción de melanina en las esporas y la producción de toxinas específicas del huésped (en caso de ser patogénica) (Singh et al., 2016, p. 58).

Con respecto al proceso de infección, las especies de *Alternaria* sp. por lo general son patógenos foliares que causan una lenta destrucción de los tejidos vegetales del hospedero, por la reducción

de la actividad fotosintética. El hongo se encuentra en el centro de la lesión, y está rodeado por un halo clorótico no infectado: un claro síntoma que se observa en el proceso de infección de hongos patógenos necrótrofos (Singh et al., 2016, p. 63). Y como indican Agarwal et al. (1997) y Tewari (1983) citados en Singh et al. (2016, p. 63), esta zona es creada por la difusión de los metabolitos fúngicos, como toxinas.

Asimismo, a pesar de la diversidad taxonómica y patogénica de *Alternaria* sp., se presentan patrones de infección similares, a su vez las esporas tienen paredes fuertemente melinizadas, que en condiciones favorables de desarrollo de la infección o enfermedad pueden producir uno o más tubos germinales; y estos penetran con facilidad en la cutícula o áreas debilitadas con o sin la formación de apresorios (Singh et al., 2016, pp. 63-64). Por ello Rotem (1991) citado en Singh et al. (2016, p. 64), establece que, en especies menos virulentas de este género de hongos, las heridas y estomas son los principales objetivos; mientras, que las más virulentas pueden penetrar directamente.

El proceso enzimático de la infección por *Alternaria* sp. es en esencial similar a cualquier otra enfermedad. En primer lugar, el hongo patógeno debe penetrar directamente la cutícula, que está constituida por una combinación de cutina y ceras, la peculiaridad de esta estructura es que representa la primera línea de defensa que tiene la planta contra agentes externos (Singh et al., 2016, p. 64). De manera que Trail and Köller (1993) y Yao and Köller (1994) citados en Singh et al. (2016, p. 64), mencionan que las enzimas encargadas de degradar la cutina (cutinasas) son inducidas durante el crecimiento saprofito del hongo, tras alcanzar las capas subcuticulares. Adicionalmente, Singh et al. (2016, p. 64) de manera hipotética establecen que las lipasas pueden constituir al establecimiento de la infección. Y, Berto et al. (1999) citados en Singh et al. (2016, p. 64), mencionan que la lipasa tiene una actividad patogénica temprana durante la penetración del hongo. En las plantas dicotiledóneas, un tercio de la composición de la pared celular son polisacáridos pécticos, y para la penetración a través de estas estructuras el hongo debe poseer enzimas galacturonidasas fúngicas (Singh et al., 2016, p. 64). Los investigadores Eshel et al. (2000, 2002a, b) citados en Singh et al. (2016, p. 64) sugieren que, mediante un estudio de correlación entre la producción de enzima y el desarrollo de síntomas, las endoglucanasas y exoglucanasas están implicadas en la patogenicidad de *A. alternata*.

#### 2.1.9.3. *Fusarium* sp.

*Fusarium* sp. es un género de hongos ascomicetos, muchas de las especies tienen un comportamiento endófito, saprófito o patógeno en plantas y el suelo. Por ello, son reconocibles

por sus capacidades en desarrollar enfermedades en las plantas (Leslie y Summerell, 2013, p. 1). Además, Desjardins (2006) citado en Leslie y Summerell (2013, p. 1) destaca el hecho que la mayoría de las especies de *Fusarium* sp. producen una gama de metabolitos secundarios, que varían químicamente. Dentro de estos metabolitos secundarios, se puede encontrar que algunos son micotoxinas que en su mayoría son tóxicas y/o cancerígenas para los animales y el humano (Marasas et al., 1984; Desjardins, 2006; citados en Leslie y Summerell, 2013, p. 1); algunos pueden tener una participación en las enfermedades de las plantas (Proctor et al., 1995; Harris et al., 1999; Glenn et al., 2008; citados en Leslie y Summerell, 2013, p. 1).

De acuerdo con las características morfológicas del género *Fusarium* sp. se encuentran principalmente aquellas relacionadas con la forma y el tamaño de la macroconidia, microconidia y clamidosporas (Leslie and Summerell, 2006a; citados en Leslie y Summerell, 2013, p. 1). Algunas características secundarias que podrían tener son la naturaleza de las hifas en el medio de cultivo, la producción de metabolitos secundarios, los pigmentos producidos y secretados, etc. (Leslie y Summerell, 2013, p. 1).

En los impactos de *Fusarium* sp en la agricultura es notorio, debido a la gran variedad de enfermedades que ocasiona. Algunas de las más importantes, en donde los cultivos son representativos económicamente, son el tizón de la espiga del trigo y el mal de panamá del banano. Las enfermedades de plantas producidas por agentes causales pertenecientes al género *Fusarium* no están restringidas a una zona específica del globo, un escenario de cultivo y puede llegar a ser problemático con el manejo de la temperatura. Este género de hongos puede causar varias enfermedades en plantas como el tizón de espiga y semilla, marchitez vascular, pudrición del tallo, pudrición de la raíz y corona, enfermedades de cancro, además que algunas especies pueden ser capaces de desarrollar síndromes de enfermedades múltiples que dependerán tanto del hospedero como de las condiciones del medio ambiente (Leslie y Summerell, 2013, p. 5).

#### 2.1.9.4. *Epicoccum* sp.

Los autores de Gruyter et al. (2009) citados en Taguiam et al. (2021, p. 713), consideran que las especies de *Epicoccum* sp. son ascomicetos con un comportamiento endófito y cosmopolita, que pertenece a la familia Didymellaceae. Debido a su carácter ubicuo se lo encuentra tanto en el suelo, agua, aire, en partes de plantas como hojas, ramas y corteza, e incluso se halla en el cuerpo humano (Chen et al. 2017a; Arenal et al. 1999; Domsch y Gams 1993; Melgarejo et al. 1985; citados en Taguiam et al. 2021, p. 713).

Taguiam et al. (2021, p. 714) manifiestan que se debe reconocer el potencial de un aislado fúngico de esta clase de hongos es especialmente importante, debido a la propia naturaleza de este género ya que existen especies capaces de generar enfermedades o pueden ser utilizados como un agente de control biológico.

Considerando a las especies de *Epicoccum* sp. como patógenos de plantas, se encuentran asociadas con enfermedades de alrededor 46 plantas hospederas de 20 diferentes países (Taguiam et al. 2021, p. 714). Ha sido encontrado y aislado de diferentes partes de la planta tales como las hojas, semillas, tallos y frutos; además se ha podido identificar que el principal síntoma de expresión de enfermedad de *Epicoccum* sp es la mancha de la hoja (Mahadevakumar et al. 2014; Chen et al. 2017a; Zeng et al. 2018; Bao et al. 2019; Chethana et al. 2019; Chen et al. 2020; citados en Taguiam et al. 2021, p. 714). Las especies de *Epicoccum* sp. de carácter patógeno más frecuentes son *E. nigrum* y *E. sorghinum* (Taguiam et al. 2021, p. 714).

En cuanto a la expresión de síntomas de *Epicoccum* sp. en las plantas pueden ser muy variados, incluyendo desde manchas foliares hasta necrosis en la raíz. De acuerdo con Andersen et al. (2009) citados en Taguiam et al. (2021, p. 717) las especies de *Epicoccum* sp. son consideradas como patógenos débiles. Asimismo, Liu et al. (2018) citados en Taguiam et al. (2021, p. 717) mencionan que el síntoma más común es la mancha en la hoja de la planta hospedera, estas manchas pueden fusionarse para formar lesiones más grandes. Algunos estudios sobre la interacción de las especies *Epicoccum* sp. con la planta, sugieren que algunas cepas de este hongo pueden inducir síntomas sin previamente una herida o lesión de entrada, mientras que otras requieren que existan estos puntos de entrada para la posterior expresión de la enfermedad (Yu et al. 2019; Wu et al. 2017; Taguiam et al. 2020; citados en Taguiam et al. 2021, p. 718).

#### **2.1.10. Manejo integrado de enfermedades**

En el control de enfermedades, las plantas son tratadas como poblaciones, más no como individuos, aunque en casos concretos como árboles, plantas ornamentales y plantas infectadas por virus pueden tratarse de manera individual. A excepción de esos casos, el control está enfocado en contrarrestar los efectos adversos de las enfermedades en poblaciones que a plantas tratadas individualmente; así, los métodos de control varían significativamente de acuerdo con el tipo de patógeno, al hospedero, la interacción entre ambos, las condiciones climáticas, entre otras (Agrios, 2005, p. 294).

De acuerdo con Nutter (2001) y Zadoks (1985) citados en Nutter (2007, p. 45) el objetivo del manejo integrado de enfermedades es mantener la intensidad de la enfermedad por debajo del umbral de

daño económico; y evitar la reducción drástica del rendimiento y calidad de los cultivos, para mejorar las condiciones económicas del productor agrícola (Mills y Nutter, 1991; Nutter y Guan, 2001; citados en Nutter, 2007, p. 45). El manejo de enfermedades involucra la interacción de varias estrategias en la consecución de varios objetivos, siendo estos: (a) eliminar o reducir el inóculo inicial, (b) reducir la tasa de infección de la enfermedad y/o (c) reducir el tiempo de interacción entre los patógenos y los hospederos, en favor de reducir la intensidad de la enfermedad (Nutter, 2007, p. 47).

#### *2.1.10.1. Control biológico*

Los autores Cook y Baker (1983) citados en Collinge et al. (2022, p. 1025) definen el control biológico como la inhibición directa o indirecta de la enfermedad, o del agente patógeno causal, mediante organismos antagonistas o un grupo de ellos. Y también incluye metabolitos especializados que resultan de interacción o extractos vegetales que pueden tener un efecto sobre la enfermedad (Collinge et al., 2022, p. 1025).

De acuerdo con Agrios (2005, p. 303), el control biológico se basa en la destrucción total o parcial del patógeno mediante el uso de otros organismos. Generalmente puede ocurrir de varias maneras, una de ellas es cuando en el suelo existe condiciones desfavorables o que poseen microorganismos antagonistas que evitan la proliferación del patógeno, a estos suelos también se los conoce con el nombre de suelos supresores. En ocasiones los microorganismos antagonistas pueden consistir en cepas avirulentas del mismo patógeno, para inhibir el desarrollo de la enfermedad, estos fenómenos toman el nombre de hipovirulencia y protección cruzada.

#### **Mecanismos de acción de los microorganismos de control biológico**

Los microorganismos antagonistas, que comprenden tanto bacterias como hongos, tienen mecanismos diferentes para controlar y destruir al patógeno. Algunos ejemplos de mecanismos que siguen estos organismos para el control biológico son: antibiosis, parasitismo, competencia por espacio o nutrientes y la inducción a la resistencia. También se debe tomar en cuenta que es difícil conocer con exactitud las interacciones entre el patógeno y el antagonista (Hernández et al., 2007, p. 67).

#### **Microorganismos antagonistas utilizados en el control biológico**

##### **Uso de *Bacillus* sp.**

Las especies de *Bacillus* en su mayoría no son bacterias patógenas y no producen toxinas, salvo el caso de *B. cereus* y *B. anthracis*, y se las han venido utilizando a nivel de la industria de alimentos, recibiendo por ello un reconocimiento de seguridad por la US FDA (Administración de Alimentos y Medicamentos de los Estados Unidos) (Mohkam et al., 2016, p. 2). Por ello, Schallmey et al. (2004) y Wenzel et al. (2011) citados en Mohkam et al. (2016, p. 2) mencionan que la versatilidad y éxito de esta bacteria en el campo industrial se debe a su rápido crecimiento que se traduce en un corto período de fermentación, y su habilidad para excretar proteínas y compuestos bioquímicos en el entorno.

De acuerdo con Tejera-Hernández et al. (2011) citados en Villarreal et al. (2018, pp.99-100), el género *Bacillus* se encuentra distribuido en todo el planeta debido a su capacidad para formar endosporas, estructuras que le confiere resistencia y habilidad de adaptación en diferentes hábitats, tanto terrestres como acuáticos, del planeta. De manera específica Wang et al. (2014); Li et al. (2015) citados en Villarreal et al. (2018, p.103), han demostrado que algunas especies de *Bacillus* tienen efecto sobre ciertos microorganismos patógenos en cultivos tales como: maíz, arroz, frutales, etc.

En las investigaciones realizadas sobre los mecanismos de acción del *Bacillus*, los autores Layton et al. (2011); Tejera-Hernández et al. (2011) citados en Villarreal et al. (2018, pp.103-104), señalan que pueden seguir los siguientes procesos: excreción de antibióticos, sideróforos, enzimas líticas, toxinas y la inducción de resistencia sistémica en la planta. En ese proceso de bioprotección de *Bacillus* se emplean mecanismos directos e indirectos para su aprovechamiento (Feto, 2016, p. 150). Dentro de los mecanismos directos, Priest (1992), Milner et al. (1996) y Aliye (2011) citados en Feto (2016, p. 150), mencionan que corresponden a la colonización competitiva de las raíces, antibiosis, producción de enzimas líticas y degradación de los factores de virulencia. Mientras que los mecanismos indirectos, de acuerdo con Aliye et al. (2008) y Aliye (2011) citados en Feto (2016, p. 150), se basan en la inducción de resistencia sistémica y la estimulación del crecimiento de la planta.

#### ***Mecanismos de acción directos***

Sturz y Christie (2003) citados en Feto (2016, p. 150) mencionan que la colonización por parte de las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) está determinado por la producción de sustancias aleloquímicas bacterianas, tales como: sideróforos de quelatos de hierro (Fe), antibióticos, enzimas líticas, biocidas volátiles y enzimas de desintoxicación.

*Colonización competitiva de las raíces:* es determinante en este aspecto que los microorganismos de control biológico posean una colonización efectiva en las raíces combinado con una eficiente capacidad de sobrevivir y proliferar, junto con la microflora autóctona, durante un tiempo prolongado (Whipps, 1997; citado en Feto, 2016, p. 150). En el entorno radicular existen espacios, denominados nichos, que presentan gran disponibilidad de nutrientes que atraen a microorganismos tanto benéficos como patógenos; de manera tal que estos nichos representan un mecanismo favorable para que las bacterias benéficas compitan por nutrientes, ocasionando una bioprotección a las plantas (Compant et al., 2005; citados en Feto, 2016, p. 151). De acuerdo con Bais et al. (2004) citados en Feto (2016, p. 151) las sustancias químicas que actúan como atrayentes para los microorganismos, y los exudados antimicrobianos, dependen estrictamente del control genético de la planta y las condiciones ambientales. Por lo que la competencia de estos organismos para el control biológico dependerá si estos son capaces de aprovechar los recursos de su entorno específico o si pueden adaptarse a las condiciones cambiantes (Feto, 2016, p. 151).

*Competencia por hierro (Fe) y el papel de los sideróforos:* el hierro (Fe) como elemento es esencial como parte de la constitución de los organismos vivos. Así, Loper y Henkels (1997) citados en Feto (2016, p. 151), tras la escasez y disponibilidad de hierro (Fe) en el entorno radicular y la superficie de las plantas genera una fuerte competencia. Por lo que, Whipps (1997) citado en Feto (2016, p. 151), en condiciones de limitación de hierro (Fe) las bacterias promotoras del crecimiento vegetal (BPCV) desarrollan compuestos de bajo peso molecular denominados sideróforos. Los sideróforos son agentes quelatantes de bajo peso molecular que desempeñan la función de solubilizar el hierro (Fe) de compuestos orgánicos o minerales (Rai et al., 2021, p. 49). La manera en que actúan es por la propia capacidad de secuestrar el hierro (Fe) en contra posición a los patógenos, donde sus sideróforos tienen una afinidad menor hacia el mismo elemento (Loper y Henkels, 1997; citados en Feto, 2016, p. 151). Las especies de *Bacillus* son aventajadas en la producción de sideróforos, lo cual poseen una ventaja competitiva contra los organismos patógenos (Feto, 2016, p. 151).

*Antibiosis:* se han identificado una serie de compuestos antibióticos en *Bacillus* sp. como subtilina y xantobacina (Milner et al., 1996; citados en Feto, 2016, p. 152). Además, se ha reportado casos de antibióticos producido por *B. licheniformis* como bacitracina-A que inhibe la síntesis de la pared celular (Katz y Demain, 1977; citados en Feto, 2016, p. 152). Y, De Furia y Claridge (1976) citados en Feto (2016, p. 152), ha reportado el antibiótico denominado butirosina producido por *B. circulans*, que altera la función del ribosoma.

### ***Mecanismos de acción indirectos***

*Inducción de resistencia sistémica:* las rizobacterias y bacterias endófitas han demostrado tener la capacidad de proteger a la planta mediante la inducción de resistencia sistémica (IRS) (Feto, 2016, p. 152). Algunas consideraciones sobre cómo se induce este tipo de resistencia se ha sugerido: la flagelación, la producción de sideróforos y lipolisacáridos (Van Loon et al., 1998; citados en Feto, 2016, p. 152). De acuerdo con Ryu et al. (2004) citados en Feto (2016, p. 152) los compuestos orgánicos volátiles desempeñan un papel crucial en el proceso de generación de resistencia sistémica inducida.

*Promoción del crecimiento de la planta:* dentro de las bacterias promotoras de crecimiento vegetal (BPCV) el grupo más estudiado son las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal (RPCV) que colonizan y prosperan en la región radical (Feto, 2016, pp. 152-153). El mecanismo que sigue *Bacillus* sp. para la promoción de crecimiento vegetal es mediante rutas directas o indirectas; dentro de las directas mediante la producción de hormonas de crecimiento vegetal (ácido indo-3-acético, citoquininas y ácido giberélico) o regulando la producción de etileno mediante la ruta *acdS* (1-amino ciclopropano-1-ácido carboxílico deaminasa) (Rashid et al., 2012; citados en Feto, 2016, p. 153), e indirectamente por la inducción de la resistencia sistémica de la planta (Choudhary y Johri, 2009; citados en Feto, 2016, p. 153).

### ***Bacillus subtilis***

Es una bacteria (Tabla 6-2) que se adapta a varios entornos, las células bacterianas tienen la capacidad de soportar condiciones ambientales extremas debido a la síntesis transitoria de proteínas de choque térmico o frío a diferentes temperaturas, tal es el caso en que puede completar su ciclo aun cuando la temperatura alcance los 54-55 °C (Danchin, 2001; citado en Ni y Punja, 2019, p. 2). A pesar de que *B. subtilis* es considerada como un organismo aeróbico, existen estudios realizados en los que demuestran que esta bacteria Grampositiva puede crecer bajo condiciones anaeróbicas (Nakano y Zuber, 1998; citados en Ni y Punja, 2019, p. 3). Se han llevado a cabo formulaciones estables y eficaces para el control biológico de las enfermedades en plantas, estas formulaciones se las puede dividir en sólidos (polvos, granulados) y líquidos (aceites, suspensiones y emulsiones) (Schisler et al., 2004; citados en Ni y Punja, 2019, p. 3). De acuerdo con Beauregard et al. (2013) citados en Ni y Punja (2019, p. 3) esta bacteria coloniza el área de la raíz por medio de la producción de una matriz extracelular para formar los denominados biopelículas. Y así, estas biopelículas mejoran la capacidad de *B. subtilis* para actuar en la supresión de agentes patógenos de las plantas (Morikawa, 2006; citado en Ni y Punja, 2019, p. 3).

**Tabla 6-2:** Descripción taxonómica de *Bacillus subtilis*

Atributo	Descripción
Reino	Bacteria
División	Firmicutes
Orden	Bacillales
Familia	Bacillaceae
Género	<i>Bacillus</i>
Especie	<i>Bacillus subtilis</i>

Fuente: Kovács, 2019, p. 724

Realizado por: Cesen, L., 2022

### Uso de *Trichoderma sp.*

De acuerdo con Kubicek et al. (2008) citados en László et al. (2014, p. 3) las especies pertenecientes al género *Trichoderma* se encuentran distribuidas en todos los ecosistemas que abarca un rango amplio de condiciones climáticas. Además, que la presencia o ausencia de este tipo de microorganismo está condicionada por el microclima, disponibilidad de sustratos adecuados y las interacciones ecológicas con otros organismos vivos (Hoyos-Carvajal y Bissett, 2011; citados en László et al., 2014, p. 3). De manera que László et al. (2014, p. 9) mencionan que la variedad de factores bióticos y abióticos afectan en las poblaciones y diversidad de los microorganismos en los ecosistemas agrícolas; así como la disponibilidad de nutrientes, la interacción con la planta, las propiedades físicas y químicas del suelo, la aplicación de agroinsumos y la zona geográfica. Pero no tienen una relación mutualista con la planta bien definida como el caso de otras micorrizas (Alperovitch-Lavy y Horwitz, 2020, p. 2).

Las especies de *Trichoderma* crecen en el suelo, lo hacen como saprófitos e interactúan tanto con las raíces y otros hongos (Alperovitch-Lavy y Horwitz, 2020, p. 1; Howell, 2007, p. 4). La manera por la que actúan como agentes de control biológico en el suelo es resultado de la competencia, y por el ataque directo al patógeno y/o micoparasitismo (Druzhinina et al., 2011; Kubicek et al., 2011; citados en Alperovitch-Lavy y Horwitz, 2020, pp. 1-2). Por ello, Druzhinina et al. (2011) citados en László et al. (2014, p. 9) mencionan que la rizosfera es el nicho ecológico que atrae a los hongos de *Trichoderma*, debido a que las plantas exudan nutrientes. Las proteínas y metabolitos producidos por *Trichoderma* pueden alcanzar a las raíces incluso sin un contacto previo (Alperovitch-Lavy y Horwitz, 2020, p. 2). Un caso es el de la liberación de sustancias químicas del hongo detectadas por las auxinas presentes en la planta (Contreras-Cornejo et al., 2009; citados en Alperovitch-Lavy y Horwitz, 2020, p. 2). Este hongo para colonizar la planta hospedera debe ser capaz de sobrevivir y tolerar los mecanismos de defensa de la planta; sin embargo, dicha colonización se lleva a cabo en la corteza

exterior de las hifas, y las hifas no llegan hasta los haces vasculares (Alperovitch-Lavy y Horwitz, 2020, p. 3). Asimismo, se ha demostrado que ejerce una influencia directa en la invasión del hongo el reforzamiento de la pared celular, y se ha probado con un experimento en *Arabidopsis*, específicamente con un mutante que carece de isocorismato sintasa-1, en donde las hifas de *Trichoderma* alcanzaron los haces vasculares, por lo que dicho mutante es incapaz de responder al hongo mediante el refuerzo de la pared celular (Alperovitch-Lavy y Horwitz, 2020, p. 12).

