

1era Edición

# CULTIVANDO EL FUTURO

Innovaciones en agricultura sostenible para un mundo en cambio



1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

Julia Karina Prado Beltrán  
Ana Katherine Pincay Verdezoto  
Ima Sumac Sánchez De Céspedes  
Doris Salomé Chalampunte Flores  
Miguel Alejandro Gómez Cabezas  
Eliana Granja Guerra  
Darwin Rodrigo Claudio Pruna  
Néstor Santiago Luzón Toscano  
Marco Tulio Bastidas Munoz  
Emerson Javier Jácome Mogro  
Néstor Santiago Luzón Toscano  
Livia Amparo Ríos Madril  
Giovana Paulina Parra Gallardo  
Carlos Andres Bolaños Carriel  
Gustavo Alejandro Jarrín Raza  
Pablo Andrés Jaramillo Arias  
Marco Andrés Araujo Jaramillo

**AUTORES INVESTIGADORES**



1era Edición

# CULTIVANDO EL FUTURO

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## AUTORES

### INVESTIGADORES

#### **Julia Karina Prado Beltrán**

PhD. en Entomología; Programa de Maestría en Sanidad Vegetal;  
Programa de Posgrado y Facultad de Agropecuaria y Recursos Naturales;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

✉ [jkprado@utn.edu.ec](mailto:jkprado@utn.edu.ec)

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-8836-3559>

#### **Ana Katherine Pincay Verdezoto**

Magíster en Sanidad Vegetal,  
Programa de Posgrado y Facultad de Agropecuaria y Recursos Naturales;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

✉ [ana.pincay3475@utc.edu.ec](mailto:ana.pincay3475@utc.edu.ec)

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-9790-6260>

#### **Ima Sumac Sánchez De Céspedes**

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales;  
Universidad Técnica del Norte;  
Ibarra, Ecuador;

✉ [issanchez@utn.edu.ec](mailto:issanchez@utn.edu.ec)

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-6866-4485>

**Doris Salomé Chalampunte Flores**

Doctora Dentro del Programa de Doctorado  
en Investigación Agraria y Forestal;  
Magíster Scientiae en Manejo y Conservación de Bosques  
Tropicales y Biodiversidad; Ingeniera Agropecuaria;  
Universidad Técnica del Norte,  
Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales,  
Ibarra, Ecuador;

✉ dschalampunte@utn.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-0671-0682>

**Miguel Alejandro Gómez Cabezas**

Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales;  
Universidad Técnica del Norte;  
Ibarra, Ecuador;

✉ magomez@utn.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-5248-0275>

**Eliana Granja Guerra**

Programa de posgrado y Facultad de Agropecuaria y Recursos Naturales,  
Programa de posgrado, Sanidad Vegetal;  
Universidad Técnica de Cotopaxi,  
Latacunga, Ecuador;

✉ eliana.granja@utc.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-7382-935X>

**Darwin Rodrigo Claudio Pruna**

Magíster en Sanidad Vegetal;  
Magíster en Desarrollo Local;  
Ingeniero Agropecuario;  
Programa de posgrado y Facultad de Agropecuaria y Recursos Naturales;  
Universidad de la Fuerzas Armadas ESPE,  
Sangolquí, Ecuador;

✉ drclaudio@espe.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-3196-7789>

**Néstor Santiago Luzón Toscano**

Magíster en Economía Agrícola y Desarrollo Sustentable;  
PhD (c) Agricultura Protegida Almería;  
Programa de posgrado en Sanidad Vegetal;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

✉ nestor.luzon7281@utc.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0006-0433-902X>

**MarcoTulio Bastidas Munoz**

Magíster en Sanidad Vegetal;  
Programa de Sanidad Vegetal;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

✉ marco.bastidas7629@utc.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0003-7537-6643>

**Emerson Javier Jácome Mogro**

Diploma Superior en Didáctica de la Educación Superior;  
Magíster en Gestión de la Producción;  
Doctoris Philosophiae en Agricultura Sustentable; Ingeniero Agrónomo;  
Programa de Sanidad Vegetal;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

✉ emerson.jacome@utc.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0003-3004-9246>

**Livia Amparo Ríos Madril**

Magíster en Sanidad Vegetal; Programa de posgrado  
Maestría en Sanidad Vegetal;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

✉ livia.rios@utc.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0009-0007-9194-2771>

**Giovana Paulina Parra Gallardo**

Programa de posgrado Maestría en Sanidad Vegetal,  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

✉ giovana.parra@utc.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-8612-5992>