Este tipo de especies de hongos pueden ser aislados de casi todos los tipos de campos agrícolas; además que contribuyen al control biológico de enfermedades en plantas, induce la resistencia sistémica, aumenta la disponibilidad de nutrientes en la zona radicular, promueve el crecimiento de las plantas y tienen un impacto en la degradación de pesticidas xenobióticos (Harman, 2006; citado en László et al., 2014, p. 9). Así, se los han considerado como los hongos más frecuentemente aislados del suelo, y han sido recolectados de diferentes campos de cultivos en zonas geográficas y climáticas variadas (László et al., 2014, p. 9). Sin embargo, existen especies que crecen en limitadas regiones geográficas (Harman et al., 2004; citados en László et al., 2014, p. 9).

### ***Beneficios de la colonización efectiva de Trichoderma en las plantas***

*Inducción de resistencia sistémica:* De acuerdo con Nawrocka y Małolepsza (2013) citados en Poveda et al. (2020, p. 39) la inducción de resistencia sistémica en la planta es una consecuencia directa entre la interacción de los microorganismos y los receptores de la planta. Este proceso comienza con el reconocimiento de los componentes específicos de la superficie celular de los microorganismos por parte de los receptores de reconocimiento de patrones de las plantas (Hermosa et al., 2013; Contreras-Cornejo et al., 2014; citados en Poveda et al, 2020, p. 39). También los receptores de reconocimiento de patrones de las plantas responden a oligómeros de la pared celular o de la cutícula liberados por la actividad hidrolítica microbiana, y se los conoce con el nombre de patrones moleculares asociados a daños (Poveda et al, 2020, p. 40). Se tiene evidencia que las especies de *Trichoderma* son capaces de inducir resistencia en la planta, lo que significa que en primer lugar existe la colonización de las raíces para proceder a una modificación transcriptómica, proteómica y metabólica en la planta (Mukherjee et al., 2012; citados en Poveda et al, 2020, p. 41). Las reacciones que tiene la planta luego de la colonización de este hongo son instantáneas, ya que se pueden observar tanto cambios físico en la pared celular, como bioquímicos relacionados con la acumulación local y sistemática de especies reactivas de oxígeno (Poveda et al, 2020, p. 41).

*Incremento a la tolerancia del estrés abiótico:* Tal como señalan Harman (2000). Adams et al. (2007) y Bae et al. (2009) citados en Poveda et al. (2020, p. 43), otro beneficio que presentan las

especies de *Trichoderma* en asociación con las plantas es la de desarrollar en estas características de tolerancia frente a factores abióticos, tales como: salinidad, sequía, temperaturas extremas, diferentes tipos de suelo y rangos de pH. Así, por ejemplo, Donoso et al. (2008) citados en Poveda et al. (2020, pp. 43-44) inocularon cepas de *Trichoderma harzianum* en dos genotipos de trigo sometidos a déficit hídrico, y observaron que el microorganismo ejerce un efecto positivo en el crecimiento aéreo y radicular de la planta. La colonización de estas especies de microorganismos en las raíces promueve el crecimiento radicular, lo que conlleva al incremento de la productividad (Poveda et al, 2020, p. 44). Cuando las plantas se encuentran bajo condiciones de estrés producen especies reactivas de oxígeno (ROS), las mismas que causan el daño celular (Poveda et al, 2020, p. 44). Y, como señala Mittler (2002) citado en Poveda et al. (2020, p. 44), las plantas poseen la capacidad de detoxificarse y bloquear estos compuestos mediante la acumulación de estos. Por lo que, Shores et al. (2010) citados en Poveda et al. (2020, p. 44), destacan la habilidad que tienen las especies de *Trichoderma* para contrarrestar estos efectos negativos, reduciendo el estrés oxidativo en las plantas.

*Incremento en la absorción de nutrientes:* Tal como mencionan López-Bucio et al. (2015) citados en Poveda et al. (2020, p. 45), los microorganismos presentes en la zona radicular ejercen una notable dinámica en el proceso de absorción de nutrientes por parte de las plantas. Así, el beneficio que traen las diferentes especies de *Trichoderma* en esta dinámica es la de incrementar la biomasa de las raíces, para obtener un mejor proceso de absorción de nutrientes; y como proceso adicional este hongo benéfico secreta exudados que ayudan en la solubilidad de los nutrimentos (Poveda et al, 2020, p. 45). Dentro de esas estructuras que ayudan a la solubilidad encontramos los sideróforos, que ejercen influencia en la absorción de hierro (Fe) (López-Bucio et al., 2015; citados en Poveda et al, 2020, p. 45). Por otra parte, también existe evidencia de que varias cepas de *Trichoderma* tienen la capacidad de capturar nitrógeno (N) (Harman, 2011; citado en Poveda et al, 2020, p. 46).

*Capacidad de bioestimulante:* Las especies de *Trichoderma* son capaces de promover el crecimiento de la planta, debido principalmente a que actúan estimulando el sistema radical de las plantas: de ahí su carácter bioestimulante (Poveda et al., 2020, p. 47). Adicionalmente, Contreras-Cornejo et al. (2013) citados en Poveda et al. (2020, p. 47), mencionan que no solo ayudan con promover el crecimiento de la planta, sino que también tienen la capacidad de producir fitohormonas; así, por ejemplo, en el caso de la promoción de crecimiento vegetal en *A. thaliana* mediante *T. virens*, se debió a la ruta metabólica responsable de las auxinas.

### ***Trichoderma harzianum***

La clasificación taxonómica de *T. harzianum* se presenta en la Tabla 7-2:

**Tabla 7-2:** Clasificación taxonómica de *Trichoderma harzianum*

Atributo	Descripción
Reino	Fungi
División	Ascomycota
Orden	Hypocreales
Familia	Hypocreaceae
Género	<i>Trichoderma</i>
Especie	<i>Trichoderma harzianum</i>

Fuente: Druzhinina y Kubicek, 2013, p. 89

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 2.1.10.2. Control químico

El control químico es un elemento determinante dentro de los programas de manejo integrado de enfermedades; comienza con el caso evidenciado del uso de compuestos cúpricos (Caldo Bordelés) a mediados del siglo XIX, y poseían un modo de acción múltiple y de contacto contra varios puntos en el metabolismo de los hongos; de la misma forma, los fungicidas que inhiben un solo sitio específico comenzaron a desarrollarse a partir de los años sesenta del siglo pasado (Hirooka y Ishii, 2013, p. 390). Y muchos fungicidas específicos que tienen propiedades protectoras y curativas con acción sistémica, se han convertido en una alternativa eficaz frente al control de enfermedades (Knight et al., 1997; Morton y Staub, 2008; citados en Hirooka y Ishii, 2013, p. 390).

Por otra parte, Agrios (2005, p. 312) menciona que los pesticidas químicos se utilizan para proteger la superficie de las plantas contra un patógeno determinado, y también se basa en la erradicación total del patógeno; además algunos procesos de control químico tienen el objetivo de reducir el inóculo de la planta infectada con la finalidad de evitar el contacto de esta con otras, en esos tratamientos químicos podemos encontrar a aquellos que incluyen el suelo, la desinfección de almacenes y el control de insectos vectores.

#### Modos de acción de los fungicidas

De acuerdo con la FRAC (2022, p. 2), el modo de acción se refiere al proceso específico que inhibe cada determinado fungicida, de manera que en estos modos de acción existen sitios de acción específicos, los cuales corresponden a enzimas específicas del proceso celular a las que se unen los fungicidas. A grandes rasgos los fungicidas se clasifican en fungicidas de sitio específico y

multisitio; los correspondientes a inhibidores de la desmetilación de esteroides (DMI) y los inhibidores de la quinona exterior (QoI) son representativos del primer grupo de modo de acción, mientras que los multisitio incluyen diticarbamatos, formulaciones inorgánicas, ftalimidias y cloronitrilos (Hirooka y Ishii, 2013, p. 391).

### ***Fungicidas multisitio***

O también denominado fungicidas no sistémicos porque no penetran en la planta, es decir que cuando se los aplica permanecen en la superficie del follaje o frutos. Por lo tanto, no se redistribuyen y se limita al área tratada, y ahí radica prácticamente su desventaja: para lograr un buen control se debe realizar una cobertura completa del cultivo. Los fungicidas no sistémicos son generalmente inhibidores multisitio, lo que quiere decir que provocan una respuesta a través de varios procesos bioquímicos (Oliver y Hewitt, 2014, p. 72).

### ***Fungicidas sitio específico***

Los fungicidas de sitio específico o sistémicos son aquellos por los cuales las plantas absorben este tipo de fungicidas a través de las hojas o raíces y los translocan en sentido ascendente vía xilema (Agrios, 2005, pp. 340). De la misma manera Agrios (2005, p. 340), menciona que estos fungicidas tienen la particularidad de inhibir determinado proceso metabólico de los hongos a los que controlan, como consecuencia luego de un período de tiempo de exposición al mismo fungicida los hongos desarrollan resistencia, por ello se debe dejar de usarlos cuando se reporten casos de resistencia del patógeno o a su vez combinarlos con productos de amplio espectro. Además, los fungicidas de sitio específicos o sistémicos pueden tener una actividad protectante, curativa o erradicante (Oliver y Hewitt, 2014, p. 72).

### ***Fungicidas con modo de acción en la respiración (C)***

La inhibición de la cadena de respiración mitocondrial ha demostrado poseer una significativa eficacia en el control de un amplio espectro de hongos y oomicetos. Esta cadena de respiración es omnipresente en todos los organismos tratados, y presenta cinco complejos principales: (1) NADH deshidrogenasa, (2) succinato deshidrogenasa, (3) complejo del citocromo bc<sub>1</sub>, (4) citocromo c oxidasa, y (5) protón ATPasa (Oliver y Hewitt, 2014, p. 88).

*C3: Inhibición del complejo III:* Este grupo de fungicidas cuya denominación formal corresponde a Inhibidores externos de la Quinona (ANEXO H), y su nombre comercial es Estrobilurinas, han

sido desarrollados en desde hace algunos años atrás (Oliver y Hewitt, 2014, p. 90). Muchos de estos fungicidas tienen venta anuales que llegan al billón de dólares americanos (Oliver y Hewitt, 2014, p. 90). El mercado de estos fungicidas principalmente está dirigidos a los cultivos de cereales, viñedos, nuez, papas y frutas (Bartlett et al., 2002, p. 649).

### ***Fungicidas con modo de acción en la biosíntesis de esterol en las membranas (G)***

La principal estructura de la membrana celular de los hongos son los esteroides, de ahí que sea necesario fijar el objetivo en dicha estructura para la inhibición del crecimiento del hongo porque es el centro a través el cual estos mantienen su estabilidad y permeabilidad (Ziogas y Malandrakis, 2015, p. 200). El principal esteroide de la gran mayoría de los hongos es el ergosterol, presente tanto en los hongos pertenecientes a los órdenes Ascomycota, Basidiomycota y Hongos imperfectos (Ziogas y Malandrakis, 2015, p. 200). De ahí la importancia de los fungicidas inhibidores de la biosíntesis de esteroides (SBI) (ANEXO I) en el campo agrícola por su amplio espectro en cuanto a los hongos patógenos, y su aplicación en una gran variedad de cultivos (Ziogas y Malandrakis, 2015, p. 200). Estos fungicidas presentan algunos problemas, como su rendimiento contra el oídio (cereales) se ha limitado a mezclas con morfolinas porque desarrolla resistencia, y la toxicidad que puede ocasionar (Oliver y Hewitt, 2014, p. 98).

*G1: C14- demetilasa en la biosíntesis de esteroides (erg11/cyp51) SBI Clase I:* Los DMI inhiben el grupo C14-metilo del 24-metilendihidrolanosterol o del eburicol, de manera que la subsiguiente acumulación de esteroides precursores y la reducción del ergosterol son la base de este mecanismo de los fungicidas DMI; aunque se desconoce los efectos de la desmetilación del C14, ya que son procesos muy completos e inciertos (Oliver y Hewitt, 2014, p. 98). Pero Ziogas y Malandrakis (2015, p. 200), realizan un análisis sobre dicho proceso en el que la desmetilación del lanosterol C14 está vinculada con una oxigenasa (citocromo P450) que es un tipo de hemoproteína; así los DMI se unen al hierro (Fe) del citocromo P450 con un átomo de nitrógeno (N) e inhiben la unión de oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) y su transferencia a C14-metilo del lanosterol. De acuerdo con Parker et al. (2011) citados en Ziogas y Malandrakis (2015, p. 200), sugieren que de la unión de un DMI (thioconazol) en *Mycosphaerella graminicola cyp51* se genera la inhibición de la enzima a través de una forma distinta a la descrita anteriormente. El sitio objetivo de los fungicidas DMI es la enzima Cyp51 (Oliver y Hewitt, 2014, p. 100).

### ***Fungicidas con modo de acción multisitio (M)***

*M01 Cobre:* Los fungicidas basados en cobre (Cu) (ANEXO J), ya sea en forma de caldo bordelés u oxiclورو, se los utiliza individualmente o en combinación con algunos sistémicos (cimoxanil) para el control de enfermedades en la vid, papa, tomate, banano, café y té (Oliver y Hewitt, 2014, pp. 110-111). El cobre tal como ion  $\text{Cu}^{2+}$  se acumula con facilidad en los hongos sensibles, lo cual forma complejos con enzimas que poseen los siguiente grupos químicos: sulfhidrilo, hidroxilo, amino o carboxilo, los inactiva para que afecten el metabolismo y permite la ruptura celular del hongo (Oliver y Hewitt, 2014, p. 111).

Estos productos por su carácter inmóvil deben aplicarse constantemente para lograr una mejor cobertura del producto, además deben ser insolubles en agua para evitar los efectos fitotóxicos del ion cobre (Oliver y Hewitt, 2014, p. 111).

## CAPÍTULO III

### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Enfoque de investigación

Es una investigación propuesta para dar respuesta a problemas que presentan los productores.

#### 3.2. Nivel de Investigación

En una investigación básica de tercer nivel para la obtención de título de pregrado.

#### 3.3. Diseño de investigación

##### Diseño experimental

Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con tres repeticiones. Los tratamientos en estudio corresponden a los siguientes (Tabla 1-3):

**Tabla 1-3:** Tratamientos involucrados en el diseño experimental

Tratamiento	Descripción
T1	<i>Bacillus subtilis</i>
T2	<i>Trichoderma harzianum</i>
T3	Piraclostrobin
T4	Tebuconazol
T5	Sulfato de cobre
T6	Testigo absoluto

Realizado por: Cesen, L., 2022

##### Análisis de varianza

El esquema del análisis de varianza se presenta en la Tabla 2-3:

**Tabla 2-3:** Esquema del análisis de varianza para cada tratamiento

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>Fórmula</b>	<b>Grados de libertad</b>
Total	$(T * R) - 1$	17
Tratamientos	$T - 1$	5
Repeticiones	$R - 1$	2
Error	$(T - 1) * (R - 1)$	10

Realizado por: Cesen, L., 2022

### **Análisis funcional**

Para la separación de medias se utilizó la prueba de TUKEY al 5%.

### **Análisis estadístico**

Para determinar la normalidad de las variables se utilizó la prueba de Shapiro Wilks al 5%. Además, se realizó el análisis de varianza con los códigos de significación 0,05; 0,01 y 0,001. Todo el procedimiento estadístico se realizó en el paquete estadístico R, como R studio.

#### **3.3.1. Según la manipulación o no de la variable independiente (no experimental, casi experimental, experimental)**

Es una investigación de tipo experimental.

#### **3.3.2. Según las intervenciones en el trabajo de campo (transversal, longitudinal)**

La investigación tuvo una intervención de tipo longitudinal.

### **3.4. Tipo de estudio (documental/de campo)**

La investigación es de tipo campo.

### **3.5. Población y Planificación, selección y cálculo del tamaño de la muestra**

#### **3.5.1. Unidad experimental**

La unidad experimental estuvo constituida por tres plantas de tuna de dos años, con una distancia de plantación de 2,5 m entre plantas y 2,5 m entre hileras. Lo cual nos da un área neta de 337,5 metros cuadrados (m<sup>2</sup>). Para ello, se detalla en la Tabla 3-3:

**Tabla 3-3:** Especificaciones de la UE en la evaluación de los tipos de control de las enfermedades del filoplano del cultivo de tuna

<b>Especificaciones</b>	<b>Observaciones</b>
Área del experimento	337,5 m <sup>2</sup>
Número de hileras	3
Número de plantas	54
Número de plantas por tratamiento	18
Método de plantación	cuadrado real
Distancia de plantación entre planta	2,5 m
Distancia de plantación entre hilera	2,5 m

Realizado por: Cesen, L., 2022

### 3.6. Métodos, técnicas e instrumentos de investigación

#### 3.6.1. Caracterización del lugar

La presente investigación correspondiente a la “Evaluación bajo condiciones de campo los tipos de control biológico químico y convencional de las enfermedades del filoplano del cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica* L.) establecido”, se llevó a cabo en el lote de tuna ubicado en la Estación Experimental Tunshi (ESPOCH) perteneciente al cantón Riobamba, provincia Chimborazo.

##### 3.6.1.1. Ubicación geográfica

Los datos sobre la ubicación geográfica en el que se desarrolló la investigación se detallan en la Tabla 4-3:

**Tabla 4-3:** Datos geográficos del lugar de investigación

<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
<b>Longitud</b>	78°37'72" W
<b>Latitud</b>	01°44'54" S
<b>Altitud</b>	2710 m.s.n.m

Fuente: Datos registrados con GPS (UTM Geo Map)

Realizado por: Cesen, L., 2022

### 3.6.1.2. Condiciones climáticas:

Las condiciones climáticas presentes en el lugar donde se realizó la investigación se presentan en la Tabla 5-3.

**Tabla 5-3:** Condiciones agroclimáticas del lugar de investigación

Descripción	Valor
Temperatura máxima anual	23,7 °C
Temperatura mínima anual	4,6 °C
Temperatura media	13,4 °C
Humedad relativa	73 %
Precipitación anual	727,4 mm
Punto de rocío	9 °C

**Fuente:** Estación Agrometeorológica de la Facultad de Recursos Naturales, 2022

**Realizado por:** Cesen, L., 2022

### 3.6.2. Materiales

#### 3.6.2.1. Materiales de campo

Cuaderno de campo, herramientas agrícolas, teléfono celular, tijera de podar, guantes de protección, gafas de seguridad, un traje de protección, bomba de fumigar.

#### 3.6.2.2. Materiales biológicos

Organismos con potencial de control biológico como: *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*.

#### 3.6.2.3. Materiales químicos

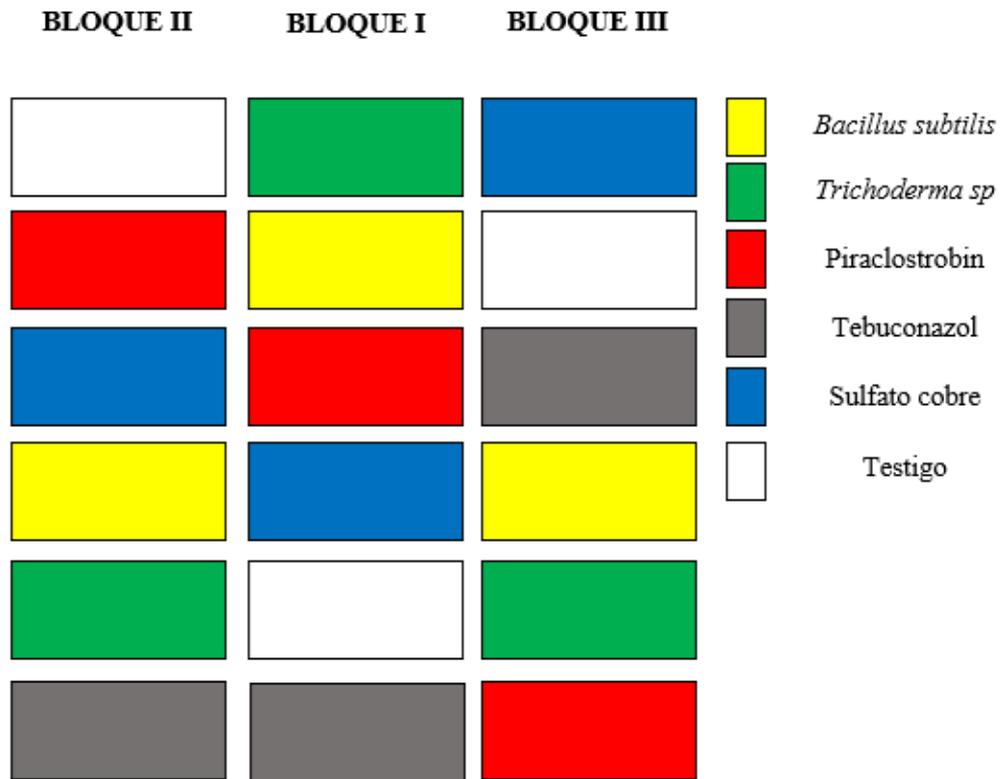
Productos químicos con carácter de control de enfermedades en plantas, tales como: tebuconazol, piraclostrobin y sulfato de cobre.

#### 3.6.2.4. Materiales de oficina

Computadora, impresora, esferos y cuadernos.

### 3.6.3. Métodos

#### 3.6.3.1. Croquis del ensayo



**Ilustración 1-3:** Croquis del diseño experimental

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 3.6.3.2. Tratamientos de estudio

Los tratamientos utilizados en esta investigación se detallan en la Tabla 6-3

**Tabla 6-3:** Tratamientos en la evaluación de tipos de control biológico químico y convencional de las enfermedades del filoplano del cultivo de tuna

Tratamiento	Descripción	Dosis, aplicación y número de aplicaciones
T1	<i>Bacillus subtilis</i>	4 L ha <sup>-1</sup> ; cada 15 días (Aplicación foliar); 6 aplicaciones.
T2	<i>Trichoderma harzianum</i>	Concentración 10 <sup>6</sup> UFC mL <sup>-1</sup> ; cada 15 días (Aplicación foliar); 6 aplicaciones.
T3	Piraclostrobin	1 cm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup> ; cada 15 días (Aplicación foliar); 6 aplicaciones.
T4	Tebuconazol	1 cm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup> ; cada 15 días (Aplicación foliar); 6 aplicaciones.
T5	Sulfato de cobre	1 cm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup> ; cada 15 días (Aplicación foliar); 6 aplicaciones.
T6	Testigo	Sin aplicación

Realizado por: Cesen, L., 2022

### 3.6.4. Variables y métodos de evaluación

#### 3.6.4.1. Incidencia

La incidencia de la enfermedad es el número o proporción de unidades vegetales que se encuentran enfermas (esto puede ser una parte de la planta como hojas, tallos y frutos) en relación con el número total de unidades vegetales examinadas (Agrios, 2005, p. 273).

Se obtiene aplicando la siguiente fórmula (Cooke, 2006, p. 51):

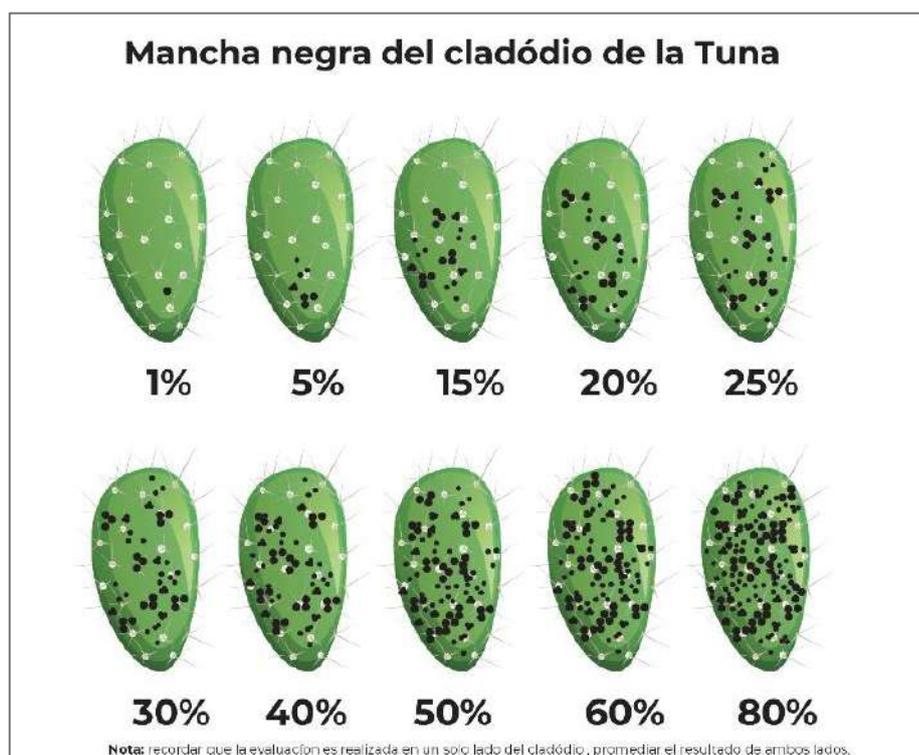
$$\text{Incidencia (I)} = \frac{\text{Número de unidades de planta infectadas}}{\text{Número total de unidades de planta evaluadas}} * 100$$

#### 3.6.4.2. Severidad

La severidad de la enfermedad se refiere a la proporción de superficie o a la cantidad de tejido enfermo sobre la superficie total del tejido vegetal (Agrios, 2005, p. 273).

Se obtiene aplicando la siguiente fórmula (Cooke, 2006, p. 51):

$$Severidad(S) = \frac{\text{Área del tejido enfermo}}{\text{Área total del tejido}} * 100$$



**Ilustración 2-3:** Escala de severidad de mancha negra del cladodio de la tuna

**Fuente:** Álvarez y Marín, 2022

### 3.6.4.3. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad

La pérdida de rendimiento debido a las enfermedades se cuantifica en una etapa específica, a partir de evaluación secuenciales de la enfermedad en varias etapas fenológicas del cultivo, o también se lo realiza mediante el área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE), es decir, el área entre la curva del progreso de la enfermedad y el eje X del gráfico. Este recurso se lo utiliza para resumir el progreso de la enfermedad, y se lo calcula con una fórmula que tiene en cuenta el número de veces que se evaluó la gravedad de la enfermedad, la severidad en cada evaluación y el tiempo de duración de la epidemia (Agrios, 2005, p. 273).

El ABCPE se puede calcular mediante la siguiente ecuación (Shaner y Finney, 1977; citados en Cooke, 2006, p. 72):

$$ABCPE = \sum_i^{n-1} \left( \frac{y_i + y_{i+1}}{2} \right) (t_{i+1} - t_i)$$

En donde: (n) es el número de veces de las evaluaciones, (y) es la medida de la enfermedad, y (t) es el tiempo. El ABCPE es la integración de (y) entre la variación del tiempo (t), y puede aproximarse utilizando la regla del punto medio o el método de integración trapezoidal (Cooke, 2006, p. 72).

#### *3.6.4.4. Eficacia de los tratamientos*

Estos valores correspondientes a la eficacia de los tratamientos fueron elaborados de acuerdo con la fórmula de Abbott (1925, p. 266):

$$E = \frac{X - Y}{X} * 100$$

E= % de Eficiencia

X= % de Intensidad de enfermedad del Testigo

Y= % de Intensidad de enfermedad de los tratamientos

#### **3.6.5. Manejo del cultivo**

##### *3.6.5.1. Selección del lote*

La presente investigación se desarrolló en la parcela de investigación de tuna, la misma que se encuentra ubicada en la Estación Experimental Tunshi de la ESPOCH (ANEXO A).

##### *3.6.5.2. Delimitación de las unidades experimentales*

Las unidades experimentales están conformadas por un grupo de tres plantas, las mismas que se encuentran separadas aproximadamente 2,5 metros y entre hileras también 2,5 metros.

##### *3.6.5.3. Fertilización edáfica*

Para esta actividad se utilizó abono orgánico como aporte nutricional para el cultivo de tuna (ANEXO F).

#### *3.6.5.4. Poda*

La poda que se llevó a cabo en la tuna fue la poda de formación y sanitaria. Éstas podas fueron realizadas mediante el uso de herramientas como tijera de podar y una sierra para cortes de la corteza lignificada de los tallos (ANEXO E).

#### *3.6.5.5. Labores de control de malezas*

La labor de control de arvenses en el ensayo de investigación de la tuna se llevó a cabo de manera manual con herramientas tales como: azadón, rastrillo y carretilla (ANEXO C).

#### *3.6.5.6. Cosecha*

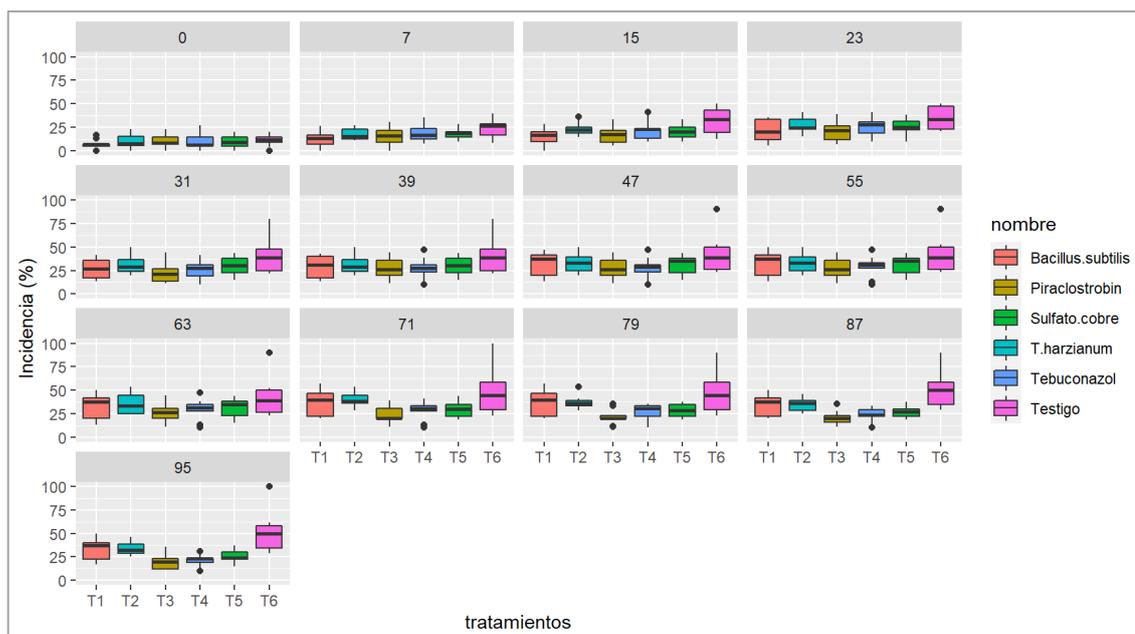
La cosecha se realizó mediante el uso de implementos necesarios para su manipulación tales como guantes y gafas de protección (ANEXO G).

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1. Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

##### 4.1.1. Incidencia



**Ilustración 1-4:** Diagrama de caja y bigotes de la variable incidencia expresada en porcentaje de acuerdo con los tratamientos establecidos

**Realizado por:** Cesen, L., 2022

El análisis de varianza para la variable incidencia mostró un efecto significativo entre tratamientos a los 15, 71, 79, 87 y 95 días después de la aplicación fitosanitaria ( $P < 0,05$ ) (Tabla 1-4). Donde a los 15 días mostró que el tratamiento de *Bacillus subtilis* obtuvo un menor porcentaje de incidencia con respecto a los demás tratamientos. Mientras, que para los días 71, 79, 87 y 95 de evaluación, se observó que el tratamiento de piraclostrobin obtuvo el menor porcentaje de incidencia dentro de los tratamientos químicos; y, por otro lado, el tratamiento de *Bacillus subtilis* mostró mejor porcentaje de incidencia dentro de los tratamientos biológicos. Y, con respecto al tratamiento Testigo hubo un progresivo aumento del porcentaje de incidencia en el período de evaluación comprendido entre 0 y 95 días, ya que no se aplicó ningún control químico o biológico.

**Tabla 1-4:** ANOVA de la incidencia en plantas tratadas con diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplanio en el cultivo de tuna

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios									
		15 días	p-valor	71 días	p-valor	79 días	p-valor	87 días	p-valor	95 días	p-valor
Total	17										
Tratamientos	5	226,54	0,03 *	705,6	0,0048 **	718,7	0,0013 **	1012,3	2,3 e <sup>-6</sup> **	1202,2	5,5 e <sup>-6</sup> **
Repetición	2	130,18	0,27 ns	290,9	0,21 ns	256	0,19 ns	277,6	0,09 ns	201	0,24 ns
Error	10	95,55		180,1		149,1		110,8		134,7	
CV (%)		44,67		39,13		36,95		33,06		37,72	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05)

Realizado por: Cesen, L., 2022

La prueba de Tukey al 5% (Tabla 2-4) para la incidencia a los 15 días después de la aplicación fitosanitaria, identificó dos rangos de significancia: (a) Testigo con una media de 31,34 %, (ab) *Trichoderma harzianum*, tebuconazol, sulfato de cobre, piraclostrobin con medias de 23,15 – 23,1 – 19,97 – 17,77 % respectivamente, y finalmente el segundo rango (b) *Bacillus subtilis* con una media de 15,96 % de incidencia. Para el día 71 (Tabla 3-4), se obtuvieron dos rangos de significancia: (a) testigo con una media de 47,37 %, (ab) *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, sulfato de cobre con medias de 39,59 – 37,75 – 29,79 % respectivamente, y (b) tebuconazol y piraclostrobin con medias de 27,93 y 23,33 % respectivamente. Para el día 79 (Tabla 3-4), se obtuvieron dos rangos de significancia: (a) testigo con una media de 46,26 %, (ab) *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* con medias de 37,61 y 37,27 % respectivamente, y (b) sulfato de cobre, tebuconazol y piraclostrobin con medias de 28,57 – 26,66 y 21,86 % respectivamente. Asimismo, para el día 87 (Tabla 4-4) se obtuvieron dos rangos de significancia: (a) testigo con una media de 50,13 %, y (b) *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, sulfato de cobre, tebuconazol y piraclostrobin con medias de 34,66 – 34,6 – 27,48 – 23,38 y 20,8 % respectivamente. Finalmente, para el día 95 (Tabla 4-4) se obtuvieron dos rangos de significancia: (a) Testigo con una media de 51,24 %, y (b) *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, sulfato de cobre, tebuconazol y piraclostrobin con medias de 33,81 – 32,75 – 25,73 – 21,5 y 19,61 % respectivamente.

**Tabla 2-4:** Promedio a los 15 días de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Tratamientos	Medias (%) y rangos de significancia <sup>1</sup>	
	15 días	
(T6) Testigo	31,34	a
(T2) <i>Trichoderma harzianum</i>	23,15	ab
(T4) Tebuconazol	23,1	ab
(T5) Sulfato de cobre	19,97	ab
(T3) Piraclostrobin	17,77	ab
(T1) <i>Bacillus subtilis</i>	15,96	b

<sup>1</sup> Letras iguales denotan medidas que no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5%

Realizado por: Cesen, L., 2022

**Tabla 3-4:** Promedio a los 71 y 79 días de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Tratamientos	Medias (%) y rangos de significancia <sup>1</sup>			
	71 días		79 días	
(T6) Testigo	47,37	a	46,26	a
(T2) <i>Trichoderma harzianum</i>	39,59	ab	37,61	ab
(T1) <i>Bacillus subtilis</i>	37,75	ab	37,27	ab
(T5) Sulfato de cobre	29,79	ab	28,57	b
(T4) Tebuconazol	27,93	b	26,66	b
(T3) Piraclostrobin	23,33	b	21,86	b

<sup>1</sup> Letras iguales denotan medidas que no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5%

Realizado por: Cesen, L., 2022

**Tabla 4-4:** Promedio a los 87 y 95 días de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

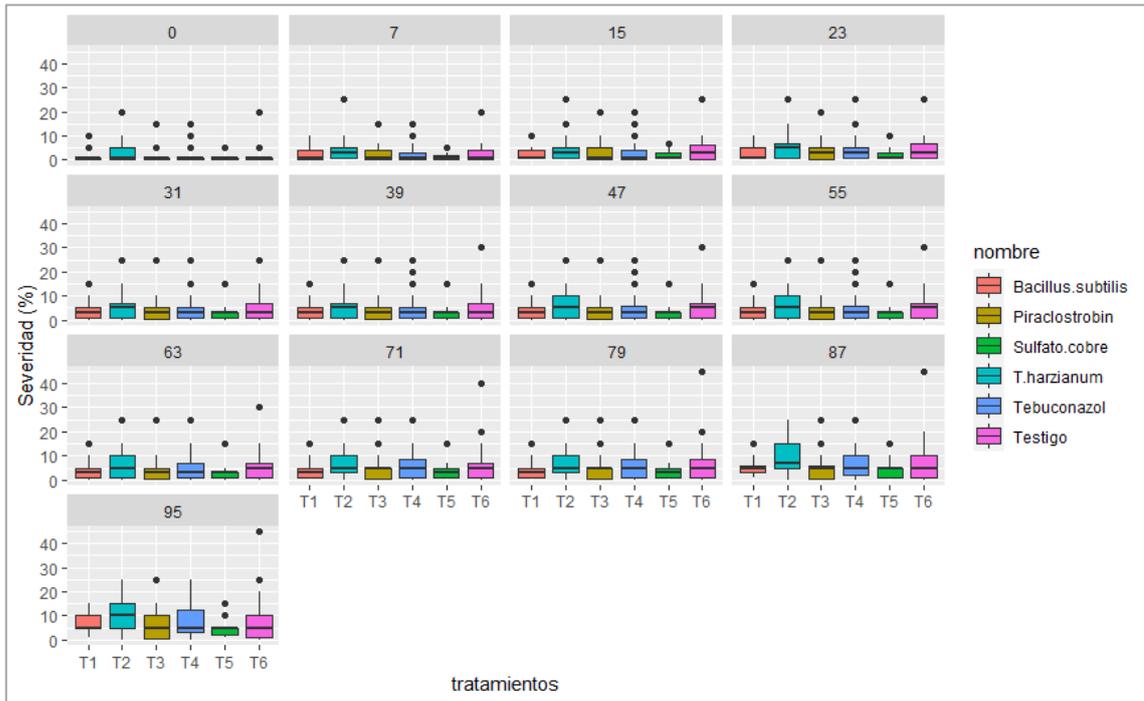
Tratamientos	Medias (%) y rangos de significancia <sup>1</sup>			
	87 días		95 días	
(T6) Testigo	50,13	a	51,24	a
(T2) <i>Trichoderma harzianum</i>	34,66	b	33,81	b
(T1) <i>Bacillus subtilis</i>	34,6	b	32,75	b
(T5) Sulfato de cobre	27,48	b	25,73	b
(T4) Tebuconazol	23,38	b	21,5	b

(T3) Piraclostrobin	20,8	<b>b</b>	19,61	<b>b</b>
---------------------	------	----------	-------	----------

<sup>1</sup> Letras iguales denotan medidas que no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5%

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 4.1.2. Severidad



**Ilustración 2-4:** Diagrama de caja y bigotes de la variable severidad expresada en porcentaje de acuerdo con los tratamientos establecidos

Realizado por: Cesen, L., 2022

El análisis de varianza para la variable severidad mostró un efecto significativo entre tratamientos a los 95 días luego de la aplicación fitosanitaria ( $P < 0,05$ ) (Tabla 5-4). Donde el tratamiento Sulfato de cobre obtuvo el menor porcentaje de severidad con respecto a los demás tratamientos, así el tratamiento Testigo junto con *Trichoderma harzianum* tuvieron incrementos progresivos en el porcentaje de severidad en las platas evaluadas.

**Tabla 5-4:** ANOVA de la severidad en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	
		95 días	p-valor
Total	17		
Tratamientos	5	110,39	0,03 *

Repetición	2	106,17	0,09 ns
Error	10	44,44	
<b>CV (%)</b>		90,82	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05)

Realizado por: Cesen, L., 2022

La prueba de Tukey al 5% (Tabla 6-4) para la severidad a los 95 días después de la aplicación fitosanitaria, identificó dos rangos de significancia: (a) *Trichoderma harzianum* con una media de 10,85 % de severidad, (ab) testigo, tebuconazol, *Bacillus subtilis* y piraclostrobin con medias de 7,7 – 7,59 – 7,11 y 5,74 % de severidad respectivamente, y (b) sulfato de cobre con una media de 5,04 % de severidad.

**Tabla 6-4:** Promedio de la variable severidad en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

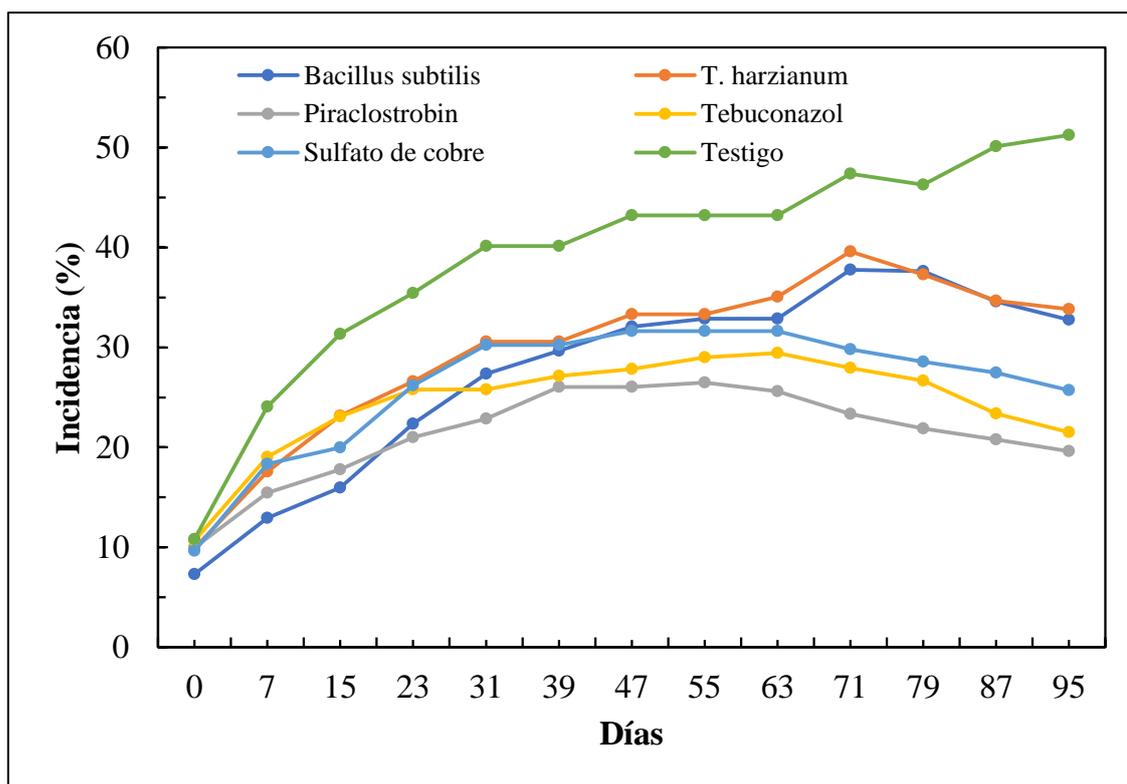
Tratamientos	Medias (%) y rangos de significancia <sup>1</sup>	
	95 días	
(T2) <i>Trichoderma harzianum</i>	10,85	<b>a</b>
(T6) Testigo	7,7	<b>ab</b>
(T4) Tebuconazol	7,59	<b>ab</b>
(T1) <i>Bacillus subtilis</i>	7,11	<b>ab</b>
(T3) Piraclostrobin	5,74	<b>ab</b>
(T5) Sulfato de cobre	5,04	<b>b</b>

<sup>1</sup> Letras iguales denotan medidas que no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5%

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 4.1.3. Área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)

##### 4.1.3.1. Incidencia



**Ilustración 3-4:** Curva del progreso de la enfermedad para la variable incidencia en plantas de tuna tratadas con diferentes tratamientos

Realizado por: Cesen, L., 2022

El análisis de varianza para la variable área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) con respecto a la incidencia mostró un efecto significativo entre tratamientos a los al finalizar la evaluación en el ensayo experimental ( $P < 0,05$ ) (Tabla 7-4). Donde el tratamiento piraclostrobin obtuvo el menor ABCPE con respecto a los demás tratamientos, mientras que el tratamiento Testigo obtuvo el valor más alto en el ABCPE de la incidencia en las platas evaluadas.