**Carlos Andres Bolaños Carriel**

Doctor Of Philosophy in Agronomy and Horticulture;  
Máster en Ciencias en Protección de Cultivos;  
Ingeniero Agrónomo;  
Programa de posgrado, Sanidad Vegetal;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

 carlos.bolanos6373@utc.edu.ec  
 <https://orcid.org/0000-0002-3206-432X>

**Gustavo Alejandro Jarrín Raza**

Magíster en Economía del Desarrollo;  
Ingeniero Agrónomo;  
Universidad Central del Ecuador,  
Facultad de Ciencias Agrícolas;  
Quito, Ecuador;

 gajarrin@uce.edu.ec  
 <https://orcid.org/0009-000-1709-2915>

**Ana Katherine Pincay Verdezoto**

Magíster en Sanidad Vegetal,  
Programa de Posgrado y Facultad  
de Agropecuaria y Recursos Naturales;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

 ana.pincay3475@utc.edu.ec  
 <https://orcid.org/0000-0001-9790-6260>

**Pablo Andrés Jaramillo Arias**

Magíster en Sanidad Vegetal;  
Programa de Posgrado y Facultad  
de Agropecuaria y Recursos Naturales;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

 pablo.jaramillo4613@utc.edu.ec  
 <https://orcid.org/0000-0002-2617-3271>

**Marco Andrés Araujo Jaramillo**

Magíster en Sanidad Vegetal:  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Programa de Posgrado y Facultad  
de Agropecuaria y Recursos Naturales;  
Universidad Técnica de Cotopaxi;  
Latacunga, Ecuador;

 marco.araujo6569@utc.edu.ec  
 <https://orcid.org/0009-0007-9106-4999>

1era Edición

# CULTIVANDO EL FUTURO

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## REVISORES

ACADÉMICOS

### **Alfredo Jimenez González**

Ingeniero Agrónomo;  
Dr. C. (Doctor en Ciencias Forestales), Ph. D.;  
Universidad Estatal del Sur de Manabí

✉ alfredo.jimenez@unesum.edu.ec

🆔 <https://orcid.org/0000-0002-1768-5566>

### **Aldo José Loqui Sánchez**

Magíster en Riego y Drenaje;  
Ingeniero Agrónomo;  
Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia,  
Universidad de Guayaquil; Guayaquil, Ecuador;

✉ aldo\_loqui@hotmail.com

🆔 <https://orcid.org/0000-0001-8953-5105>

# CATALOGACIÓN BIBLIOGRÁFICA

## AUTORES:

Julia Karina Prado Beltrán  
Ana Katherine Pincay Verdezoto  
Ima Sumac Sánchez De Céspedes  
Doris Salomé Chalampunte Flores  
Miguel Alejandro Gómez Cabezas  
Eliana Granja Guerra  
Darwin Rodrigo Claudio Pruna  
Néstor Santiago Luzón Toscano  
Marco Tulio Bastidas Munoz  
Emerson Javier Jácome Mogro

Néstor Santiago Luzón Toscano  
Livia Amparo Ríos Madril  
Giovana Paulina Parra Gallardo  
Carlos Andres Bolaños Carriel  
Gustavo Alejandro Jarrín Raza  
Pablo Andrés Jaramillo Arias  
Marco Andrés Araujo Jaramillo

**Título:** Cultivando el futuro Innovaciones en agricultura sostenible para un mundo en cambio

**Descriptor:** Desarrollo sostenible; Desarrollo económico y social; Investigación estratégica

**Código UNESCO:** 31 Ciencias Agrarias

**Clasificación Decimal Dewey/Cutter:** 333.72/M386

**Área:** Ciencias Agropecuarias

**Edición:** 1<sup>ra</sup>

**ISBN:** 978-9942-654-38-0

**Editorial:** Mawil Publicaciones de Ecuador, 2024

**Ciudad, País:** Quito, Ecuador

**Formato:** 148 x 210 mm.

**Páginas:** 120

**DOI:** <https://doi.org/10.26820/978-9942-654-38-0>

**URL:** <https://mawil.us/repositorio/index.php/academico/catalog/book/133>

Texto para docentes y estudiantes universitarios

El proyecto didáctico: **Cultivando el futuro Innovaciones en agricultura sostenible para un mundo en cambio**, es una obra colectiva escrita por varios autores y publicada por MAWIL; publicación revisada bajo la modalidad de pares académicos y por el equipo profesional de la editorial siguiendo los lineamientos y estructuras establecidos por el departamento de publicaciones de MAWIL de New Jersey.

© Reservados todos los derechos. La reproducción parcial o total queda estrictamente prohibida, sin la autorización expresa de los autores, bajo sanciones establecidas en las leyes, por cualquier medio o procedimiento.



Usted es libre de:  
**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.  
**Adaptar** — remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

**Director Académico:** Lcdo. Alejandro Plúa Argoti

**Dirección Central MAWIL:** Office 18 Center Avenue Caldwell; New Jersey # 07006

**Gerencia Editorial MAWIL-Ecuador:** Mg. Vanessa Pamela Quishpe Morocho

**Dirección de corrección:** Mg. Yamara Galanton.

**Editor de Arte y Diseño:** Leslie Letizia Plúa Proaño

**Corrector de estilo:** Lic. Marcelo Acuña Cifuentes

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## *Índices*

**Contenidos**



Prólogo ----- 17  
Introducción ----- 19

**Capítulo I.**

Abundancia de insectos benéficos asociados a plantas arvenses,  
Imbabura----- 21

**Capítulo II.**

*Bacillus subtilis*, en la promoción de crecimiento vegetal  
de plantas de cáñamo ----- 34

**Capítulo III.**

Control de ácaros (*Tetranychus urticae*), en tres variedades  
de rosas (*Rosa sp.*), para exportación ----- 69

**Capítulo IV.**

Evaluación del índice de cosecha de tuna (opuntia ficus - indica)  
y estrategias de limpieza del fruto. Salache, Cotopaxi----- 74

**Capítulo V.**

Análisis de puntos críticos: una herramienta epidemiológica  
para predecir pérdidas de rendimiento por enfermedades  
fúngicas foliares de cereales----- 91

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## *Índices*

**Figuras**



<b>Figura 1.</b> Granos de polen adheridos al cuerpo de un insecto. -----	24
<b>Figura 2.</b> Número de insectos en las principales plantas arvenses durante los muestreos-----	26
<b>Figura 3.</b> Insectos en <i>Fuertesimalva limensis</i> (L.) Fryxell.-----	27
<b>Figura 4.</b> Disposición espacial del experimento -----	36
<b>Figura 5.</b> Altura de las plantas de cañamo (cm) durante tres meses de aplicación -----	40
<b>Figura 6.</b> Inoculaciones en medio Ashby Manitol de <i>B. subtilis</i> (1x10 <sup>3</sup> UFC/ml).-----	41
<b>Figura 7.</b> Inoculaciones en medio Pikovskaya de <i>B. subtilis</i> (1x10 <sup>3</sup> UFC/ml) -----	42
<b>Figura 8.</b> Efecto de <i>B. subtilis</i> en el contenido protéico (mg/g) en hojas frescas de <i>C. sativa</i> al final de la fase experimental -----	42
<b>Figura 9.</b> Efecto de <i>B. subtilis</i> en la promoción de crecimiento en los promedios y límites superiores e inferiores de auxinas (mg/ml) en hojas de <i>C. sativa</i> al final de la fase experimental -----	43
<b>Figura 10.</b> Efecto de <i>B. subtilis</i> en el contenido de clorofila a (Chla), clorofila b (Chlb) y clorofila total (Chla+b) en hojas de <i>C. sativa</i> . -----	44
<b>Figura 11.</b> Efecto de <i>B. subtilis</i> en la promoción de crecimiento en los promedios y límites superiores e inferiores de sólidos solubles totales (mg/g) en hojas de <i>C. sativa</i> al final de la fase experimental -----	45
<b>Figura 12.</b> Mapa de Ubicación del área de estudio-----	51
<b>Figura 13.</b> Control de <i>Tetranychus urticae</i> en rosas.-----	54
<b>Figura 14.</b> Interacción de Factor A (Alternativas de control) en diferentes días.-----	58
<b>Figura 15.</b> Interacción de Factor B (Variedades de rosas) en diferentes días.-----	59
<b>Figura 16.</b> Evaluación de la efectividad para alternativas de control en diferentes días.-----	66
<b>Figura 17.</b> Diseño de la máquina manual limpiadora de tunas-----	78
<b>Figura 18.</b> Diferencia de presencia de enfermedades plagas y fisiopatías, en tuna para índice de cosecha por estrategia de limpieza (I*E).-----	82
<b>Figura 19.</b> Diferencia de pérdida de peso en tuna para índice de cosecha por estrategia de limpieza (I*E). -----	84
<b>Figura 20.</b> Efecto lineal y cuadrático de los tiempos de aplicación de triazol sobre el rendimiento. El Triazol fue aplicado a Estados Vegetativos 39 (-16 días a la antesis),	

.....  
E.V. 45 (-7 días a la antesis), E.V. 60 (antesis = 0), 6 y 12 días  
después de la antesis ----- 106