**Tabla 7-4:** ANOVA del ABCPE de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	
		ABCPE	p-valor
Total	17		
Tratamientos	5	1921345	0,0204*
Repetición	2	296375	0,52 ns
Error	10	424265	
<b>CV (%)</b>		23,32	

Diferencias significativas \*( $p < 0,05$ ), diferencias altamente significativas \*\*( $p < 0,01$ ), ns: no significativo ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Cesen, L., 2022

La prueba de Tukey al 5% (Tabla 8-4) para el ABCPE con respecto a la incidencia identificó dos rangos de significancia: (a) testigo con una media de 4088 % de incidencia, (ab) *Bacillus subtilis*, *Trichoderma harzianum*, y sulfato de cobre con medias de 3100,17 – 2946,82 y 2644,42 % de incidencia respectivamente, y (b) tebuconazol y piraclostrobin con una media de 2210,92 y 1770,11 % de incidencia correspondiente al ABCPE.

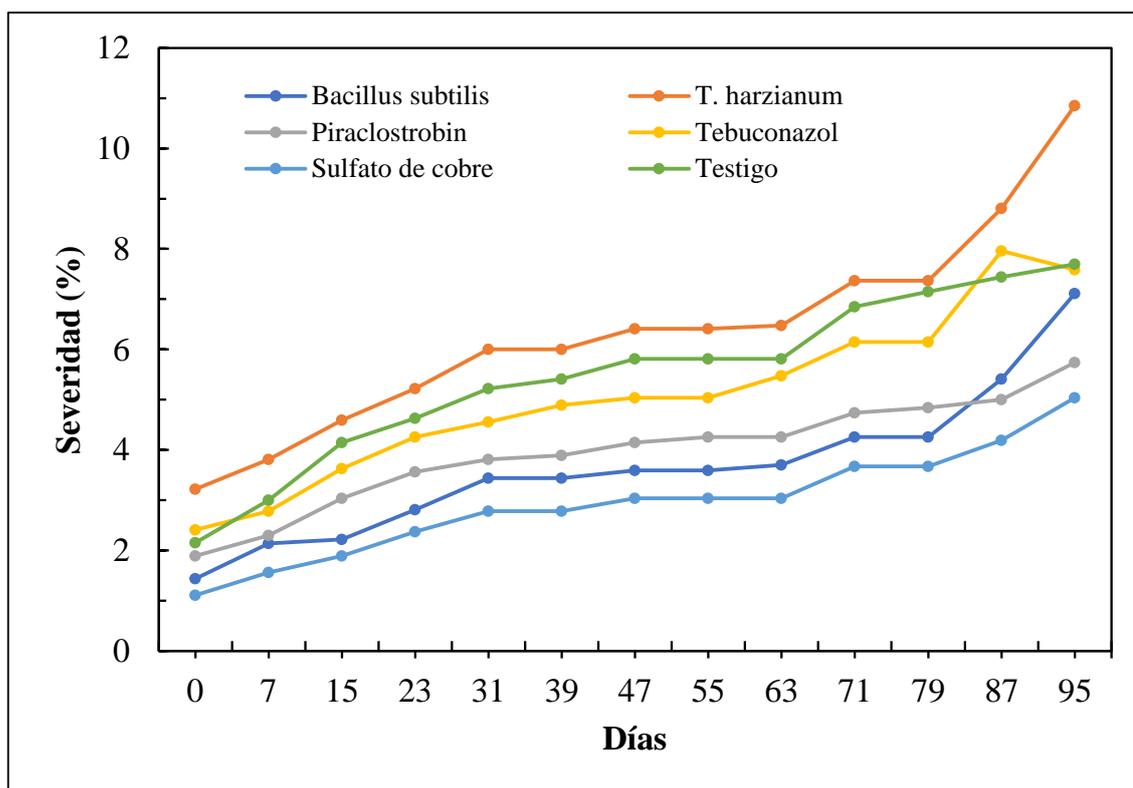
**Tabla 8-4:** Promedio del ABCPE de la variable incidencia en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Tratamientos	Medias (%) y rangos de significancia <sup>1</sup>	
	ABCPE	
(T6) Testigo	4088	a
(T1) <i>Bacillus subtilis</i>	3100,17	ab
(T2) <i>Trichoderma harzianum</i>	2946,82	ab
(T5) Sulfato de cobre	2644,42	ab
(T4) Tebuconazol	2210,92	b
(T3) Piraclostrobin	1770,11	b

<sup>1</sup> Letras iguales denotan medidas que no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5%

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 4.1.3.2. Severidad



**Ilustración 4-4:** Curva del progreso de la enfermedad para la variable severidad en plantas de tuna tratadas con diferentes tratamientos

Realizado por: Cesen, L., 2022

El análisis de varianza para la variable área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE) con respecto a la severidad no mostró un efecto significativo entre tratamientos a los al finalizar la evaluación en el ensayo experimental ( $P > 0,05$ ) (Tabla 9-4).

**Tabla 9-4:** ANOVA del ABCPE de la variable severidad en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	
		ABCPE	p-valor
Total	17		
Tratamientos	5	71259	0,67 ns
Repetición	2	9780	0,92 ns
Error	10	110184	
<b>CV (%)</b>		<b>84</b>	

Diferencias significativas \*( $p < 0,05$ ), diferencias altamente significativas \*\*( $p < 0,01$ ), ns: no significativo ( $p > 0,05$ )

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 4.1.4. Eficacia de los tipos de control (químico, biológico y convencional)

En la etapa de finalización de la experimentación de diferentes tipos de control en el manejo de enfermedades en el cultivo de la tuna, exactamente a 95 días, se determinó los valores de eficacia de estos (Tabla 10-4). En caso del control biológico, *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* presentaron valores similares, 34 y 36% respectivamente. El control convencional, sulfato de cobre, tuvo un valor de 49%. Mientras que los tratamientos de tipo químico, tebuconazol y piraclostrobin, obtuvieron mejores resultados, alcanzando valores de 58 y 61% respectivamente.

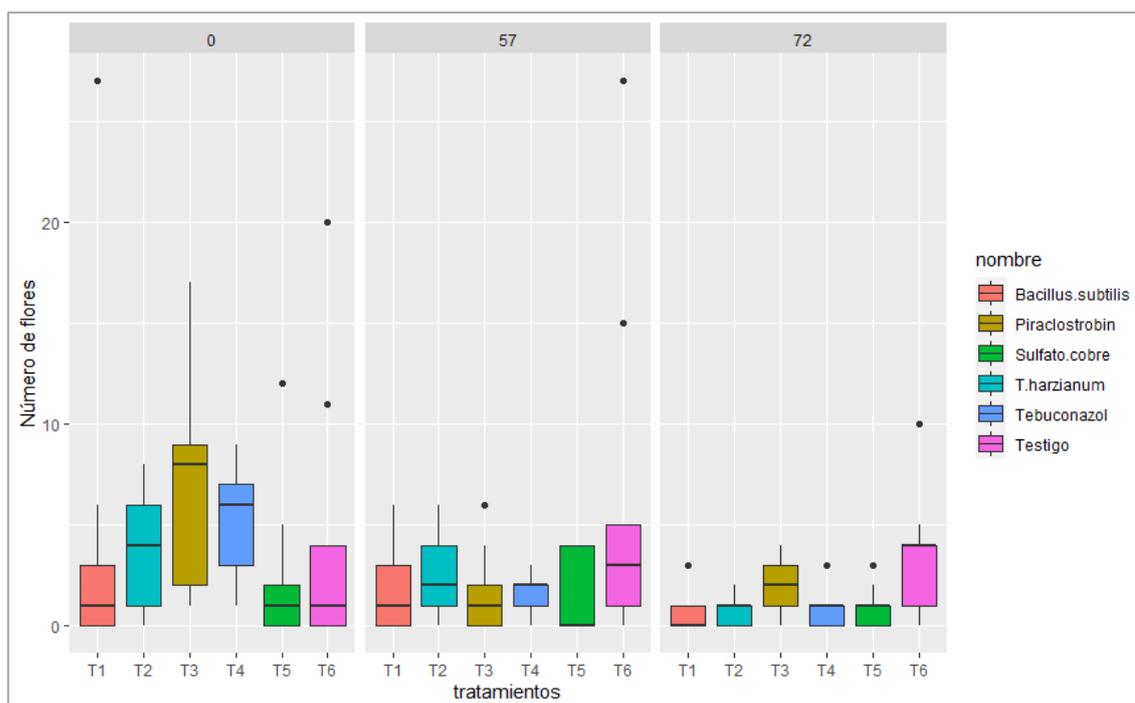
**Tabla 10-4:** Eficacia de los tipos de control químico, biológico y convencional relacionados con el manejo de enfermedades del filoplano del cultivo de tuna

Tratamientos	Eficacia (%)
(T6) Testigo	0
(T2) <i>Trichoderma harzianum</i>	34,02
(T1) <i>Bacillus subtilis</i>	36,09
(T5) Sulfato de cobre	49,79
(T4) Tebuconazol	58,04
(T3) Piraclostrobin	61,73

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 4.1.5. Productividad y Rendimiento

##### 4.1.5.1. Número de flores



**Ilustración 5-4:** Diagrama de caja y bigotes de la variable número de flores de acuerdo con los tratamientos establecidos

**Realizado por:** Cesen, L., 2022

El análisis de varianza para la variable número de flores mostró un efecto significativo entre tratamientos a los 72 días de evaluación ( $P < 0,05$ ) (Tabla 11-4). Donde el tratamiento testigo obtuvo el mayor número de flores con respecto a los demás tratamientos, asimismo se ubicaron los tratamientos químicos de piraclostrobin y tebuconazol. Mientras que *Trichoderma harzianum* fue el que obtuvo un número menor de flores por planta.

**Tabla 11-4:** ANOVA del número de flores a los 72 días en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	
		72 días	p-valor
Total	17		
Tratamientos	5	9,41	0,011 *
Repetición	2	1,69	0,55 ns
Error	10	2,79	
<b>CV (%)</b>		<b>118,82</b>	

Diferencias significativas \*( $p < 0,05$ ), diferencias altamente significativas \*\*( $p < 0,01$ ), ns: no significativo ( $p > 0,05$ )

**Realizado por:** Cesen, L., 2022

La prueba de Tukey al 5% (Tabla 12-4) para en número de flores a los 72 días de la evaluación, identificó dos rangos de significancia: (a) testigo con una media de 3,3 flores/planta, (ab) piraclostrobin y tebuconazol con medias de 1,7 y 1 flores/planta respectivamente, y (b) sulfato de cobre, *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* con medias de 0,8 – 0,7 – 0,6 flores/planta respectivamente.

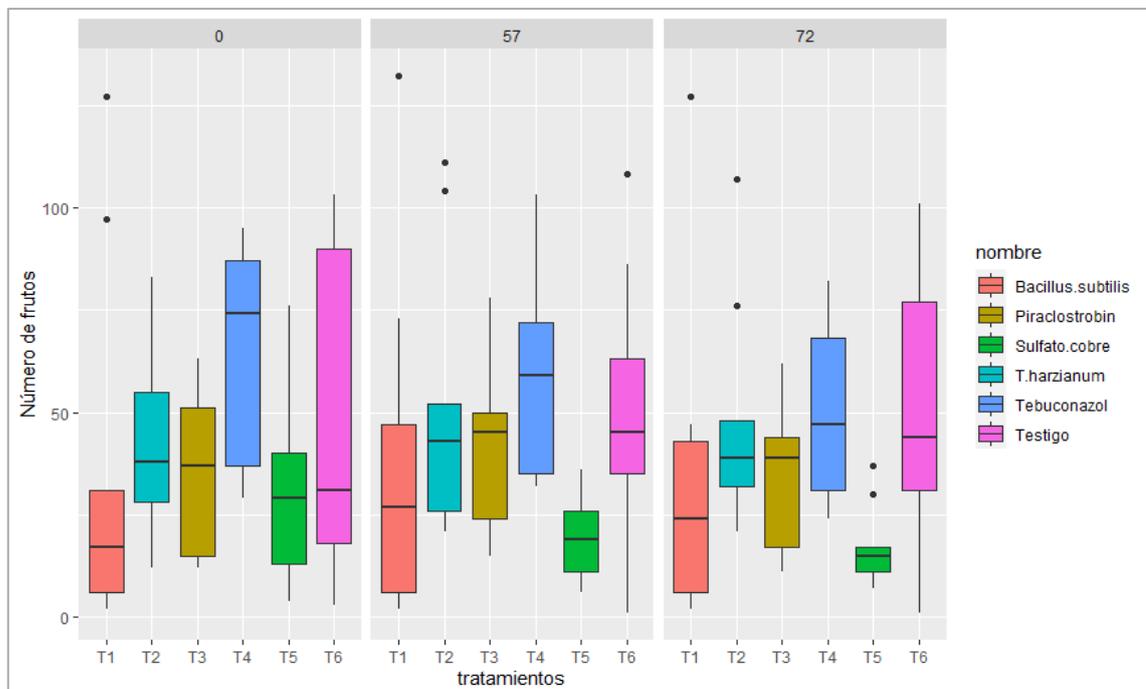
**Tabla 12-4:** Promedio de la variable número de flores en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Tratamientos	Medias (%) y rangos de significancia <sup>1</sup>	
	72 días	
(T6) Testigo	3,3	a
(T3) Piraclostrobin	1,7	ab
(T4) Tebuconazol	1	ab
(T5) Sulfato de cobre	0,8	b
(T1) <i>Bacillus subtilis</i>	0,7	b
(T2) <i>Trichoderma harzianum</i>	0,6	b

<sup>1</sup> Letras iguales denotan medidas que no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5%

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 4.1.5.2. Número de frutos



**Ilustración 6-4:** Diagrama de caja y bigotes de la variable número de frutos de acuerdo con los tratamientos establecidos

Realizado por: Cesen, L., 2022

El análisis de varianza para la variable número de frutos mostró un efecto significativo entre tratamientos a los 57 días de evaluación ( $P < 0,05$ ) (Tabla 13-4). Donde el tratamiento tebuconazol obtuvo el mayor número de frutos por planta con respecto a los demás tratamientos. Mientras que sulfato de cobre fue el que obtuvo un número menor de frutos por planta.

**Tabla 13-4:** ANOVA del número de frutos en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	
		57 días	p-valor
Total	17		
Tratamientos	5	1839	0,039 *
Repetición	2	4127	0,0058 **
Error	10	717	
<b>CV (%)</b>		61,75	

Diferencias significativas \*( $p < 0,05$ ), diferencias altamente significativas \*\*( $p < 0,01$ ), ns: no significativo ( $p > 0,05$ ).

Realizado por: Cesen, L., 2022

La prueba de Tukey al 5% (Tabla 14-4) para el número de frutos a los 57 días de la evaluación, identificó dos rangos de significancia: (a) tebuconazol con una media de 59,3 frutos/planta, (ab) *Trichoderma harzianum*, testigo, piraclostrobin y *Bacillus subtilis* con medias de 52,6 – 51,1 – 40,7 y 37 frutos/planta respectivamente; (b) sulfato de cobre con una media de 19 frutos/planta.

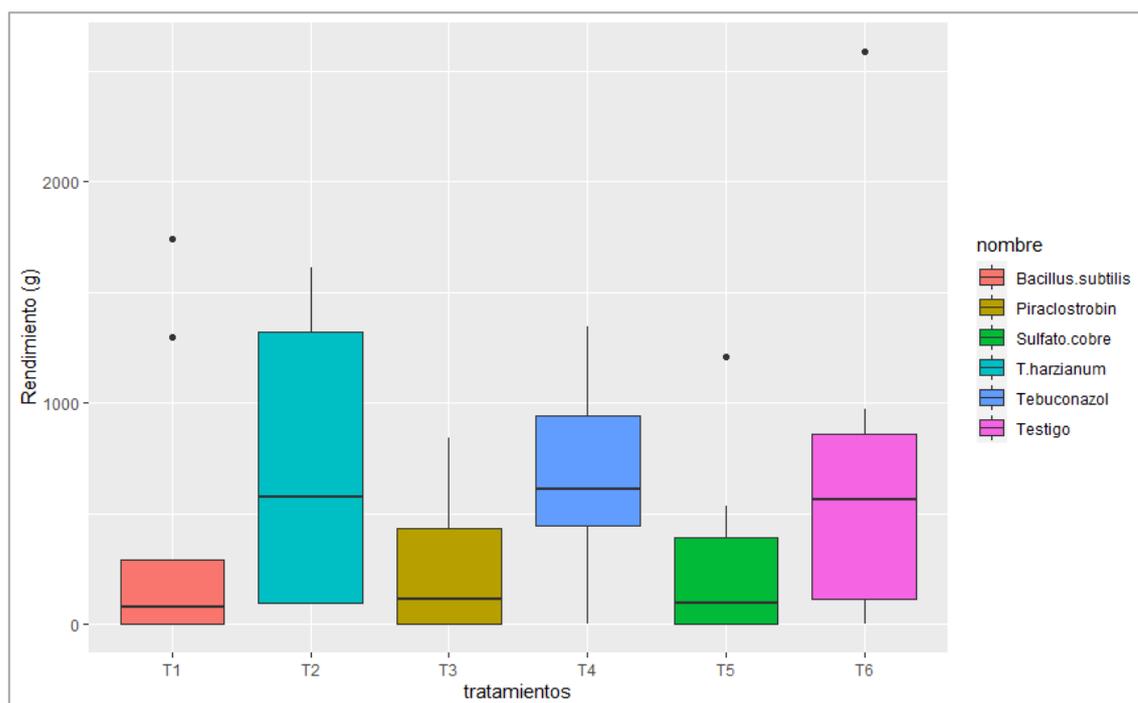
**Tabla 14-4:** Promedio de la variable número de frutos en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Tratamientos	Medias (%) y rangos de significancia <sup>1</sup>	
	57 días	
(T4) Tebuconazol	59,3	a
(T2) <i>Trichoderma harzianum</i>	52,6	ab
(T6) Testigo	51,1	ab
(T3) Piraclostrobin	40,7	ab
(T1) <i>Bacillus subtilis</i>	37	ab
(T5) Sulfato de cobre	19	b

<sup>1</sup> Letras iguales denotan medidas que no son significativamente diferentes según la prueba de Tukey al 5%

Realizado por: Cesen, L., 2022

#### 4.1.5.3. Rendimiento (g)



**Ilustración 7-4:** Diagrama de caja y bigotes de la variable rendimiento expresado en gramos (g) de acuerdo con los tratamientos establecidos

**Realizado por:** Cesen, L., 2022

El análisis de varianza para la variable rendimiento no mostró un efecto significativo entre tratamientos ( $P > 0,05$ ) (Tabla 15-4).

**Tabla 15-4:** ANOVA del rendimiento en los diferentes tratamientos para el control de enfermedades del filoplano en la tuna

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios	
		Rendimiento	p-valor
Total	17		
Tratamientos	5	399328	0,26 ns
Repetición	2	511537	0,19 ns
Error	10	298874	
<b>CV (%)</b>		<b>110,58</b>	

Diferencias significativas \*( $p < 0,05$ ), diferencias altamente significativas \*\*( $p < 0,01$ ), ns: no significativo ( $p > 0,05$ )

**Realizado por:** Cesen, L., 2022

## 4.2. Discusión

En el presente Trabajo de Integración Curricular se estableció como hipótesis la evaluación de diferentes tipos de control para el manejo de enfermedades relacionadas con el filoplano en el cultivo de tuna. Por lo que se aplicaron diferentes tratamientos: químicos y biológicos; dentro de los químicos se estableció el control mediante fungicidas con modo de acción multisio y sitio específico: sulfato de cobre dentro del primero, por otro lado, piraclostrobin y tebuconazol como fungicidas de acuerdo con el segundo grupo. Mientras que los tratamientos con carácter biológico estuvieron dominados por *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*.

Dentro del manejo de enfermedades en plantas se siguen los siguientes objetivos para alcanzar la meta establecida: (1) eliminar o reducir el inóculo inicial, (2) reducir la tasa de infección y (3) reducir el tiempo en que interactúan la población patógena y el hospedero (Nutter, 2007, p. 45). Además, conlleva tácticas de control que tienen por objeto disminuir ciertos impactos secundarios en el ambiente, que suele vincularse con evitar cualquier pesticida químico y llevar una agricultura orgánica, la misma que no es sostenible cuando se requieren altos rendimientos (Matthews et al., 2014, p. 5). Así, las interacciones que se dan en la naturaleza entre los factores bióticos pueden incluir relaciones de mutualismo, comensalismo, y también las denominadas interacciones parásitas que son ocasionadas por el contacto entre la planta y organismos patógenos (Lal et al., 2018, p. 1029). Por lo que es necesario identificar la enfermedad, y en consecuencia los agentes causales, para implementar un determinado manejo. En el caso de investigación del cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica*) establecido en Tunshi, se pudo observar que los síntomas expresados en las plantas correspondían en su mayoría con la denominada enfermedad “*Mancha negra del cladodio*” (ANEXO W). Los síntomas que generalmente se observan al inicio de esta enfermedad son lesiones marrones circulares o elípticas con un diámetro entre 1 a 3 cm (Garcete et al., 2017, p. 760). Estas mismas lesiones al cabo de un determinado tiempo pueden tomar color negro (Santana et al., 2020, p. 517). Además, que pueden presentar síntomas característicos de acuerdo con el agente causal: en el caso de *Fusarium* se puede observar secreciones de color blanquecino de la lesión (Alvarado y Santín, 2017, p. 10).