**Figura 21.** Efecto lineal y cuadrático de los tiempos  
de aplicación de triazol sobre el AUDPC.

El Triazol fue aplicado a Estados Vegetativos 39 (-16 días a la antesis),  
E.V. 45 (-7 días a la antesis), E.V. 60 (antesis = 0),  
6 y 12 días después de la antesis ----- 107

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## *Índices*

**Tablas**



<b>Tabla 1.</b> Especies de plantas arvenses nativas evaluadas en La Granja Experimental “La Pradera”. -----	25
<b>Tabla 2.</b> Descripción de los tratamientos -----	36
<b>Tabla 3.</b> Curva estándar para la determinación de proteína por espectrofotometría -----	38
<b>Tabla 4.</b> Estándares para la curva de calibración de AIA -----	38
<b>Tabla 5.</b> Promedio $\pm$ desviación estándar de Unidades de CCI de <i>B. subtilis</i> cepa Ctpx2-1, Ctpx3-5 y testigo en hojas de cáñamo -----	40
<b>Tabla 6.</b> Factores de estudio. -----	51
<b>Tabla 7.</b> Número de tratamientos para control de <i>Tetranychus urticae</i> . --	52
<b>Tabla 8.</b> Esquema del ADEVA para el ensayo, control de <i>Tetranychus urticae</i> . -----	53
<b>Tabla 9.</b> Alternativas a emplear para el control de <i>Tetranychus urticae</i> . -----	54
<b>Tabla 10.</b> Prueba de Tukey para–Factor A (Alternativas de control) con relación a presencia de ninfas a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después de la aplicación (16ddA) -----	56
<b>Tabla 11.</b> Prueba de Tukey para–Factor B (Variedades de rosas) con relación a presencia de ninfas a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después de la aplicación (16ddA).-----	56
<b>Tabla 12.</b> Prueba de Tukey para la interacción entre Factor A (Alternativas de control) y Factor B (Variedades de rosas) con relación a presencia de ninfas a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después-----	57
<b>Tabla 13.</b> Análisis de varianza para el ensayo, presencia de adultos a los 0, 2 y 16 días después de la aplicación (0 ddA, 2 ddA y 16 ddA) -----	60
<b>Tabla 14.</b> Prueba de Tukey para–Factor A (Alternativas de control) con relación a presencia de adultos a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después de la aplicación (16ddA).-----	61
<b>Tabla 15.</b> Prueba de Tukey para–Factor B (Variedades de rosas) con relación a presencia de adultos a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después de la aplicación (16ddA).-----	61
<b>Tabla 16.</b> Prueba de Tukey para la interacción entre Factor A	

(Alternativas de control) y Factor B (Variedades de rosas) con relación a presencia de adultos a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después----- 63

**Tabla 17.** Interacción de Factor A (Alternativas de control) en diferentes días.----- 63

**Tabla 18.** Interacción de Factor B (Variedades de rosas) en diferentes días.----- 64

**Tabla 19.** Interacción de Factor A (Alternativas de control: ninfas + adultos) en diferentes días.----- 65

**Tabla 20.** Efectividad de las Alternativas para el control de *Tetranychus urticae*. ----- 66

**Tabla 21.** Promedio por Alternativa de control para ácaros (*Tetranychus urticae*). ----- 67

**Tabla 22.** Descripción de los tratamientos----- 77

**Tabla 23.** Comportamiento del color por tratamientos a los 1,4,7,10,13,16,19,22,25,28,31 y 34 días----- 81

**Tabla 24.** Test de Tukey (5%) para índice de cosecha por estrategia de limpieza (I\*E) en la variable Presencia de enfermedades, plagas y fisiopatías en tuna a los 7, 19, 22, 25 y 28 días de llevado al laboratorio. ----- 81

**Tabla 25.** Test de Tukey (5%) para índice de cosecha por estrategia de limpieza (I\*E) en la variable pérdida de peso en tuna a los 4, 13, 16, 25 y 28 días de llevado al laboratorio.----- 83

**Tabla 26.** Daño foliar asociado a enfermedades foliares, en cultivares de trigo Overland y Overley bajo condiciones de secano evaluadas en dos años ----- 101

**Tabla 27.** Daño foliar asociado a enfermedades foliares, en cultivares de trigo Overland y Overley bajo condiciones irrigadas evaluadas en dos años----- 103

**Tabla 28.** Coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), intercepto y pendientes de las regresiones de rendimiento (kg/ha) frente a la evaluación de la severidad de la enfermedad en diferentes etapas de crecimiento, y en la curva de progreso del área bajo la enfermedad (AU ----- 107

**Tabla 29.** Análisis económico de las aplicaciones de fungicidas foliares de dos epidemias de enfermedades fúngicas foliares del trigo en parcelas de secano en dos años de evaluación----- 108

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## *Prólogo*



La agricultura, como pilar fundamental de la seguridad alimentaria mundial, enfrenta el desafío constante de optimizar los sistemas de producción para garantizar rendimientos sostenibles y de alta calidad. En este contexto, la presente investigación aborda diversos aspectos clave para promover prácticas agrícolas más amigables con el medio ambiente y eficientes.