Los agentes causales relacionados con la enfermedad identificada en el cultivo de la tuna pueden variar de acuerdo con la región geográfica, la especie cactácea, entre otras. Así, en Souza et al. (2010), Lima et al. (2011), Barbosa et al. (2012), Flores-Flores et al. (2013) y Conforto et al. (2016) citados en Garcete et al. (2017, p. 761), han encontrado diferentes géneros de hongos patógenos involucrados en el desarrollo de la enfermedad MNC en la especie *Nopalea cochenillifera* en Brasil, donde se pueden resaltar los especies: *Alternaria alternata*, *A. tenuissima*, *Colletotrichum gloeosporioides*, *Curvularia lunata*, *Fusarium lunatum*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Neofusicoccum batangarum* y *Pseudocercospora opuntiae*. También en un estudio realizado en

Brasil en esta misma especie vegetal se ha determinado que diversas especies de *Colletotrichum* se hallan vinculadas con la expresión de dicha enfermedad, dichas especies identificadas son: *C. siamense*, *C. fructicola* y *C. karstii* (Oliveira et al., 2018, p. 252). Además, Flores et al. (2013, p. 550) concluyen que las lesiones en los cladodios de *Opuntia ficus-indica* están relacionados con los hongos patógenos: *Colletotrichum gloeosporioides*, *Alternaria alternata*, *Curvularia lunata*, *Fusarium lunatum*, *Fusarium solani*, *Pseudocercospora* sp. y *Pseudocercospora opuntiae*. Por otra parte, en nuestro país concretamente en la provincia de Loja se llevó a cabo un estudio de las enfermedades y plagas que afectan al cultivo de tuna en el que se identificó a los géneros *Fusarium* sp., *Alternaria* sp. y *Capnodium* sp. como hongos potencialmente patógenos (Alvarado y Santín, 2017, p. 14). En el caso del área de la presente investigación se encontraron los hongos pertenecientes a los géneros *Fusarium* sp., *Alternaria* sp., *Geotrichum* sp. y *Epicoccum* sp. como causantes de enfermedades relacionadas con el filoplano en el cultivo de tuna.

En cuanto al manejo de enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus-indica*), de manera particular en la antes mencionada enfermedad, se ha realizado algunos estudios investigativos. En el estudio realizado por Santana et al. (2020, p. 521) en *Nopalea cochenillifera* demostraron que piraclostrobin, metiram, metil-tiofanato y ciproconazol pueden ser utilizados para disminuir la incidencia de la enfermedad de la “*Mancha negra del cladodio*”; siendo el piraclostrobin el más eficiente tanto en controlar la enfermedad como en incrementar el rendimiento del cultivo. Por lo que en este ensayo experimental en la Estación Experimental Tunshi, se obtuvieron resultados similares a los citados anteriormente. Tanto el análisis de varianza para el control de tipo biológico como el químico mostraron diferencias significativas en las variables incidencia, severidad, de rendimiento y productividad y la eficacia de los productos fitosanitarios, en el control de las enfermedades del filoplano de la tuna. A pesar de que se obtuvieron diferencias significativas, con respecto de la variable incidencia, el tratamiento piraclostrobin mostró mejores resultados, seguido por tebuconazol y sulfato de cobre; mientras que, entre los tratamientos de carácter biológico, el mejor entre ellos correspondió a *Bacillus subtilis* con respecto a *Trichoderma harzianum*. Pero en definitiva los tratamientos planteados muestran diferencias significativas con respecto al tratamiento Testigo para el control de enfermedades del filoplano en la tuna.

Con respecto a la variable “*Incidencia*” se observó a lo largo del período de experimentación, transcurrido desde los 0 a 95 días, dos etapas bien definidas que corresponden a (1) aumento del progreso de la enfermedad y (2) disminución de la incidencia de la enfermedad. El primero abarcó un período de tiempo comprendido entre 0 y 63 días, mientras que para la segunda fase se estableció entre los 71 a 95 días. Siendo esta segunda fase en la que se encontraron diferencias

significativas entre tratamientos con respecto al testigo absoluto (Tabla 1-4 y Tabla 2-4): *Trichoderma harzianum*, *Bacillus subtilis*, sulfato de cobre, tebuconazol y piraclostrobin; todos ellos ordenados de acuerdo con su grado de significancia. Para explicar el motivo de la primera fase en la que se produjo en cierta forma un aumento de la incidencia de la enfermedad, se puede aducir a los siguientes factores: plantas susceptibles, agentes patógenos infecciosos y las condiciones del entorno (Agrios, 2005, p. 250). Así, Agrios (2005, pp. 250-251) señala que los dos primeros factores (plantas susceptibles y el agente infeccioso) permanecen inalterables en el hospedero por varios días, semanas o meses; mientras que el tercer factor (condiciones entorno) suele ser variable. De manera que las condiciones externas (climáticas) favorecieron al desarrollo de la enfermedad en las plantas evaluadas (ANEXOS P, Q y R), por ejemplo, que durante los días cálidos-húmedos existe la probabilidad de una mayor incidencia de la enfermedad, así como cuando las plantas son excesivamente fertilizadas con nitrógeno (N) (Agrios, 2005, p. 250). En el caso de *Fusarium* sp., la descarga del inóculo en *F. graminearum* se ve favorecido por el descenso de temperatura del aire y un aumento de la humedad relativa; la liberación de ascosporas se produce en temperaturas de entre 10-30 °C (Doohan et al., 2003, p. 756). El crecimiento de este hongo en PDA (Agar papa dextrosa) se ve afectado por la temperatura y la disponibilidad de agua, de manera general se puede inferir que el óptimo crecimiento se refleja en temperaturas comprendidas entre 20-30 °C (Doohan et al., 2003, p. 758). Asimismo, las especies del género *Alternaria* se desarrolla cuando la temperatura se encuentra entre 15-25 °C, la humedad relativa es mayor al 90%, velocidad del viento de 2-5 Km/h y cuando existe presencia de lluvias intermitentes (Ansari et al., 1988; Saharan, 1991; Awasthi y Kolte, 1989b; Verma y Saharan, 1994; Yadav y Brar, 2003; citados en Singh et al., 2016, p. 7).

Para la segunda fase observada (71-95 días), se pudo constatar mediante los análisis de varianza diferencias significativas que vendría a ser resultado de la constante aplicación de los productos de control fitosanitario; ya que como Balardin (2010, p. 23) menciona que en cultivos tradicionales suelen aplicarse entre 2 a 10 veces la recomendación de fungicidas, de manera que en este trabajo de investigación se observó dichas diferencias a partir de la cuarta aplicación en campo. Así, el tratamiento piraclostrobin mostró un mejor resultado con un valor medio de 19,61% de incidencia en comparación con el testigo que obtuvo un valor medio de incidencia del 51,24%, y además con sus contrapartes como tebuconazol, sulfato de cobre, *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*. Una vez establecido la diferenciación entre los agentes causales relacionados con las enfermedades en el filoplano del cultivo de tuna, la selección del mecanismo de acción de los fungicidas es determinante para controlarlo: existen fungicidas con modos de acción (MDA) que cumplieran con los siguientes parámetros: (1) Moléculas que inhiben el gen *Cyp51* en la biosíntesis del ergosterol (triazoles), (2) Moléculas que inhiben el gen citocromo b del complejo III de la

respiración (estrobilurinas), (3) Moléculas con actividad multi-sitio (inorgánicos Cu) y (4) Productos biológicos con múltiples de modos de acción (hongos y bacterias) (FRAC, 2022, pp. 7-17).

Los resultados muestran un efecto muy favorable para el tratamiento piraclostrobin tanto en incidencia, severidad, número de flores y una relativa significancia en el número de frutos. En cuanto tiene que ver con las enfermedades en plantas, tal como señalan Chen et al. (2012, p. 1495) los fungicidas pertenecientes al modo de acción: Inhibidores externos de la Quinona (QoI) y los Inhibidores de la demetilación (DMI) tienen un amplio espectro de actividad contra muchos hongos patógenos en diferentes cultivos. Asimismo, Barlett et al. (2002, p. 655) señalan que este tipo de fungicidas interrumpe la actividad de las mitocondrias de los hongos, por lo que impiden la germinación de esporas y reduce el crecimiento del micelio. En las pruebas curativas y de protección, de un estudio realizado por Chen et al. (2012, p. 1499) sobre el uso de piraclostrobin y epoxiconazol en el control de *Fusarium asiaticum* y *F. graminearum* en trigo, concluyen que piraclostrobin tiene un efecto significativo con una eficacia de más del 70%. Asimismo, en una investigación desarrollada por Mahoney et al. (2015, p. 288) sobre el efecto de este fungicida en el cultivo de soya en Ontario, demostraron que la severidad de la mancha marrón en la soya luego de la aplicación de piraclostrobin fue significativamente menor. En el caso del control de las enfermedades ocasionadas por *Alternaria* sp., los fungicidas QoI resultan ser muy efectivos, tal y como Molda et al. (2007, p. 1604) concluyen, en su investigación sobre el efecto de varios fungicidas en las etapas pre y postinoculación de *Alternaria* en hojas de cítricos, que piraclostrobin provee de mayor protección a las hojas en contraposición a los fungicidas basados en cobre, ya sea por su capacidad de absorción limitada en la hoja y su movimiento translaminar limitado. Además, señalan que se necesita que las aplicaciones de piraclostrobin sean si quiera una vez por semana, mientras que los fungicidas basados en cobre requieren ser aplicados dos veces por semana (Molda et al., 2007, p. 1603). Por lo que, Barlett et al. (2002, p. 655) concluye que los fungicidas basados en estrobilurinas tienen acción erradicante, es decir, ejerce un control de la enfermedad antes de que los síntomas sean visibles; y tiene un efecto antiesporulante. Los resultados positivos en la variable *Número de frutos y flores* se debe principalmente a la capacidad que tienen de influir en la calidad y rendimiento de los cultivos (Barlett et al., 2002, p. 656). Por ejemplo, Nelson y Meinhardt (2011) citados en Kanungo y Joshi (2012, p. 175), han observado incrementos en el rendimiento en los cultivos de trigo y maíz luego de la aplicación de estrobilurinas. Los investigadores Carucci et al. (2020, p. 1509) deducen que se debe la capacidad de bioestimulante en procesos metabólicos y fisiológicos de la planta. También es evidente que existe una relación directa entre la estimulación del crecimiento de las plantas y la reducción de la intensidad de la enfermedad por el uso de estrobilurinas, y también en la habilidad de captar y asimilar nitratos en cultivos de gramíneas (Köhle et al., 2003; citados en Kanungo y Joshi, 2014, p. 176). Para comprender el efecto que

tienen las estrobilurinas en el incremento de la biomasa y productividad, Kanungo y Joshi (2014, p. 176) deducen que se debe a la reducción y asimilación del nitrógeno (N), ya que este elemento es determinante en el incremento de la biomasa vegetal, por lo que el sitio objetivo de regulación de las estrobilurinas es NADH-nitrato reductasa, la misma que cataliza el nitrato en su forma asimilable (nitrito). Además, se conoce el efecto que tiene piraclostrobin en la actividad de ACC-sintasa (amino ciclopropano) y la síntesis de etileno en condiciones de estrés y senescencia en plantas de trigo, así los niveles de ácido indol-3-acético (IAA) son menores porque el fungicida descompone el precursor del IAA (Köehle et al., 2003; citados en Kanungo y Joshi, 2014, p. 176). Cabe destacar el hecho que las estrobilurinas tienen la capacidad de influir en el proceso de fijación de carbono (C) en la fotosíntesis, ya que alarga el promedio de vida de la hoja (Kanungo y Joshi, 2014, p. 176). A todo esto, los beneficios que presenta el uso de estrobilurinas se ha denominado como “*Efecto de reverdecimiento*”, ya que mantiene verde el área de la hoja hasta períodos tardíos de la temporada del cultivo (Barlett et al., 2002, p. 656).

De la misma forma, el tratamiento tebuconazol tuvo diferencias significativas sobre las variables de incidencia, severidad y número de frutos; por lo que se convierte en una opción a tomar en cuenta para el control de enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna. Así, en el caso de la Incidencia presentó un valor medio de 21,5 % y Severidad de 7,59 % al finalizar el estudio. Esto se debe a que en primer lugar tebuconazol es un triazol perteneciente al grupo de los Inhibidores de la demetilación (DMI), el mismo que es una subclase de los fungicidas que inhiben la biosíntesis del esterol de las membranas de los hongos (Wong y Midland, 2007, p. 1547). Por lo que el sitio objetivo de los fungicidas DMI es la inhibición de la enzima Cyp51, la misma que codifica la monooxigenasa P450, lo cual elimina el suministro de sustrato a la enzima (Kelly y Kelly, 2013; citados en Oliver y Hewitt, 2014, p. 100). En este estudio de investigación en el cultivo de la tuna, el tebuconazol ha mostrado tener control sobre las enfermedades en el filoplano, ya que mostró al final de la evaluación un 23% de incidencia de la enfermedad. Estos fungicidas, de acuerdo con Köller (1992) citado en Wong y Midland (2007, p. 1547), tienen control sobre amplia variedad de hongos: ascomicetes, basidiomicetes y zigomicetes. Y especialmente son eficientes en el control de gran variedad de enfermedades por su actividad post-infección contra dichos patógenos (Szkolnik, 1981; citado en Wong y Midland, 2007, p. 1547). Así, por ejemplo, se ha comprobado el efecto de triazoles como procloraz y tebuconazol son eficientes en el control de *F. graminearum* en trigo, donde se obtuvo una efectividad significativa en la disminución de la infección (Blandino et al., 2006, p. 200). También, de acuerdo con Mesterhazy et al. (2003) y Muellenborn et al. (2008) citados en Chen et al. (2012, p. 1495) y Ahemad y Saghir (2011, p. 267), los fungicidas DMI como el tebuconazol tienen efectos positivos en el control de *Fusarium* sp.

El tratamiento correspondiente a sulfato de cobre también mostró diferencias significativas en cuanto tiene que ver con las variables de daño de la enfermedad: incidencia y severidad. La primera con un porcentaje de incidencia menor (24,73%) con respecto a los dos tratamientos químicos antes mencionados, pero en cuanto a la severidad fue el mejor tratamiento en el control con una media de 7,7 %. Y, además no tuvo un grado de significatividad con las variables número de flores y frutos. Los fungicidas basados en cobre (Cu) sólo se los utiliza como protectores, es decir, no poseen una actividad sistémica o curativa; por lo que el manejo de la enfermedad se basa en disminuir la acumulación de inóculo en los tejidos susceptibles (Lamichhane et al., 2018, p. 2). Tal como menciona Lamichhane et al. (2018, p. 2) el cobre fijo (Cu) libera sus iones de manera lenta, lo cual contribuye a: (1) reducir la fitotoxicidad del producto químico y (2) una mejor actividad residual contra la enfermedad. Para lo cual, Turnlund et al. (1983) citados en Husak (2015, p. 39) menciona que los iones de cobre (Cu) son absorbidos de mejor manera cuando se encuentran en forma de sales, gluconato, acetato o sulfato. La manera en que actúan estos fungicidas luego de la absorción por parte del microorganismo patógeno es mediante la unión de iones de cobre ( $\text{Cu}^{+2}$ ) a distintos grupos químicos en distintas proteínas (imidazoles, fosfatos, sulfhídricos e hidroxilos), ocasionando alguna inhibición en estas estructuras, lo que provocará daños en las células de esos organismos (Mirkovic et al., 2015; citados en Husak, 2015, p. 44). Por ello, los fungicidas basados en cobre (Cu) tienen un extenso uso en el control de enfermedades bacterianas, las ocasionadas por hongos y oomicetes (Lamichhane et al., 2018, p. 2). La fitotoxicidad de estos compuestos cúpricos se genera cuando en contacto con el agua existe un exceso de absorción de iones cobre por parte de la planta; algunos síntomas que se presentan en las hojas son: clorosis, manchas necróticas, quemaduras en los bordes de las hojas y oscurecimiento de superficies axiales (Lamichhane et al., 2018, p. 2). Una alternativa a las consecuencias no deseadas al utilizar los compuestos a base de cobre ha sido el desarrollo de nanopartículas de cobre (Cu) (Malandrakis et al., 2019, p. 293). La importancia de las nanopartículas radica en una solución a los problemas ecológicos que generan los fungicidas químicos sintéticos, ya que tiene propiedades como (1) baja tasa de liberación del ingrediente activos y (2) mayor eficacia en dosis bajas (Malandrakis et al., 2019, p. 293).

Por otra parte, los tratamientos biológicos: *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* también tuvieron un resultado significativo en el control de las enfermedades del filoplano de la tuna. Estos ocupan los últimos lugares entre los tratamientos evaluados a 95 días con respecto a la variable incidencia y severidad. Así, Rahman (2016, p. 113) menciona que los microorganismos de control biológico son usados exitosamente contra patógenos por su habilidad de suprimirlos, a través de varios mecanismos como: competición, antibiosis y la inducción de resistencia en el hospedero. En el caso de *Bacillus* spp., son usados para tratar enfermedades relacionadas con la rizósfera y a nivel foliar en una gran variedad de cultivos; debido a la habilidad que tienen sus esporas de

resistir a cambios de temperatura, pH no favorable, la falta de nutrientes y agua (Rahman, 2016, p. 113). En la investigación presente se utilizó la cepa *Bacillus subtilis* QST 713, la cual según Rahman (2016, p. 113) ha mostrado ser un eficiente producto en controlar enfermedades en diversas condiciones ambientales y en varios cultivos, por ello se lo ha considerado como parte importante en los planes de manejo integrado de enfermedades. Una de las claves para entender el éxito de *Bacillus* como agente de biocontrol es debido a la alta capacidad de supervivencia de sus endosporas, las cuales según informan Cano y Borucki (1995) citados en Rahman (2016, p. 114) pueden permanecer en períodos prolongados de dormancia, y se ha llegado a reactivar esporas de millones de años de antigüedad. En la supresión de los patógenos mediante *Bacillus*, Chen et al. (2006, p. 4024) sugieren que se debe a la inhibición competitiva y a la producción de antibióticos naturales. Además, se debe a la producción de una extensa gama de metabolitos secundarios por antibiosis, estos compuestos antimicrobianos tienen estructuras cíclicas, hidrofóbicas, con enlaces D-aminoácidos y tioéter intramoleculares (Caulier et al., 2019, p. 2). La actividad de control biológico de *Bacillus subtilis* está regulada por tres factores: (1) la vulnerabilidad del hospedero, (2) la virulencia del patógeno y (3) las condiciones ambientales (Hashem et al., 2019, p. 1293). Con respecto al segundo punto (2), Shoda (2000) citado en Hashem et al. (2019, p. 1293) menciona que la bacteria tiene capacidad de limitar el crecimiento de otros microorganismos, debido a la producción de enzimas degradativas de la pared celular y otros metabolitos. Se conoce que sintetizan lipopéptidos antibióticos como fengicina, surfactina e iturina (Hashem et al., 2019, p. 1293). De acuerdo con Romero et al. (2004, pp. 263-264) estos compuestos actúan directamente en la supresión de agentes patógenos mediante la inducción de resistencia en la planta hospedera. El número de la dosis de aplicación de *B. subtilis* no es un factor relevante o significativo, ya que como Reiss y Jørgensen (2017, pp. 6-7) observaron en su experimento en el control de *Puccinia striiformis* no se dio una correlación entre la dosis y la respuesta, ya que esta bacteria actúa inmediatamente en la inducción de resistencia adquirida de la planta; y recomiendan que se apliquen 4 veces para obtener resultados en cuanto tiene que ver con el control de la enfermedad.

En cuanto al tratamiento de *Trichoderma harzianum*, los niveles de incidencia en el control de enfermedades del filoplano de la tuna también tuvo diferencias significativas, pero se ubicó en último lugar con respecto a los demás tratamientos, exceptuando el Testigo. Su casi falta de efectividad en pruebas de campo, a diferencia de aquellas que son *in vitro* donde se obtienen resultados favorables, se debe a la tasa de supervivencia y densidad de población en la rizósfera (Raaijmakers et al., 2009; Zhang et al., 2013<sup>a</sup>; citados en Sharma y Sharma et al., 2020, p. 169). Además, se debe tomar en cuenta que en esta investigación el hongo fue aplicado vía foliar; y tal como menciona Tyśkiewicz et al. (2022, p. 2), es un hongo que prolifera en muchos ecosistemas edáficos con gran variedad de condiciones climáticas. La actividad saprofítica de las cepas *Trichoderma* se

encuentra en un intervalo de 15 a 21 °C (Tyśkiewicz et al., 2022, p. 3). A su vez el crecimiento de este hongo se ve influenciado por las condiciones de humedad, ya que afectan la germinación de esporas; también tiene un rango de pH entre 2 a 6, con un óptimo de 4 (Mukhopadhyay y Kumar, 2020, p. 3). Los mecanismos por los que *Trichoderma* actúa para disminuir la incidencia de la enfermedad son: (1) Micoparasitismo, (2) Antibiosis, (3) Competición y (4) Asociación con el patógeno (Swain y Mukherjee, 2020, pp. 156-159). En el primer caso, este género de hongos (*Trichoderma*) es considerado micoparásito necrótrofo; por lo que detecta a los patógenos y coloniza su estructura por ramificaciones alrededor de las hifas del hospedero: una forma de apresorio que han desarrollado para penetrar a los patógenos (Tyśkiewicz et al., 2022, p. 5). Esta penetración se ve facilitada por la producción de enzimas tóxicas que degradan la pared celular de los hongos patógenos: glucanasas, quitinasas y proteasas (Harman et al., 2004; citados en Swain y Mukherjee, 2020, p. 156). La antibiosis se refiere a la producción de metabolitos secundarios o antibióticos de bajo peso molecular con propiedades de inhibir el crecimiento de los agentes patógenos (Swain y Mukherjee, 2020, p. 156); como, por ejemplo: liovirina, gliotoxina, viridina, konigininas, pironas y peptaiboles (Howell, 2003 y Harman et al., 2004; citados en Swain y Mukherjee, 2020, p. 156). A nivel de competencia, estos agentes de biocontrol lo hacen por nutrientes y espacio con los patógenos (Mukhopadhyay y Kumar, 2020, p. 4); colonizando el hábitat en que se desarrollan, ya sea la rizósfera, filosferas o tejidos vegetales (Ghorbanpour et al., 2018; citados en Tyśkiewicz et al., 2022, p. 8). Por ejemplo, en un estudio realizado por Mokhtar (2013) citados en Tyśkiewicz et al. (2022, p. 9) el género *Trichoderma* controla *in vitro* a hongos patógenos como *Fusarium acuminatum*, *Alternaria alternata* y *Alternaria infectoria* mediante la privación de nutrientes.

A esto debemos añadir que tanto los tratamientos de tipo químico como biológico influyen en la inducción de resistencia en las plantas tratadas. Cuando los agentes patógenos atacan a la planta, estas activan mecanismos para sobrellevarlos como la resistencia sistémica adquirida (RSA), que da lugar a la producción de proteínas relacionadas con la patogénesis (PR) (Lal et al., 2018, p. 1042). También existe el fenómeno de resistencia sistémica inducida (RSI), la cual no está relacionada con lesiones necróticas en los tejidos como en RSA, y depende de la percepción de etileno y ácido jasmónico, y no se encuentra asociada con la expresión de genes PR (Hammerschmidt, 2014, p. 3). El mecanismo RAS actúa sistémicamente tanto en los órganos infectados como en los que no existe infección, de manera que proporciona una barrera de defensa a largo plazo que abarca una gran variedad de agentes patógenos (Lal et al., 2018, pp. 1058-1059). De acuerdo con Perazzolli et al. (2012) citados en Walters y Bennett (2014, p. 157), descubrieron que la cepa de *Trichoderma harzianum* T39 induce resistencia contra mildiu en la vid, ya que tiene un efecto en el reconocimiento de genes microbianos y aumenta la expresión de genes de defensa luego del ataque del patógeno; pero observaron que esta cepa reduce más no eliminan los síntomas de mildiu. De acuerdo con

Rahman (2016, 120), la resistencia inducida por *Bacillus* sp. es más resistente con respecto a los otros modos de acción (competición o antibiosis) de esta bacteria en la protección de las plantas, ya que este período se prolonga cuando la población bacteriana disminuye, y abarca todo la estructura vegetal de la planta. Los elicitores que se han encontrado en las bacterias de *Bacillus* sp. para producir la inducción de resistencia son: compuestos volátiles (2,3-butanediol) y lipopéptidos (Ryu et al., 2004; citados en Rahman, 2016, p. 120). Por otra parte, el uso de fungicidas basados en Cobre (Cu), tales como sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), además de poseer una actividad biocida, también cuenta con la habilidad de generar una respuesta de resistencia en las plantas tratadas; así, en la vid, luego de la aplicación provoca una liberación de fitoalexinas que suprime significativamente a los patógenos *Botrytis cinerea* y *Plasmopara viticola* (Aziz et al., 2006; citados en Tayeh et al., 2014, p. 216). Los fungicidas, en algunos casos concretos, poseen otro modo de acción que corresponde a inducir resistencia sistémica en las plantas tratadas, tal es el caso de algunas estrobilurinas como azoxystrobin y piraclostrobin; este último ha demostrado tener una actividad de elicitador (Lyon, 2014, pp. 18-19). La eficacia de la inducción de resistencia en las plantas depende directamente de mecanismos previos de resistencia en la misma, a diferencia de los fungicidas que actúan en el patógeno objetivo; de manera que existen factores tales como ambientales, de estrés biótico y abiótico, del patógeno y otros organismos que interactúan con la planta (Newton y Pons-Kühnemann, 2014, pp. 144-145).

#### **4.3. Comprobación de la hipótesis**

De acuerdo con los resultados obtenidos para las variables incidencia (%), severidad (%), número de frutos por planta y número de flores por planta, se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ ). Es decir, en este Trabajo de Integración Curricular se probó que al menos uno de los tipos de control propuestos mitiga la acción de los hongos fitopatógenos asociados a enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica* L.). Dichos controles corresponden a los tres planteados en el mismo: Control químico, biológico y convencional.

## **CAPÍTULO V**

### **5. MARCO PROPOSITIVO**

#### **5.1. Propuesta**

No se aplica para este Trabajo de Integración Curricular debido a que es un proyecto de investigación.

## CAPÍTULO VI

### 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1. Conclusiones

Al finalizar la evaluación, es decir a los 95 días, se obtuvo que los tratamientos pertenecientes al control químico (piraclostrobin y tebuconazol) fueron los que mejor contribuyeron a disminuir la incidencia de enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica* L.). Los valores de incidencia de la enfermedad fueron 19,6 y 21,5% respectivamente. De estos el mejor tratamiento es piraclostrobin. Por otro lado, el tipo de control convencional (sulfato de cobre) obtuvo un porcentaje de incidencia de 25,7%. Finalmente, el tipo de control biológico (*Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*) se ubicaron últimos con respecto a los demás, con valores de incidencia de 33,8 y 32,7% respectivamente. Por lo que se concluye que el tratamiento de piraclostrobin, del control químico propuesto fue el que mejor resultados se obtuvo en cuanto tienen que ver con la incidencia de la enfermedad.

Con respecto a la severidad de la enfermedad, tanto el tipo de control convencional y químico tuvieron mejores resultados con respecto a su contraparte de tipo biológico. Siendo, en primer lugar, el tratamiento de sulfato de cobre con un porcentaje de severidad de 5%; seguido por el tratamientos de control químico, piraclostrobin, con un valor de 5,7%. Luego, se ubicó el tratamiento de carácter biológico, *Bacillus subtilis*, con un porcentaje de severidad de 7,1%. En adición, el tratamiento químico tebuconazol ocupó el siguiente lugar con un valor de 7,5%. En último lugar, y con bajas expectativas de acuerdo con la severidad, fue el tratamiento de tipo biológico *Trichoderma harzianum* con una valor correspondiente a 10,8%. De modo que el mejor tratamiento en el manejo de enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna, en tanto tiene relación con la severidad, fue el sulfato de cobre (control convencional).

La eficacia de los tratamientos, tanto biológicos como químicos, tuvieron valores marcados que diferenciaban un grupo del otro. En el caso del tratamiento químico, piraclostrobin y tebuconazol, obtuvieron valores de eficiencia correspondientes a 61 y 58% respectivamente. Seguido se ubicó el control convencional, sulfato de cobre, con un porcentaje de 49%. Finalmente, se ubicaron los tratamientos del control biológico, *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum*, con valores de 32 y 33 % respectivamente. Por lo que el tratamiento con la mejor eficiencia fue piraclostrobin, perteneciente al control químico, para el control de enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica* L.).

Adicionalmente, con relación a las variables de productividad como número de flores y frutos, hubo una respuesta positiva por parte del tratamiento tebuconazol para número de frutos, con un valor de 59 frutos en promedio; y piraclostrobin para número de flores, con un valor promedio de casi 2 flores.

Se puede concluir de manera general que el tipo de control químico y convencional, cuyos productos basados en los ingredientes activos de piraclostrobin, tebuconazol y sulfato de cobre, tienen potencial de control de enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna (*Opuntia ficus indica* L.). Más, en un manejo integrado donde se busca alternativas agroecológicas para el control de estas, los tratamientos de control biológico: *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis*, también mostraron potencial en el manejo de enfermedades del filoplano de la tuna.

## 6.2. Recomendaciones

Se recomienda el uso de Piraclostrobin y Sulfato de cobre para el manejo de enfermedades del filoplano en el cultivo de tuna, por su facilidad de uso y resultados eficaces.

Estudiar diferentes cantidades de aplicaciones de los mejores tratamientos obtenidos en este estudio: tal es el caso de piraclostrobin, tebuconazol, sulfato de cobre y *Bacillus subtilis*.

Evaluar el uso de coadyuvantes en mezcla con los tratamientos obtenidos (piraclostrobin, tebuconazol, sulfato de cobre y *Bacillus subtilis*).

Evaluar el efecto de la aplicación *Trichoderma harzianum* y *Bacillus subtilis* aplicado al suelo sobre el nivel de daño de los patógenos del filoplano en el cultivo de tuna. Esto debido a que se conoce su interacción con las raíces de las plantas, proporcionando una barrera contra los microorganismos patógenos.

Realizar un estudio sobre el efecto de los mejores tratamientos obtenidos (piraclostrobin, tebuconazol, sulfato de cobre y *Bacillus subtilis*) sobre las variables que determinan la calidad del fruto de la tuna: contenido de ácidos solubles, acidez titulable, textura e índice de madurez.

.

## **GLOSARIO**

### **Abreviaturas**

**CAM:** Metabolismo Ácido de las Crasuláceas

**FAO:** Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**UNDP/UNSO:** United Nations Development Programme. Office to Combat Desertification and Drought: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. Oficina de Lucha contra la Desertificación y la Sequía

### **Términos**

**ANTAGONISTAS:** Los organismos antagonistas de control biológico son definidos como enemigos naturales que tienen la habilidad de propagarse y establecerse en el entorno para suprimir las poblaciones plaga (Collinge et al., 2022, p. 1025).

**CICLO DE LA ENFERMEDAD:** se refiere a una serie de eventos sucesivos que propician el desarrollo y prevalencia de la enfermedad; los eventos corresponden a la inoculación, penetración, establecimiento, colonización, crecimiento, reproducción, dispersión y supervivencia del patógeno en ausencia del hospedero (Agrios, 2005, p. 80).

**ENFERMEDAD:** Para Agrios (2005, p. 5) y Shew D., y Shew B. (2016, pp. 5-6), las plantas presentan alguna enfermedad cuando se ven afectadas en sus procesos o funciones, ocasionadas por patógenos o determinadas condiciones del medio, por ello las causas de la enfermedad provendrían de agentes patógenos o por las condiciones ambientales.

**FUNGICIDA:** Los fungicidas son agentes, ya sea de origen natural o sintético, que actúan con la finalidad de proteger a las plantas contra agentes fúngicos y/o erradicar la infección fúngica de la planta (Oliver y Hewitt, 2014, p. 1).

**INCIDENCIA:** Es el número o proporción de unidades vegetales que se encuentran enfermas (esto puede ser una parte de la planta como hojas, tallos y frutos) en relación con el número total de unidades vegetales examinadas (Agrios, 2005, p. 273).

**INFECCIÓN:** Es el proceso en el que el patógeno entra en contacto con el tejido vegetal susceptible del hospedero (Agrios, 2005, p. 89).

**INOCULACIÓN:** Es el proceso mediante el cual la planta hospedera y el agente patógeno entran en contacto (Agrios, 2005, p. 80).

**PATÓGENO:** Son parásitos que se desarrollan o viven a expensas del hospedero, algunos de estos microorganismos parásitos pueden causar leves daños en el hospedero, más se convierten en patógenos cuando perjudican directamente el desarrollo normal de la planta; muchos de estos fitopatógenos solo atacan a cierto rango de hospederos, o pueden poseer un rango amplio de huéspedes (Shew D., y Shew B., 2016, pp. 9-10).

**SEVERIDAD:** Se refiere a la proporción de superficie o a la cantidad de tejido enfermo sobre la superficie total del tejido vegetal (Agrios, 2005, p. 273).

**SIGNO:** de acuerdo con Agrios (2005, p. 397), el patógeno suele producir algunas estructuras sobre la superficie del área con manifestaciones de enfermedades; estas estructuras incluyen micelio, esclerocios, cuerpos fructíferos y esporas, y a esto en terminología de las enfermedades en plantas se les denomina signos.

**SÍNTOMA:** El síntoma se refiere a cualquier manifestación de la enfermedad en la planta, por tanto, es una apreciación exterior que puede ser detectada por medio de un diagnóstico visual (Arenas, 2021, p. 56).

## BIBLIOGRAFÍA

**ABASCAL, K., YARNELL, E.** 98 - *Opuntia* Species (Prickly Pear), Editor(s): Joseph E. Pizzorno, Michael T. Murray, *Textbook of Natural Medicine (Fifth Edition)*, Churchill Livingstone, 2020, Pages 752-755.e2, ISBN 9780323523424. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-43044-9.00098-4>

**ABBOTT, W.** “A Method of Computing the Effectiveness of an Insecticide”. *Journal of Economic Entomology*, [en línea], 1925, 18 (2), pp. 265-267, [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1093/jee/18.2.265a>

**AGRIOS, G.** Chapter eight - PLANT DISEASE EPIDEMIOLOGY, Editor(s): George N. Agrios, *Plant Pathology* [en línea], 2005, 5ta Edición, Academic Press, 2005, ISBN 9780120445653, pp. 265-291. [Consulta: 29 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047378-9.50014-2>

**AGRIOS, G.** Chapter eleven - Plant diseases caused by fungi, Editor(s): George N. Agrios, *Plant Pathology* [en línea], 2005, 5ta Edición, Academic Press, ISBN 9780120445653, pp. 385-614. [Consulta: 25 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047378-9.50017-8>

**AGRIOS, G.** Chapter nine - CONTROL OF PLANT DISEASES, Editor(s): George N. Agrios, *Plant Pathology* [en línea], 2005, 5ta Edición, Academic Press, 2005, ISBN 9780120445653, pp. 293-353. [Consulta: 29 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047378-9.50015-4>

**AGRIOS, G.** Chapter one - Introduction, Editor(s): George n. Agrios, *Plant Pathology* [en línea], 2005, 5ta Edición, Academic Press, ISBN 9780120445653, pp. 3-75. [Consulta: 24 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047378-9.50007-5>

**AGRIOS, G.** Chapter seven - ENVIRONMENTAL EFFECTS ON THE DEVELOPMENT OF INFECTIOUS PLANT DISEASE, Editor(s): George N. Agrios, *Plant Pathology* [en línea], 2005, 5ta Edición, Academic Press, 2005, ISBN 9780120445653, pp. 265-291. [Consulta: 12 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047378-9.50013-0>

**AGRIOS, G.** Chapter two - Parasitism and disease development, Editor(s): George N. Agrios, *Plant Pathology* [en línea], 2005, 5ta Edición, Academic Press, ISBN 9780120445653, pp. 77-104. [Consulta: 26 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047378-9.50008-7>

**AHEMAD, M., & SAGHIR, M.** “Effect of tebuconazole-tolerant and plant growth promoting *Rhizobium* isolate MRP1 on pea–*Rhizobium* symbiosis”. *Scientia Horticulturae* [en línea], 2011, 129 (2), pp. 266-272, ISSN 0304-4238. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.036>

**ALPEROVITCH-LAVY, A., & HORWITZ, B.A.** Can We Define an Experimental Framework to Approach the Genetic Basis of Root Colonization? In: Sharma, A., Sharma, P. (eds) *Trichoderma* [en línea], 2020, Springer, Singapore, ISBN 978-981-15-3321-1, pp. 1-17. [Consulta: 1 septiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1_1)

**ALVARADO, V. & SANTÍN, J.** “Plagas y enfermedades de la tuna *Opuntia ficus indica* L. en las condiciones ecológicas de la provincia de Loja”. *Bosques latitud cero* [en línea], 2017, (Ecuador) 7(1), pp. 1 – 17. [Consulta: 16 abril 2022]. ISSN 2528-7818. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/169/165>

**ÁLVAREZ, P., & MARÍN.** Diagrama de severidad de la mancha negra del cladodio en el cultivo de tuna, 2022, [En proceso de publicación]

**ARBA, M.** The Potential of Cactus Pear (*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.) as Food and Forage Crop. In: Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R. (eds) *Emerging Research in Alternative Crops. Environment & Policy* [en línea], 2020, 58, ISBN 978-3-319-90472-6, pp.335-357. [Consulta: 17 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-90472-6\\_15](https://doi.org/10.1007/978-3-319-90472-6_15)

**ARENAS, A.** *Fitopatología* [en línea]. Tercera edición. Madrid – España: Editorial Síntesis, 2021. ISBN: 9788413576169. [Consulta: 27 abril 2022]. Disponible en: <https://www.sintesis.com/data/indices/9788490772829.pdf>

**BALARDIN, R.** Factors Affecting Fungicide Efficacy in the Tropics. In Odile Carisse (Ed.), *Fungicides* [en línea], 2010, IntechOpen, ISBN 978-953-51-4540-0, pp. 23-38. [Consulta: 12 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.5772/13583>

**BARTLETT, D., et al.** “The strobilurin fungicides”. *Pest Management Science* [en línea], 2002, 58(7), pp. 649-662. [Consulta: 4 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/ps.520>

**BELTRÁN, J. & OCHOA, C.** Figo da india—Opuntia spp., Editor(es): Sueli Rodrigues, Ebenezer de Oliveira Silva, Edy Sousa de Brito, *Exotic Fruits, Academic Press*, 2018, pp. 187-201, ISBN 9780128031384. [Consulta: 09 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803138-4.00024-1>

**BLANDINO, M., et al.** “Strategies for the chemical control of Fusarium head blight: Effect on yield, alveographic parameters and deoxynivalenol contamination in winter wheat grain”. *European Journal of Agronomy* [en línea], 2006, 25(3), ISSN 1161-0301, pp. 193-201. [Consulta: 12 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2006.05.001>

**BOTHA, A. & BOTES, A.** Geotrichum. Editor(s): Carl A. Batt, Mary Lou Tortorello, *Encyclopedia of Food Microbiology* (Segunda Edición), Academic Press [en línea], 2014, pp. 88-93, ISBN 9780123847331. [Consulta: 26 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384730-0.00146-4>

**BURCHETT, S., & BURCHETT, S.** Plant Pathology [en línea], 2017, Garland Science, ISBN 9781315144924. [Consulta: 25 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9781315144924>

**CARUCCI, F., et al.** “Strobilurin Effects on Nitrogen Use Efficiency for the Yield and Protein in Durum Wheat Grown Under Rainfed Mediterranean Conditions”. *Agronomy* [en línea], 2020, 10(10), pp. 1508-1528. [Consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy10101508>

**CAULIER, S., et al.** “Overview of the Antimicrobial Compounds Produced by Members of the Bacillus subtilis Group”. *Frontiers in Microbiology* [en línea], 2019, 10(302), pp. 1-19. [Consulta: 16 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00302>

**CHEN, X., et al.** “Structural and Functional Characterization of Three Polyketide Synthase Gene Clusters in Bacillus amyloliquefaciens FZB 42”. *Journal of Bacteriology* [en línea], 2006, 188(11), pp. 4024-4036. [Consulta: 15 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1128/JB.00052-06>

**CHEN, Y., et al.** “Integrated Use of Pyraclostrobin and Epoxiconazole for the Control of Fusarium Head Blight of Wheat in Anhui Province of China”. *The American Phytopathological Society* [en línea], 2012, 96(10), ISSN 1943-7692, pp. 1495-1500. [Consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1094/PDIS-01-12-0099-RE>

**COLLINGE, D., et al.** “Biological control of plant diseases – What has been achieved and what is the direction?”. *Plant Pathology* [en línea], 2022, pp. 1024-1047. [Consulta: 29 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ppa.13555>

**COOKE, B.** Disease assessment and yield loss. In: Cooke, B., Jones, D., Kaye, B. (eds). *The Epidemiology of Plant Diseases* [en línea], 2006, Springer, Dordrecht, ISBN 978-1-4020-4581-3, pp. 43-80. [Consulta: 29 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/1-4020-4581-6\\_2](https://doi.org/10.1007/1-4020-4581-6_2)

**DELGADO, A., et al.** Fertilizers. In: Villalobos, F., Fereres, E. (eds) *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* [en línea], 2016, Springer, ISBN 978-3-319-46116-8, pp. 321-339. [Consulta: 23 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8\\_23](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_23)

**DOOHAN, F., et al.** “Influence of climatic factors on Fusarium species pathogenic to cereals”. In: Xu, X., Bailey, J.A., Cooke, B.M. (eds). *Epidemiology of Mycotoxin Producing Fungi* [en línea], 2003, Springer, Dordrecht, ISBN 978-94-017-1452-5, pp. 755-768. [Consulta: 12 septiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-94-017-1452-5\\_10](https://doi.org/10.1007/978-94-017-1452-5_10)

**DRUZHININA, I., & KUBICEK, C.** Chapter 5-Ecological Genomics of Trichoderma. In: Francis Martin (Ed). *The Ecological Genomics of Fungi* [en línea], 2013, Wiley Online Library, pp. 89-116. [Consulta: 16 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118735893.ch5>

**DUBROVSKY, J. & NORTH, G.** “Root Structure and Function”, in Nobel (ed.), *Cacti: Biology and Uses* [en línea], 2002, Oakland, CA, California Scholarship Online, pp.41-56. [Consulta: 16 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1525/california/9780520231573.003.0003>

**EDVAN, R. et al.** Resilience of cactus pear genotypes in a tropical semi-arid region subject to climatic cultivation restriction. *Sci Rep* [en línea], 2020, 10 (10040), pp.1-10. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66972-0>

**EL-MOSTAFA, K. et al.** Nopal Cactus (*Opuntia ficus-indica*) as a Source of Bioactive Compounds for Nutrition, Health and Disease. *Molecules* [en línea], 2014, 19 (9), pp. 14879-14901. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/molecules190914879>

**ELOUAFI, I., et al.** “The Contribution of Alternative Crops to Food Security in Marginal Environments”. In: Hirich, A., Choukr-Allah, R., Ragab, R. (eds). *Emerging Research in Alternative Crops. Environment & Policy* [en línea], 2020, 58, Springer, Cham, ISBN 978-3-319-90472-6. [Consulta: 5 septiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-90472-6\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-90472-6_1)

**ERAZO, A. et al.** “Caracterización socio productivo de la *Opuntia ficus indica* (Tuna) en las comunidades del cantón Guano”. *Bosques Latitud Cero* [en línea], 2021, (Ecuador) 11(1), pp. 155-165. [Consulta: 2 mayo 2022]. Disponible en: <https://revistas.unl.edu.ec/index.php/bosques/article/view/870>

**ESTACIÓN AGROMETEOROLÓGICA DE LA FACULTAD DE RECURSOS NATURALES.** Boletín Mensual Meteorológico del mes Mayo, Junio y Julio 2022 [en línea], 2022, [Consulta: 18 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.espoch.edu.ec/index.php/estaci%C3%B3n-meteorol%C3%B3gica.html>

**FETO, N.** (2016). *Bacillus* spp. and Their Biotechnological Roles in Green Industry. In: Islam, M., Rahman, M., Pandey, P., Jha, C., Aeron, A. (eds). *Bacilli and Agrobiotechnology* [en línea], 2016, Springer, Cham., ISBN 978-3-319-44409-3, pp.143-162. [Consulta: 30 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3_7)

**FLORES, A., et al.** “Reproducción de cochinilla silvestre *Dactylopius opuntiae* (Homóptera: Dactylopiidae)”. *Revista mexicana de biodiversidad* [en línea], 2006, (México) 77(1), pp 97-102. [Consulta: 13 abril 2022]. ISSN 2007-8706. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-34532006000100011](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-34532006000100011)