Los estudios aquí presentados exploran desde la promoción de la biodiversidad en agroecosistemas a través de la utilización de plantas arvenses nativas, hasta el desarrollo de estrategias de control biológico y la optimización de prácticas de postcosecha. Asimismo, se analizan los efectos de diferentes tratamientos agronómicos en cultivos de interés económico, como el cáñamo y el trigo, con el objetivo de maximizar su rendimiento y calidad.

A través de rigurosos experimentos y análisis estadísticos, los autores ofrecen valiosos conocimientos sobre la influencia de factores como la diversidad de insectos benéficos, la aplicación de biofertilizantes y el uso de extractos botánicos en el control de plagas y enfermedades. Los resultados obtenidos contribuyen a ampliar el conocimiento científico en el campo de la agricultura sostenible y proporcionan herramientas prácticas para agricultores y técnicos agrícolas.

Esta obra se dirige a un público amplio, incluyendo investigadores, estudiantes, agricultores y tomadores de decisiones en el sector agrícola. Los hallazgos presentados en este trabajo tienen el potencial de inspirar nuevas investigaciones y promover la adopción de prácticas agrícolas más sostenibles, contribuyendo así a la construcción de un futuro más sostenible para la agricultura y la alimentación.

**Los Autores**

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## *Introducción*



La polinización, un proceso fundamental para la reproducción de las plantas, juega un papel crucial en la producción agrícola a nivel mundial. Aproximadamente el 72% de los cultivos dependen de los servicios de polinización proporcionados por insectos, como abejas, escarabajos, mariposas y moscas, destacando la interrelación vital entre la biodiversidad de los polinizadores y la diversidad de cultivos. El impacto económico de esta sinergia resulta considerable, estimándose en \$518 billones anuales. Al mismo tiempo, estrategias ecológicas en la agricultura, como el uso de rizobacterias promotoras de crecimiento, se están implementando para mejorar la productividad de cultivos industriales, como el cáñamo, y reducir la dependencia de insumos sintéticos.

En el contexto de Ecuador, la investigación sobre cultivos de flores y frutas, como la rosa y la tuna, aborda tanto la necesidad de manejar plagas como la optimización de prácticas postcosecha. El control de plagas, especialmente en cultivos florales, es imperativo para mitigar las significativas pérdidas económicas causadas por ácaros. A su vez, la tuna, aunque prometedora en el mercado, enfrenta desafíos asociados con su cosecha y la eliminación de espinas, lo que afecta su vida útil en el almacenamiento y comercialización.

Finalmente, el trigo, como uno de los cultivos más sembrados a nivel global, es afectado por enfermedades foliares fúngicas que comprometen su rendimiento. La investigación en su epidemiología y el uso de fungicidas se vuelven esenciales para asegurar la seguridad alimentaria en un mundo con condiciones climáticas cambiantes. Así, este conjunto de investigaciones representa un enfoque integral hacia la conservación de la biodiversidad, el manejo sostenible de cultivos y la optimización de la producción agrícola en Ecuador y el mundo.

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

# 1

## **Capítulo**

Abundancia de Insectos benéficos  
asociados a plantas arvenses,  
Imbabura

**AUTORES:** Julia Prado; Ana Pincay; Ima Sánchez; Doris Chalampunte; Miguel Gómez



## **Abundancia de insectos benéficos asociados a plantas arvenses, Imbabura**

Beneficial insect abundance in weeds of the Imbabura region

### **Resumen**

Los insectos benéficos se incrementan cuando existe la presencia de arvenses nativas en los agroecosistemas, estas plantas proveen de alimento, refugio y sitios de nidificación a los insectos. El objetivo de la presente investigación fue cuantificar insectos benéficos presentes en plantas arvenses nativas, con el fin de utilizarlas en el paisaje de los agroecosistemas. El estudio se llevó a cabo en la granja Experimental La Pradera, evaluando 22 plantas arvenses en 30 sitios de muestreo, con un área de 500 m<sup>2</sup> aproximadamente; se realizaron 10 pases con la red entomológica para la captura de los insectos, con frecuencia mensual durante seis meses, una vez colectados los insectos fueron identificados y clasificados por orden y morfotipo. Los resultados indican que existen alrededor de 16000 insectos, de los cuales el 15% presentó polen en sus estructuras, el orden Himenoptera mostró ser el predominante con el 45% del total de los insectos, también se determinaron 104 morfotipos. Las plantas arvenses *Dalea coerulea* L.f., *Dysphania ambrosioides* L. y *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. presentaron el mayor número de insectos por metro cuadrado (200-500), además de poseer índices de biodiversidad altos que van desde 3.07 a 4.95 lo que indica diversidad alta. Por otro lado, *Fuertesimalva limensis* (L.) Fryxell mostró ser la planta hospedera del mayor número de morfotipos con un total de 63 individuos. El uso de plantas arvenses nativas para el manejo de hábitats en los agroecosistemas contribuye a la composición y diversidad e influye en la riqueza de poblaciones de artrópodos.