**FLORES, R., et al.** “Identification of Fungal Species Associated with Cladode Spot of Prickly Pear and Their Sensitivity to Chitosan”. *Journal of Phytopathology* [en línea], 2013, 161(7), pp. 544-552. [Consulta: 12 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/jph.12104>

**FUNGICIDE RESISTANCE ACTION COMMITTEE.** FRAC Code List 2022: Fungal control agents sorted by cross-resistance pattern and mode of action (including coding for FRAC Groups on product labels) [en línea], 2022. [Consulta: 2 septiembre 2022]. Disponible en: <https://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac-code-list-2022--final.pdf>

**GARCETE, J., et al.** “Sample size for assessment of cladode brown spot in prickly pear cactus”. *European Journal of Plant Pathology* [en línea], 2017, 149, pp. 759-763. [Consulta: 12 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10658-017-1213-x>

**GEYDAN, T. & MELGAREJO, L.** “Metabolismo ácido de las crasuláceas”. *Acta Biológica Colombiana* [en línea], 2005, (Colombia) 10(2), pp. 3-13. [Consulta: 20 abril 2022]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v10n2/v10n2a01.pdf>

**GILMAN, I., & EDWARDS, E.** “Crassulacean acid metabolism”. *Current Biology* [en línea], 2020, 30(2), pp.57-62, ISSN 0960-9822. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2019.11.073>

**GRANATA, G., et al.** “Enfermedades del nopal”. *FAO: Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* [en línea], 2018, (Argentina), pp. 119-127. [Consulta: 16 abril 2022]. ISBN 978-92-5-130494-5 (FAO). Disponible en: <https://www.fao.org/3/i7628es/i7628es.pdf>

**GRIFFITHS, H. & MALES, J.** “Succulent plants”. *Current Biology* [en línea], 2017, 27(17), pp. 890-896. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.03.021>

**GUPTA, R.** A Wonder Plant; Cactus Pear: Emerging Nutraceutical and Functional Food. In: Khemani, L., Srivastava, M., Srivastava, S. (eds) *Chemistry of Phytopotentials: Health, Energy and Environmental Perspectives* [en línea], 2012, Berlín, ISBN 978-3-642-23394-4, pp. 183-187. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-642-23394-4\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-642-23394-4_39)

**HAMMERSCHMIDT, R.** Chapter 1- Introduction: Definitions and Some History. In: Dale R. Walters, Adrian C. Newton, Gary D. Lyon (Eds). *Induced Resistance for Plant Defense* [en línea], 2014, 2da Edición, John Wiley & Sons, ISBN 9781118371848, pp. 1-10. [Consulta: 18 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118371848.ch1>

**HASHEM, A., et al.** “*Bacillus subtilis*: A plant-growth promoting rhizobacterium that also impacts biotic stress”. *Saudi Journal of Biological Sciences* [en línea], 2019, 26(6), pp. 1291-1297. [Consulta: 16 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.05.004>

**HERNÁNDEZ, A. et al.** “Uso de Microorganismos Antagonistas en el Control de Enfermedades Postcosecha en Frutos”. *Revista mexicana de fitopatología* [en línea], 2007, (México) 25(1), pp.66 – 74. [Consulta: 27 abril 2022]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-33092007000100009](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-33092007000100009)

**HIROOKA, T., & ISHII, H.** “Chemical control of plant diseases” [en línea], 2013. *J Gen Plant Pathol*, 79, pp. 390–401. [Consulta: 2 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10327-013-0470-6>

**HOWELL, C.** “Mechanisms Employed by Trichoderma Species in the Biological Control of Plant Diseases: The History and Evolution of Current Concepts”. *Plant Disease* [en línea], 2007, American Phytopathological Society, 87(1), pp. 4-10. [Consulta: 2 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1094/PDIS.2003.87.1.4>

**HUSAK, V.** “Copper and Copper-Containing Pesticides: Metabolism, Toxicity and Oxidative Stress”. *Journal of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University* [en línea], 2015, 2(1), pp. 38-50. [Consulta: 14 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.15330/jpnu.2.1.38-50>

**INGLESE, P., et al.** “Ecofisiología y biología reproductiva del nopal”. *FAO: Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* [en línea], 2018, (Roma), pp. 31-42. [Consulta: 16 abril 2022]. ISBN 978-92-5-130494-5 (FAO). Disponible en: <https://www.fao.org/3/i7628es/i7628es.pdf>

**JOSHI, P. et al.** Agriculturally Important Microbes: Challenges and Opportunities. In: Soni, R., Suyal, D.C., Bhargava, P., Goel, R. (eds). *Microbiological Activity for Soil and Plant Health Management* [en línea], 2021, Springer, Singapore, ISBN 978-981-16-2922-8, pp. 1-34. [Consulta: 30 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-2922-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2922-8_1)

**KANUNGO, M., & JOSHI, J.** “Impact of Pyraclostrobin (F-500) on Crop Plants”. *Plant Science Today* [en línea], 2014, 1(3), pp. 174-178. [Consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.14719/pst.2014.1.3.60>

**KIESLING, R. & METZING, D.** “Origen y taxonomía de *Opuntia ficus-indica*”. *FAO: Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* [en línea], 2018, (Roma), pp. 13-19. [Consulta: 16 abril 2022]. ISBN 978-92-5-130494-5 (FAO). Disponible en: <https://www.fao.org/3/i7628es/i7628es.pdf>

**KIESLING, R.** “Historia y Prehistoria de la tuna o cactus, *Opuntia ficus-indica*: Presente y Futuro”. *Cactusnet newsletter* [en línea], 2013, (Argentina), pp. 13-19. [Consulta: 16 abril 2022]. Disponible en: <https://www.fao.org/3/av251b/av251b.pdf>

**KOVÁCS, A.** “*Bacillus subtilis*”. *Trends in Microbiology* [en línea], 27(8), pp. 724-725. [Consulta: 15 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.tim.2019.03.008>

**KUMAR, V. et al.** *Trichoderma* spp.: Identification and Characterization for Pathogenic Control and its Potential Application. In Kumar Verma, D. (Ed.). *Microbiology for Sustainable Agriculture, Soil Health, and Environmental Protection* [en línea], 2019, Apple Academic Press, pp. 223-258. [Consulta: 2 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9781351247061>

**LAL, A., et al.** Biotic Stress. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism* [en línea], 2018, Springer, Singapore, ISBN 978-981-13-2023-1, pp. 1029-1095. [Consulta: 6 septiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1\\_32](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_32)

**LAL, M.** Photosynthesis. In: *Plant Physiology, Development and Metabolism* [en línea], 2018, Springer, Singapore, ISBN 978-981-13-2023-1, pp. 159-226. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1\\_5](https://doi.org/10.1007/978-981-13-2023-1_5)

**LAMICHHANE, J., et al.** “Thirteen decades of antimicrobial copper compounds applied in agricultura. A review”. *Agronomy for Sustainable Development* [en línea], 2018, 38(28), pp.1-18. [Consulta: 14 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s13593-018-0503-9>

**LÁSZLÓ K., et al.** Chapter 1 - Biodiversity of the Genus *Hypocrea*/*Trichoderma* in Different Habitats, Editor(s): Vijai K. Gupta, Monika Schmoll, Alfredo Herrera-Estrella, R.S. Upadhyay, Irina Druzhinina, Maria G. Tuohy. *Biotechnology and Biology of Trichoderma* [en línea], 2014, Elsevier, ISBN 9780444595768, pp. 3-24. [Consulta: 1 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-59576-8.00001-1>

**LESLIE, J. & SUMMERELL, B.** An Overview of Fusarium. Editor(es): Brown, Daren y Proctor, Robert, en *Bacterial Foodborne Pathogens and Mycology Research, Caister Academic Press* [en línea], 2013, pp. 1-11, ISBN 9781908230751. [Consulta: 12 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.21775/9781910190357>

**LYON., G.** Chapter 2-Agents That Can Elicit Induced Resistance. In: Dale R. Walters, Adrian C. Newton, Gary D. Lyon (Eds). *Induced Resistance for Plant Defense* [en línea], 2014, 2da Edición, John Wiley & Sons, ISBN 9781118371848, pp. 11-40. [Consulta: 18 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118371848.ch2>

**MAHONEY, K., et al.** “The effect of pyraclostrobin on soybean plant health, yield, and profitability in Ontario”. *Canadian Journal of Plant Science* [en línea], 2015, 95(2), pp. 285-292. [Consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.4141/cjps-2014-125>

**MALANDRAKIS, A., et al.** “Use of copper, silver and zinc nanoparticles against foliar and soil-borne plant pathogens”. *Science of The Total Environment* [en línea], 2019, 290, pp. 292-299. [Consulta: 15 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.210>

**MATTHEWS, G., et al.** Chapter 1-Chemical control in integrated pest management. In G. A. Matthews, Roy Bateman, Paul Miller (Eds). *Pesticide Application Methods* [en línea], 2014, Wiley Online Library, ISBN 9781118351284, pp. 1-21. [Consulta: 12 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118351284.ch1>

**MAZRI, M.** Cactus Pear (*Opuntia* spp.) Breeding. In: Al-Khayri, J., Jain, S., Johnson, D. (eds) *Advances in Plant Breeding Strategies: Fruits* [en línea], 2018, ISBN 978-3-319-91944-7, pp. 307-341. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-91944-7\\_8](https://doi.org/10.1007/978-3-319-91944-7_8)

**MOHKAM, M., et al.** Role of *Bacillus* Genus in the Production of Value-Added Compounds. In: Islam, M., Rahman, M., Pandey, P., Jha, C., Aeron, A. (eds) *Bacilli and Agrobiotechnology* [en línea], 2016, Springer, Cham, ISBN 978-3-319-44409-3, pp. 1-33. [Consulta: 30 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3_1)

**MONDAL, S., et al.** “Efficacy of Pre and Postinoculation Application of Fungicides to Expanding Young Citrus Leaves for Control of Melanose, Scab, and Alternaria Brown Spot”. *The*

*American Phytopathological Society* [en línea], 2007, 91(12), pp. 1600-1606. [Consulta: 13 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-12-1600>

**MUKHOPADHYAY, R., & KUMAR, D.** “Trichoderma: a beneficial antifungal agent and insights into its mechanism of biocontrol potential”. *Egyptian Journal of Biological Pest Control* [en línea], 30(133), pp. 1-8. [Consulta: 17 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s41938-020-00333-x>

**NEWTON, A., & PONS-KÜHNEMANN, J.** Chapter 7- Induced Resistance in Natural Ecosystems and Pathogen Population Biology: Exploiting Interactions. In: Dale R. Walters, Adrian C. Newton, Gary D. Lyon (Eds). *Induced Resistance for Plant Defense* [en línea], 2014, 2da Edición, John Wiley & Sons, ISBN 9781118371848, pp. 1-10. [Consulta: 18 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118371848.ch7>

**NI, L., & PUNJA, Z.** Management of Fungal Diseases on Cucumber (*Cucumis sativus* L.) and Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) Crops in Greenhouses Using *Bacillus subtilis*. In: Islam, M., Rahman, M., Pandey, P., Boehme, M., Haesaert, G. (eds). *Bacilli and Agrobiotechnology: Phytostimulation and Biocontrol. Bacilli in Climate Resilient Agriculture and Bioprospecting* [en línea], 2019, Springer, Cham., ISBN 978-3-030-15175-1, pp. 1-28. [Consulta: 31 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-15175-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-15175-1_1)

**NOBEL, P., & BOBICH, E.** “Environmental Biology”, in Park Nobel (ed.), *Cacti: Biology and Uses* [en línea], Oakland, CA, 2002, California Scholarship Online, pp. 57-74. [Consulta: 23 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1525/california/9780520231573.003.0004>

**NUTTER, F.** The Role of Plant Disease Epidemiology in Developing Successful Integrated Disease Management Programs. In: Ciancio, A., Mukerji, K.G. (eds) *General Concepts in Integrated Pest and Disease Management* [en línea], 2007. Integrated Management of Plants Pests and Diseases, vol 1. Springer, Dordrecht, ISBN 978-1-4020-6061-8, pp. 45-79. [Consulta: 29 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6061-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6061-8_3)

**OCHOA, M. & BARBERA, G.** “Historia e importancia agroecológica y económica”. *FAO: Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* [en línea], 2018, (Roma), pp. 1-11. [Consulta: 16 abril 2022]. ISBN 978-92-5-130494-5 (FAO). Disponible en: <https://www.fao.org/3/i7628es/i7628es.pdf>

**OGBURN, M & EDWARDS, E.** “The Ecological Water-Use Strategies of Succulent Plants”. *Advances in Botanical Research, Academic Press* [en línea], 2010, (Estados Unidos) 55(04), pp. 179-225, ISBN 9780123808684, [Consulta: 09 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-380868-4.00004-1>

**OLIVEIRA, L., et al.** “Identification of Colletotrichum species associated with brown spot of cactus prickly pear in Brazil”. *Tropical Plant Pathology* [en línea], 2018, 43, pp. 247-253 [Consulta: 12 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40858-018-0215-3>

**OLIVER, R., & HEWITT, H.** Fungicide performance. In: Oliver, R., y Hewitt, H. (ed). *Fungicides In Crop Protection* [en línea], 2014, 2da Edición, CABI, ISBN 978-1-78064-168-3, pp. 71-122. [Consulta: 2 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1079/9781780641669.0071>

**OLIVER, R., & HEWITT, H.** Introduction. In: Oliver, R., y Hewitt, H. (ed). *Fungicides In Crop Protection* [en línea], 2014, 2da Edición, CABI, ISBN 978-1-78064-168-3, pp. 1-10. [Consulta: 2 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1079/9781780641669.0001>

**ORONA, I. et al.** “Productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la comarca lagunera”. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo* [en línea], 2003, (México) 21(2), pp. 195 – 201. [Consulta: 13 abril 2022]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/573/57315595006.pdf>

**POTGIETER, J. & D’AQUINO, S.** “Producción de tuna y manejo postcosecha”. *FAO: Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* [en línea], 2018, (Roma), pp. 53-73. [Consulta: 25 abril 2022]. ISBN 978-92-5-130494-5 (FAO). Disponible en: <https://www.fao.org/3/i7628es/i7628es.pdf>

**POVEDA, J., et al.** Could *Trichoderma* Be a Plant Pathogen? Successful Root Colonization. In: Sharma, A., Sharma, P. (eds). *Trichoderma* [en línea], 2020, Springer, Singapore, ISBN 978-981-15-3321-1, pp. 35-59. [Consulta: 2 septiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1_3)

**PRAT, L., et al.** “Morfología y anatomía de las Platyopuntias”. *FAO: Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal* [en línea], 2018, (Roma), pp. 21-28. [Consulta: 16 abril 2022]. ISBN 978-92-5-130494-5 (FAO). Disponible en: <https://www.fao.org/3/i7628es/i7628es.pdf>

**RAHMAN, M.** Bacillus spp.: A Promising Biocontrol Agent of Root, Foliar, and Postharvest Diseases of Plants. In: Islam, M., Rahman, M., Pandey, P., Jha, C., Aeron, A. (eds). *Bacilli and Agrobiotechnology* [en línea], 2016, Springer, ISBN 978-3-319-44409-3, pp. 113-141. [Consulta: 15 septiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-319-44409-3_6)

**RAI, A., et al.** Agriculturally Important Microorganism: Understanding the Functionality and Mechanisms for Sustainable Farming. In: Soni, R., Suyal, D.C., Bhargava, P., Goel, R. (eds). *Microbiological Activity for Soil and Plant Health Management* [en línea], 2021, Springer, Singapore, ISBN 978-981-16-2922-8, pp. 35-64. [Consulta: 31 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-16-2922-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-16-2922-8_2)

**REISS, A. & JØRGENSEN, L.** “Biological control of yellow rust of wheat (*Puccinia striiformis*) with Serenade®ASO (*Bacillus subtilis* strain QST713)”. *Crop Protection* [en línea], 2017, 93, pp. 1-8. [Consulta: 16 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2016.11.009>

**REYES, J., et al.** “NOTAS SISTEMÁTICAS Y UNA DESCRIPCIÓN DETALLADA DE *Opuntia ficus-indica* (L.) MILL. (CACTACEAE)”. *Agrociencia* [en línea], 2005, (México) 39(4), pp. 395-408. [Consulta: 16 abril 2022]. ISSN: 1405-3195. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/302/30239404.pdf>

**REYES, J., et al.** “Reproductive biology of Opuntia: A review”. *Journal of Arid Environments* [en línea], 2006, 64(4), pp.549-585, ISSN 01401963. [Consulta: 18 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2005.06.018>

**RIOJAS, M. & FUENTES, A.** “Caracterización del manejo del cultivo de tuna (*Opuntia* spp.) en los municipios de ojuelos de Jalisco, Jalisco y Pinos, Zacatecas, México”. *Avances en la Investigación Científica en el CUCBA* [en línea], 2006, (México), pp. 595-596. [Consulta: 16 abril 2022]. ISBN 970-27-1045-6. Disponible en: [http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances\\_2006/Biologia/RiojasLopezMonicaElizabeth/Riojas\\_Lopez\\_Monica\\_Elizabeth\\_2.pdf](http://www.cucba.udg.mx/sites/default/files/publicaciones1/avances/avances_2006/Biologia/RiojasLopezMonicaElizabeth/Riojas_Lopez_Monica_Elizabeth_2.pdf)

**ROMERO, D., et al.** “Isolation and evaluation of antagonistic bacteria towards the cucurbit powdery mildew fungus *Podosphaera fusca*”. *Applied Microbiology and Biotechnology* [en línea], 2004, 64, pp. 263-269. [Consulta: 16 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s00253-003-1439-8>

**SANTANA, M., et al.** “Reduction of cladode brown spot in cactus pear in semiarid growing areas and yield increase using fungicides”. *Journal of Plant Pathology* [en línea], 2020, 102, pp. 517-522. [Consulta: 12 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s42161-019-00462-9>

**SCHULZE, E., ET AL.** General Themes of Molecular Stress Physiology. 2da edición. In: *Plant Ecology* [en línea], 2019, Springer, Berlín, Heidelberg, ISBN 978-3-662-56233-8, pp. 9-55. [Consulta: 23 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-662-56233-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-662-56233-8_2)

**SEGARRA, P.** “Sinergias entre degradación de la tierra y cambio climático en los paisajes agrarios del Ecuador”. *Ministerio del Ambiente* [en línea], 2014, (Ecuador), pp 4-5. [Consulta: 16 abril 2022]. Disponible en: <https://biblio.flacsoandes.edu.ec/libros/digital/57189.pdf>

**SHARMA, I., & SHARMA, A.** Trichoderma–Fusarium Interactions: A Biocontrol Strategy to Manage Wilt. In: Sharma, A., Sharma, P. (eds). *Trichoderma. Rhizosphere Biology* [en línea], 2020, Springer, Singapore, ISBN978-981-15-3321-1, pp. 167-185. [Consulta: 17 septiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1\\_9](https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1_9)

**SHEW, D., & SHEW, B.** What Is Plant Pathology? In: Ownley, B.H., & Trigiano, R.N. (Eds.) *Plant Pathology Concepts and Laboratory Exercises* [en línea], 2016, 3ra Edición, CRC Press, ISBN 9781315380773, pp. 3-21. [Consulta: 24 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1201/9781315380773>

**SINGH, G., et al.** Introduction. In: *Alternaria Diseases of Crucifers: Biology, Ecology and Disease Management* [en línea], 2016, pp.1-16, ISBN 978-981-10-0021-8. [Consulta: 26 julio 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-0021-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0021-8_1)

**SINGH, G., et al.** Pathogen. In: *Alternaria Diseases of Crucifers: Biology, Ecology and Disease Management. Management* [en línea], Springer, Singapore, 2016, pp.53-86, ISBN 978-981-10-0021-8. [Consulta: 26 julio 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-10-0021-8\\_3](https://doi.org/10.1007/978-981-10-0021-8_3)

**SWAIN, H., & MUKHERJEE, A.** Host–Pathogen–Trichoderma Interaction. In: Sharma, A., Sharma, P. (eds). *Trichoderma. Rhizosphere Biology* [en línea], 2020, Springer, Singapore, ISBN 978-981-15-3321-1, pp. 149-165. [Consulta: 17 septiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1\\_8](https://doi.org/10.1007/978-981-15-3321-1_8)

**TAGUIAM, J., EVALLO, E. & BALENDRES, M.** “*Epicoccum* species: ubiquitous plant pathogens and effective biological control agents”. *Eur J Plant Pathol* [en línea], 2021, 159, pp. 713–725. [Consulta: 09 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10658-021-02207-w>

**TAYEH, C., et al.** Chapter 10- Topical Application of Inducers for Disease Control. In: Dale R. Walters, Adrian C. Newton, Gary D. Lyon (Eds). *Induced Resistance for Plant Defense* [en línea], 2014, 2da Edición, John Wiley & Sons, ISBN 9781118371848, pp. 193-231. [Consulta: 18 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118371848.ch10>

**THOMMA, B.** *Alternaria* spp.: from general saprophyte to specific parasite. *Molecular Plant Pathology* [en línea], 2003, 4: 225-236. [Consulta: 26 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1046/j.1364-3703.2003.00173.x>

**TYŚKIEWICZ, R., et al.** “Trichoderma: The Current Status of Its Application in Agriculture for the Biocontrol of Fungal Phytopathogens and Stimulation of Plant Growth”. *International Journal of Molecular Sciences* [en línea], 2022, 23(4), pp. 1-29. [Consulta: 17 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/ijms23042329>

**VILLALOBOS, F., ET AL.** Air Temperature and Humidity. In: Villalobos, F., Fereres, E. (eds) *Principles of Agronomy for Sustainable Agriculture* [en línea], 2016, Springer, ISBN 978-3-319-46116-8, pp. 55-67. [Consulta: 23 agosto 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-319-46116-8_5)

**VILLARREAL, M. et al.** “El género *Bacillus* como agente de control biológico y sus implicaciones en la bioseguridad agrícola”. *Revista mexicana de fitopatología* [en línea], 2018, (México) 36(01), pp. 95-130. [Consulta: 28 abril 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.18781/r.mex.fit.1706-5>

**WALTERS, D., & BENNETT, A.** Chapter 8- Microbial Induction of Resistance to Pathogens. In: Dale R. Walters, Adrian C. Newton, Gary D. Lyon (Eds). *Induced Resistance for Plant Defense* [en línea], 2014, 2da Edición, John Wiley & Sons, ISBN 9781118371848, pp. 1-10. [Consulta: 18 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/9781118371848.ch8>