**Palabras clave:** Insectos, Plantas, Arvenses, Artropodos, Abundancia.

### **Abstract**

Beneficial insects increase when there is the presence of native weeds in agroecosystems; these plants provide food, shelter and nesting sites for insects. The objective of this research was to quantify beneficial insects present in native weed plants, in order to use them in the landscape of agroecosystems. The study was carried out at the La Pradera Experimental farm, evaluating 22 weed plants in 30 sampling sites, with an area of approximately 500 m<sup>2</sup>; 10 passes were made with the entomological net to capture the insects, with a monthly frequency for six months. Once collected, the insects were identified

and classified by order and morphotype. The results indicate that there are around 16,000 insects, of which 15% had pollen in their structures, the order Hymenoptera showed to be the predominant one with 45% of the total insects, 104 morphotypes were also determined. The weed plants *Dalea coerulea* L.f., *Dysphania ambrosioides* L. and *Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm. presented the highest number of insects per square meter (200-500), in addition to having high biodiversity indices ranging from 3.07 to 4.95, which indicates high diversity. On the other hand, *Fuertesimalva limensis* (L.) Fryxell shown to be the host plant for the largest number of insects morphotypes with a total of 63 individuals. The use of native weed plants for habitat management in agroecosystems contributes to the composition and diversity and influences the richness of arthropod populations.

**Keywords:** Insects, Plants, Weeds, Arthropods, Abundance.

## Introducción

Alrededor de las dos terceras partes de las especies de plantas dependen de insectos polinizadores, especialmente abejas, escarabajos, mariposas y moscas (Schoonhoven, Van Loon y Dicke, 2005). Así, la diversidad de cultivos depende en gran medida de los servicios de polinización de los insectos para su producción, aproximadamente el 72%. Los frutos de muchos cultivos como: sandía, melón, calabazas, kiwis, maracuyá, macadamia, cacao, vainilla, manzana, almendra, fresa, aguacate, ciruela, melocotón, albaricoque, cereza, pepino, coco, mango, soja, algodón, girasol, haba y café son producto de la entomofilia (Gallai, Salles, Settele y Vaissiere, 2009; Klein et al., 2007; Losey y Vaughan, 2006). El valor a nivel global de polinización fue estimado en \$518 billones por año (Raven y Wagner, 2020).

Invertir en el manejo ecológico de la agricultura podría crear una biodiversidad sincrónica e incrementar la población de insectos polinizadores (Garratt et al., 2004). A escala mundial, se estima que los servicios de polinización contribuyen aproximadamente al 9.5% de toda la producción de cultivos (Gallai et al., 2009). Los beneficios de la polinización no solo se representan en términos de rendimiento, sino también en la calidad de la fruta (Garratt et al., 2004).

Las plantas presentan estrategias para atraer polinizadores que son esenciales para su reproducción exitosa, uno de los aspectos más notorios en las angiospermas es la diversidad de flores, así como su evolución, la que ha sido ampliamente asociada con el comportamiento de los polinizadores,

que son compensados con recompensas por parte la planta (néctar y polen) cuando ellos contribuyen a la reproducción de las plantas (Schiestl y Johnson, 2013). Para maximizar la reproducción, las plantas pueden responder a los polinizadores con cambios en los colores de las flores y olores y así guiarlos hacia aquellas que aún no han sido polinizadas (Rodríguez-Saona, Parra, Quiroz e Isaacs, 2011).

Además de lo anterior es importante rescatar la simbiosis existente entre plantas arvenses e insectos polinizadores y su contribución a la conservación en los ecosistemas a través del incremento de la biodiversidad de polinizadores y plantas. Este tipo de plantas son pioneras y colonizadoras en procesos cíclicos en áreas perturbadas, cumplen con funciones ecológicas importantes como, por ejemplo, con sus sistemas radiculares retienen el suelo evitando la erosión, sirven de alimento a fitófagos y plagas de cultivos, proveen de néctar y polen a insectos cosechadores de miel, además fijan nitrógeno e incorporan materia orgánica contribuyendo a la formación del suelo (Sánchez y Guevara, 2013). La presente investigación pretende establecer las poblaciones de insectos polinizadores en las diferentes especies de plantas arvenses nativas encontradas en la Granja Experimental La Pradera.

## **Metodología**

La investigación se realizó en la Granja Experimental La Pradera, ubicada en Chaltura, Provincia de Imbabura, se seleccionaron 22 plantas arvenses nativas, las mismas que se dividieron en 30 sitios, alcanzando un área de 500 m<sup>2</sup>. En cada sitio de muestreo se consideró un metro cuadrado desde el centro de la planta arvense, utilizando un cuadrado de madera de 100 x 100 cm. En el recorrido realizado por el sitio de estudio se encontraron alrededor de 22 especies de plantas arvenses

Para la colecta de insectos se utilizaron redes entomológicas de tul sostenidas por un aro de alambre de 30 cm de diámetro, unida a un mango de madera de 70 cm, se realizaron 10 pases con la red entomológica con movimientos rápidos o barrido, impidiendo la salida de los insectos, realizando figuras en forma de "8" (Medina, 1977) para la captura de insectos en cada una de las plantas arvenses. Además, se colocaron trampas cromáticas amarillas tipo Horiver de 10x25 cm con divisiones negras como rejillas, una por sitio de muestreo, a la altura de la floración con frecuencia mensual, durante cinco meses. Los insectos colectados con la red se colocaron en frascos letales y las trampas se cubrieron con plástico para ser transportados al laboratorio de Entomología.

En el laboratorio se analizaron cada uno de los insectos capturados a través de un estereoscopio, para determinar la presencia de polen en el cuerpo de los individuos (Figura 1). Los insectos fueron clasificados por orden utilizando la Guía de Johnson y Triplehorn (2004) y se determinaron morfotipos, considerando las características morfológicas de los insectos. Los insectos se colocaron en cajas entomológicas elaboradas de madera con tapa de vidrio, con una lámina de corcho. Los análisis se basaron en estadística descriptiva e índices de biodiversidad con el Programa Infostat versión 2020 (Di Rienzo et al., 2017).

**Figura 1.**

*Granos de polen adheridos al cuerpo de un insecto.*



**Resultados y discusión**

En el recorrido realizado por el sitio de estudio se encontraron alrededor de 22 especies de plantas arvenses nativas distribuidas entre las familias Amaranthaceae, Apiaceae, Asteraceae, Convolvulaceae, Euphorbiaceae, Fabaceae, Lamiaceae, Malvaceae, Solanaceae y Verbenaceae (Tabla 1).

**Tabla 1.**

*Especies de plantas arvenses nativas evaluadas en La Granja Experimental “La Pradera”.*

Familia	Nombre Común	Nombre Científico
Amaranthaceae	Moradilla	<i>Alternanthera porrigens</i> (Jacq.) Kuntze
Amaranthaceae	Paico	<i>Dysphania ambrosioides</i> (L.) Mosyakin y Clements
Amaranthaceae	Yuyo colorado	<i>Amaranthus quitensis</i> Kunth
Apiaceae	Granillo	<i>Anthriscus sylvestris</i> (L.) Hoffm.
Asteraceae	Amor seco	<i>Bidens pilosa</i> L.
Asteraceae	Chilca	<i>Baccharis latifolia</i> (Ruiz y Pavón) Pers
Asteraceae	Hierba de gallinazo	<i>Tagetes zypaquirensis</i> Humb. & Bonpl.
Asteraceae	Marco	<i>Ambrosia arborescens</i> Mill
Asteraceae	Rama negra	<i>Conyza bonariensis</i> (L.) Cronq
Convolvulaceae	Campanitas	<i>Ipomea purpurea</i> (L.) Roth
Euphorbiaceae	Mosquera	<i>Croton elegans</i> Kunth
Fabaceae	Chocho silvestre	<i>Lupinus pubescens</i> Benth
Fabaceae	Dormilona grande	<i>Mimosa albida</i> Willd
Fabaceae	Iso	<i>Dalea coerulea</i> (L.f.) Schinz & Thell
Fabaceae	Trébol tropical	<i>Desmodium</i> sp.
Solanaceae	Tomatillo	<i>Capsicum rhomboideum</i> (Dunal) Kuntze
Lamiaceae	Matico	<b><i>Salvia sagittata</i> Ruiz &amp; Pav.</b>
Malvaceae	Escobilla	<i>Sida rhombifolia</i> L.
Malvaceae	Malva	<i>Fuertesimalva limensis</i> (L.) Fryxell
Solanaceae	Belladona	<i>Nicandra physalodes</i> (L.) Gaertn
Solanaceae	Hierba mora	<i>Solanum nigrescens</i> <u>M.Martens &amp; Galeotti</u>
Verbenaceae	Verbena	<i>Verbena litoralis</i> Kunth