**WONG, F., & MIDLAND, S.** “Sensitivity distributions of California populations of *Colletotrichum cereale* to the DMI fungicides propiconazole, myclobutanil, tebuconazole, and

triadimefon". *The American Phytopathological Society* [en línea], 2007, 91(12), ISSN 1943-7692, pp. 1547-1555. [Consulta: 14 septiembre 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1094/PDIS-91-12-1547>

**YAHIA & SÁENZ.** Cactus pear (*Opuntia* species), Editor(s): Elhadi M. Yahia, *In Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits*, Woodhead Publishing [en línea], 2011, pp. 290-331, ISBN 9781845697341. [Consulta: 09 julio 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1533/9780857092762.290>

**YAHIA, E., et al.** Chapter 3 – Photosynthesis. *Postharvest Physiology and Biochemistry of Fruits and Vegetables* [en línea], 2019, pp. 47-72. [Consulta: 22 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813278-4.00003-8>

**ZIMMERMANN, H., & GRANATA, G.** Chapter 14 - Insect Pests and Diseases. En Nobel (Ed). *Cacti: Biology and uses* [en línea], 2002, California Scholarship Online, ISBN 9780520927889, pp. 235-254. [Consulta: 15 agosto 2022]. Disponible en: <https://doi.org/10.1525/california/9780520231573.003.0014>

**ZIOGAS, B., & MALANDRAKIS, A.** Sterol Biosynthesis Inhibitors: C14 Demethylation (DMIs). In: Ishii, H., Hollomon, D. (eds). *Fungicide Resistance in Plant Pathogens* [en línea], 2015, Springer, Tokyo, ISBN 978-4-431-55642-8, pp. 199-216. [Consulta: 5 septiembre 2022]. Disponible en: [https://doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8\\_13](https://doi.org/10.1007/978-4-431-55642-8_13)



## ANEXOS

### ANEXO A: CULTIVO ESTABLECIDO DE TUNA EN TUNSHI



### ANEXO B: MUESTRAS DE PORCENTAJE DE SEVERIDAD EN CLADODIOS DE TUNA





**ANEXO C: LABORES CULTURALES EN EL CULTIVO DE TUNA (CONTROL DE MALEZAS)**



**ANEXO D: APLICACIONES FITOSANITARIAS EN EL CULTIVO DE TUNA**



**ANEXO E: LABORES CULTURALES EN EL CULTIVO DE TUNA (PODA)**



**ANEXO F: LABORES CULTURALES EN EL CULTIVO DE TUNA (FERTILIZACIÓN ORGÁNICA EDÁFICA)**



**ANEXO G: LABORES DE COSECHA EN EL CULTIVO DE TUNA**



**ANEXO H: CLASIFICACIÓN SEGÚN FRAC DE LOS FUNGICIDAS CON MODO DE ACCIÓN SOBRE LA RESPIRACIÓN**

Modo de acción	Código y punto de acción	Nombre grupo	Grupo químico	Nombre común	Código FRAC
C: Respiración	C3: Complejo III: citocromo bc	Fungicidas QoI (Inhibidores externos de la Quinona)	Metoxi-acrilatos	Azoxistrobin	11
				Coumoxystrobin	
				Enoxastrobin	
				Flufenoxystrobin	
				Picoxystrobin	

	(ubiquinol oxidasa) en el sitio Qo ( <i>gen cit b</i> )			Pyraoxystrobin	
		Metoxi-acetamida		Mandestrobin	
		Metoxi-carbamatos		Piraclostrobin	
				Pirametostrobin	
				Triclopyricarb	
		Oximino-acetatos		Kresoxim-metil trifloxistrobin	
		Oximino-acetamidas		Dimoxystrobin	
				Fenaminstrobin	
				Metominostrobin	
				Orysastrobin	
		Oxazolidina-dionas		Famoxadona	
		Dihidro-dioxazinas		Fluoxastrobin	
		Imidazolinonas		Fenamidona	
Benzyl-carbamates		Pyribencarb			

Fuente: FRAC, 2022, p. 14

**ANEXO I: CLASIFICACIÓN DE LOS FUNGICIDAS CON MODO DE ACCIÓN SOBRE LA BIOSÍNTESIS DE ESTEROL EN LAS MEMBRANAS**

Modo de acción	Código y punto de acción	Nombre grupo	Grupo químico	Nombre común	Código FRAC
<b>G:</b> Biosíntesis de esterol en las membranas	<b>G1:</b> C14-demetilasa en la biosíntesis de esteroides ( <i>erg11/cip51</i> )	Fungicidas <b>DMI</b> (Inhibidores de la demetilación) (SBI: Clase I)	Piperazinas	Triforine	<b>3</b>
			Piridinas	Pirifenox	
				Pirisoaxazol	
			Pirimidinas	Fenarimol	
				Nuarimol	
			Imidazoles	Imazalil	
				Oxpoconazol	
				Perfurazoate	
				Procloraz	

				Azaconazol	
				Bitertanol	
				Bromuconazol	
				Ciproconazol	
				Difenoconazol	
				Diniconazol	
				Epoxiconazol	
				Etaconazol	
				Fenbuconazol	
				Fluquinconazol	
				Flusilazol	
				Flutriafol	
				Hexaconazol	
				Imibenconazol	
				Ipconazol	
				Mefentrifluconazol	
				Metconazol	
				Miclobutanil	
				Penconazol	
				Propiconazol	
				Simeconazol	
				Tebuconazol	
				Tetraconazol	
				Triadimefon	
				Triadimenol	
				Triticonazol	
			Triazolintionas	Protioconazol	

Fuente: FRAC, 2022, p. 11

**ANEXO J: CLASIFICACIÓN SEGÚN LA FRAC DE LOS PRODUCTOS QUÍMICOS CON ACTIVIDAD MULTISITIO**

<b>Modo de acción</b>	<b>Código y punto de acción</b>	<b>Nombre grupo</b>	<b>Grupo químico</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Código FRAC</b>
-----------------------	---------------------------------	---------------------	----------------------	---------------------	--------------------

<b>M:</b> Productos químicos con actividad multi-sitio	Actividad de contacto multi-sitio	Inorgánico (electrófilos)	Inorgánico	Cobre (Diferentes sales)	M 01
		Inorgánico (electrófilos)	Inorgánico	Azufre	M 02
		Ditiocarbamatos y relacionados (electrófilos)	Ditiocarbamatos y relacionados	Amobam	M 03
				Ferbam	
				Mancozeb	
				Maneb	
				Metiram	
				Propineb	
				Thiram	
				Thiazol de zinc	
				Zineb	
		Ziram			
		Ftalimidas (electrófilos)	Ftalimidas	Captan	M 04
Captafol					
Folpet					
Cloronitrilos (ftalonitrilos) (mecanismo inespecífico)	Cloronitrilos (ftalonitrilos)	Clorotalonil	M 05		
Sulfamidas (electrófilos)	Sulfamidas	Diclofluanid	M 06		
		Tolifluanid			
Bis-guanidinas (disruptores de membrana, detergentes)	Bis-guanidinas	Guazatina	M 07		
		Iminoctadina			
Triazinas (mecanismo inespecífico)	Triazinas	Anilazina	M 08		
Quinonas (antraquinonas) (electrófilos)	Quinonas (antraquinonas)	Ditianona	M 09		
Quinoxalinas (electrófilos)	Quinoxalinas	Quinometionat / Quinometionato	M 10		

		Maleimida (electrófilos)	Maleimida	Fluoroimida	M 11
		Thiocarbamato (electrófilos)	Thiocarbamato	Methasulfocarb	M 12

Fuente: FRAC, 2022, p. 15

**ANEXO K:** ANOVA DE LA VARIABLE INCIDENCIA A LOS 0, 7, 23, 31, 39, 47, 55 Y 63 DÍAS

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios			
		0 días	p-valor	7 días	p-valor
Total	53				
Tratamientos	5	14,57	0,89 ns	126,63	0,12 ns
Repetición	2	117,42	0,08 ns	185,2	0,08 ns
Error	46	43,10		68,67	
<b>CV (%)</b>		67,51		46,31	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios			
		23 días	p-valor	31 días	p-valor
Total	53				
Tratamientos	5	229	0,07 ns	319,8	0,065 ns
Repetición	2	188,3	0,18 ns	202,7	0,25 ns
Error	46	104,3		142,1	
<b>CV (%)</b>		38,94		40,42	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios			
		39 días	p-valor	47 días	p-valor
Total	53				
Tratamientos	5	225,2	0,21 ns	323,2	0,13 ns
Repetición	2	276,3	0,17 ns	219,3	0,3 ns
Error	46	152		117,4	
<b>CV (%)</b>		40,26		41,19	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios			
		55 días	p-valor	63 días	p-valor
Total	53				
Tratamientos	5	295,4	0,17 ns	319,2	0,15 ns
Repetición	2	213,9	0,32 ns	162,8	0,42 ns
Error	46	181,3		184	
CV (%)		41,12		41,15	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022.

**ANEXO L: ANOVA DE LA VARIABLE SEVERIDAD A LOS 0, 7, 15, 23, 31, 39, 47, 55, 63, 71, 79 Y 85 DÍAS**

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios					
		0 días	p-valor	7 días	p-valor	15 días	p-valor
Total	161						
Tratamientos	5	15,04	0,24 ns	16,5	0,26	30,82	0,14
Repetición	2	72,91	0,0017	88,52	0,0011	96,62	0,0058
			**		**		**
Error	154	11,02		12,42		18,19	
CV (%)		162,95		135,64		131,11	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios			
		23 días	p-valor	31 días	p-valor
Total	161				
Tratamientos	5	32,38	0,16 ns	38,29	0,19 ns
Repetición	2	84,82	0,016 *	75,28	0,06 ns
Error	154	20,04		25,59	
CV (%)		117,52		117,57	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios			
		39 días	p-valor	47 días	p-valor
Total	161				

Tratamientos	5	41,15	0,2 ns	46,24	0,16 ns
Repetición	2	82,1	0,06 ns	67,08	0,09 ns
Error	154	27,79		28,61	
<b>CV (%)</b>		119,77		114,47	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios			
		55 días	p-valor	63 días	p-valor
Total	161				
Tratamientos	5	45,67	0,17 ns	48,19	0,15 ns
Repetición	2	64,34	0,11 ns	83,17	0,06 ns
Error	154	28,82		29,33	
<b>CV (%)</b>		114,42		112,92	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios					
		71 días	p-valor	79 días	p-valor	87 días	p-valor
Total	161						
Tratamientos	5	60,6	0,12 ns	64,38	0,12 ns	81,18	0,07 ns
Repetición	2	90,38	0,07 ns	107,56	0,054 ns	98,01	0,08 ns
Error	154	34,04		36,33		39,18	
<b>CV (%)</b>		105,97		108,13		99,32	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

#### ANEXO M: ANOVA DE LA VARIABLE NÚMERO DE FLORES A LOS 0 Y 57 DÍAS

Fuente de variación	de gl	Cuadrados medios			
		0 días	p-valor	57 días	p-valor
Total	53				
Tratamientos	5	20,08	0,67 ns	32,04	0,12 ns
Repetición	2	9,38	0,74 ns	0,72	0,96 ns
Error	46	31,44		17,3	
<b>CV (%)</b>		124,61		162,74	

Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

**ANEXO N: ANOVA DE LA VARIABLE NÚMERO DE FRUTOS A LOS 0 Y 72 DÍAS**

Fuente de variación	gl	Cuadrados medios			
		0 días	p-valor	72 días	p-valor
Total	53				
Tratamientos	5	1278	0,19 ns	1417,1	0,06 ns
Repetición	2	3813	0,015 *	2331,9	0,028 *
Error	46	828		608,7	
CV (%)		67,2		64,14	

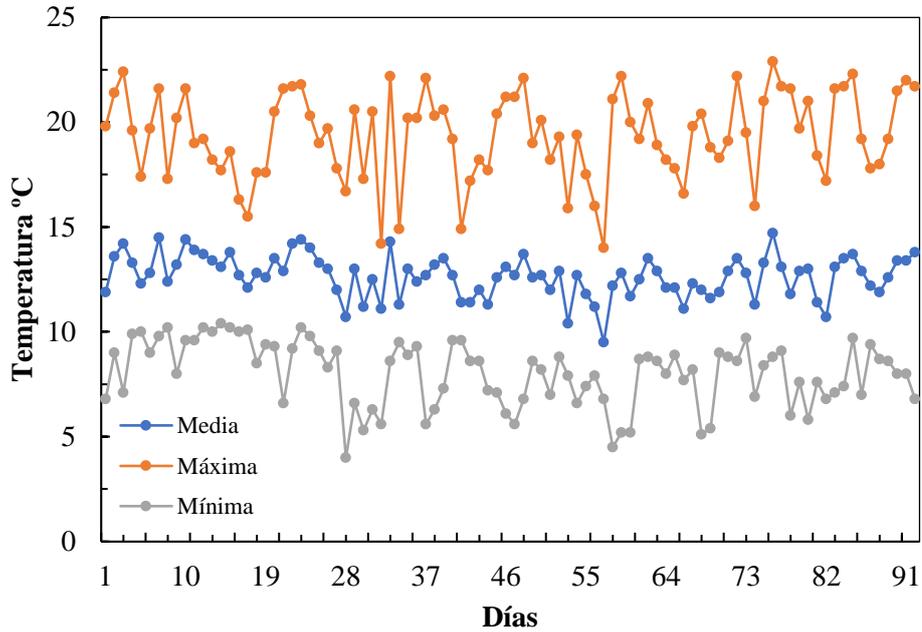
Diferencias significativas \*(p<0,05), diferencias altamente significativas \*\*(p<0,01), ns: no significativo (p>0,05).

Realizado por: Cesen L., 2022

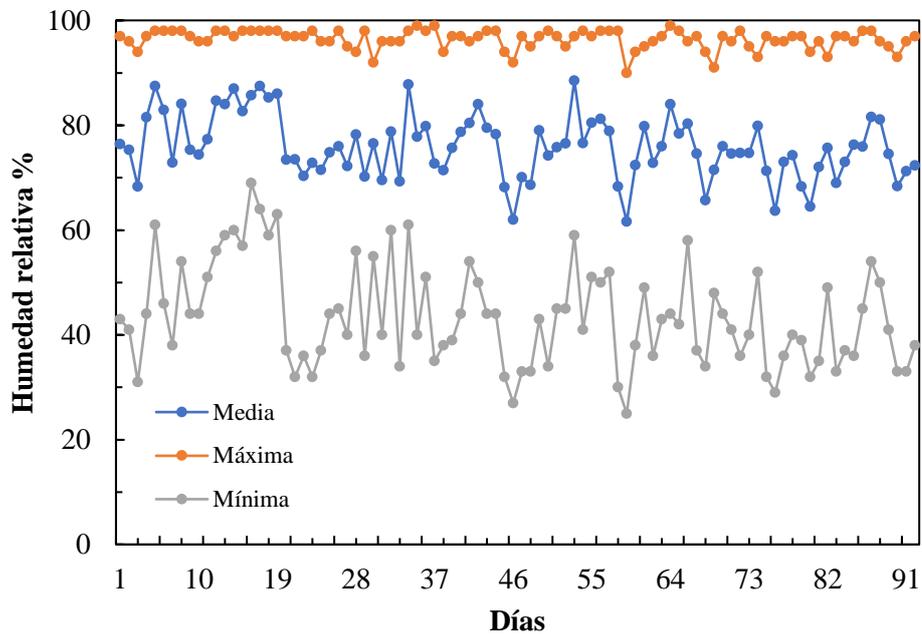
**ANEXO O: MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DE DISPERSIÓN DE LA VARIABLE RENDIMIENTO**

Tratamiento	Nombre	Bloque	Media	D. estándar
T1	Bacillus.subtilis	1	432,67	749,40
T1	Bacillus.subtilis	2	161	113,86
T1	Bacillus.subtilis	3	579,33	1003,43
T2	T.harzianum	1	326,33	239,15
T2	T.harzianum	2	1156	362,94
T2	T.harzianum	3	599	875,56
T3	Piraclostrobin	1	318,67	455,99
T3	Piraclostrobin	2	117,67	125,06
T3	Piraclostrobin	3	290	251,15
T4	Tebuconazol	1	638	291,44
T4	Tebuconazol	2	629,67	675,40
T4	Tebuconazol	3	723,67	257,92
T5	Sulfato.cobre	1	31,67	54,85
T5	Sulfato.cobre	2	178	308,31
T5	Sulfato.cobre	3	657,67	478,45
T6	Testigo	1	588,33	411,24
T6	Testigo	2	188	325,63
T6	Testigo	3	1283,33	1180,61

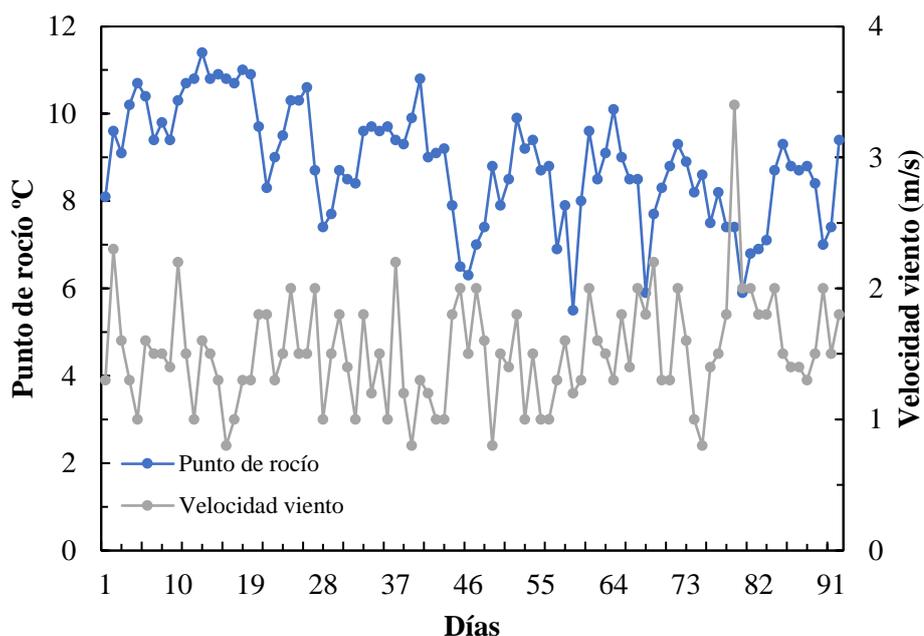
**ANEXO P:** GRÁFICO CORRESPONDIENTE A LOS VALORES DE TEMPERATURA (°C) EN EL ÁREA EXPERIMENTAL



**ANEXO Q:** GRÁFICO CORRESPONDIENTE A LOS VALORES DE HUMEDAD RELATIVA (%) EN EL ÁREA EXPERIMENTAL



**ANEXO R:** GRÁFICO CORRESPONDIENTE A LOS VALORES DE PUNTO DE ROCÍO (°C) Y VELOCIDAD DEL VIENTO (m/s)



#### ANEXO S: RESULTADOS DE LA CALIBRACIÓN DE MOCHILA

Repetición	V inicial (L)	V final (L)	Variación (L)
1	20	15,5	4,5
2	20	15	5
3	20	15,5	4,5
Promedio	20	15,33	4,67

Realizado por: Cesen L.,2022

#### ANEXO T: DOSIS RECOMENDADAS DE PRODUCTOS FITOSANITARIOS

Ingrediente activo	Nombre comercial	Dosis
Piraclostrobin	Regnum	1 cm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup>
Tebuconazol	Tacora	1 cm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup>
Sulfato de cobre	Phyton	1 cm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup>
<i>Bacillus subtilis</i>	Serenade	4 L ha <sup>-1</sup>
<i>Trichoderma</i> sp.	<i>Trichoderma harzianum</i>	10 <sup>6</sup> esporas mL <sup>-1</sup>

Realizado por: Cesen L.,2022

#### ANEXO U: DOSIS TOTAL PARA APLICAR DE PRODUCTOS QUÍMICOS

Nombre	Dosis (cm <sup>3</sup> L <sup>-1</sup> )	V agua (L)	Dosis total (cm <sup>3</sup> )
Piraclostrobin	1	7,2	7,2
Tebuconazol	1	7,2	7,2
Sulfato de cobre	1	7,2	7,2

Realizado por: Cesen L.,2022

**ANEXO V: DOSIS TOTAL APLICAR EN LOS TRATAMIENTO DE CONTROL BIOLÓGICO**

<b>Nombre</b>	<b>Dosis</b>	<b>V agua (L)</b>	<b>Dosis total (cm<sup>3</sup>)</b>
<i>Bacillus subtilis</i>	4 L ha <sup>-1</sup>	7,2	64,21
<i>Trichoderma harzianum</i>	10 <sup>6</sup> esporas mL <sup>-1</sup>	7,2	296,7

**Realizado por:** Cesen L.,2022

**ANEXO W: SÍNTOMAS DE LA ENFERMEDAD “MANCHA NEGRA DEL CLADODIO” EN EL CULTIVO DE TUNA DE INVESTIGACIÓN**



**Realizado por:** Cesen L., 2022.



epoch

Dirección de Bibliotecas y  
Recursos del Aprendizaje

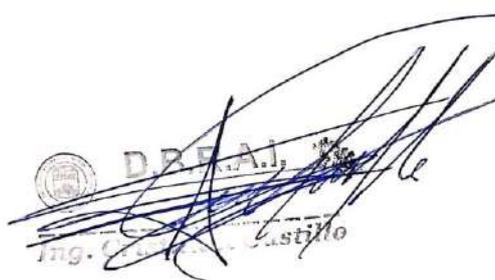
UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y  
DOCUMENTAL

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 18 / 01 / 2023

<b>INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)</b>
<b>Nombres – Apellidos:</b> Luis Fernando Cesen Fiallos
<b>INFORMACIÓN INSTITUCIONAL</b>
<b>Facultad:</b> Recursos Naturales
<b>Carrera:</b> Agronomía
<b>Título a optar:</b> Ingeniero Agrónomo
<b>f. responsable:</b> Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz



  
Ing. Cristhian Fernando Castillo

0012-DBRA-UTP-2023