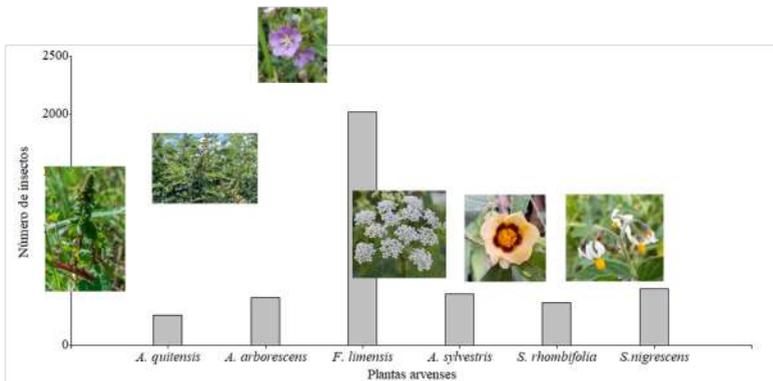
Torre, Navarrete, Macía y Balslev (2008) indican que las principales familias nectaríferas y poliníferas comprenden Fabaceae, Lamiaceae, Brassicaceae, Poaceae y Asteraceae, las mismas que cuentan con alta cantidad de néctar y concentración de azúcares, lo que les hace apetecibles especialmente a los polinizadores, por su gran valor melífero; datos que son similares a esta investigación, en donde las familias con más número de insectos fueron Fabaceae y Asteraceae.

En los muestreos de insectos se encontraron aproximadamente 6000 individuos que corresponden a los órdenes Coleoptera, Diptera, Hemiptera, Himenoptera, Lepidoptera, Neuroptera y Ortoptera; en donde el 40% corresponde al orden Himenoptera, seguido de Dipteros y Hemipteros con un 29 y 25% respectivamente (Figura 2). Tylanakis, Tschardt y Lewis (2007) indican que existen varios órdenes de insectos que son conocidos como polinizadores, dentro de los que encontramos Himenoptera, Lepidoptera, Coleoptera y Diptera, siendo Hymenoptera los más importantes y efectivos. Similares resultados se encontraron en esta investigación, donde el 40% de los insectos encontrados pertenece al orden Himenoptera y un gran número de ellos presentaban granos de polen en su cuerpo (Figura 1 y 2). Los polinizadores mantienen el ecosistema saludable, aseguran la reproducción de plantas e incrementan la diversidad genética del sistema (Rehan, Richards y Schwarz, 2010).

*A. quitensis*, *A. arborescens*, *F. limensis*, *A. sylvestris*, *S. rhombifolia*, *S. nigrescens* presentaron mayor número de insectos en los muestreos; siendo *F. limensis* la que hospeda más del 35% de los insectos (Figura 2).

**Figura 2.**

*Número de insectos en las principales plantas arvenses durante los muestreos.*



**Figura 3.**

*Insectos en Fuertesimalva limensis (L.) Fryxell.*



Esta es una planta con diversas tonalidades en sus flores y según sugieren Lucas-Barbosa et al (2015) la combinación de colores y olores influyen en el comportamiento de los visitantes de las flores, ya que la alimentación es asociada a las claves de color, es quizás esta la razón por la que se encontró mayor cantidad de insectos en las mismas. Además de tener una gran acogida en los insectos, se ha reportado que esta planta tiene usos medicinales al combatir el catarro, la tos intensa, bronquitis, amigdalitis y el asma (Aguirre-Mendoza, Jaramillo-Díaz y Quizhpe-Coronel, 2019).

Presentaron flores grandes con abundante cantidad de polen y néctar de colores atractivos para los insectos especialmente Himenopteros, flores de color amarillo y fucsia, la familia Malvaceae presenta flores solitarias o en inflorescencias con polen muricados perfectas, grandes, con coloraciones vistosas en los pétalos (morados y blancos), que atraen a insectos y aves, principales polinizadores en esta familia (Ferrer, Ferrando y Laguna, 2016). Así mismo, hay especies melitófilas, ornitófilas y quiropterófilas, según Fryxell (2008), menciona que esto se debe gracias a que las malváceas presentan nectarios calicinos y según su estructura histológica son tricomáticos (pelos glandulares cuyas cabezuelas secretan néctar). Baudilio (2009), recalca la importancia de esta familia al mencionar que estas especies se localizan principalmente en sitios cálidos, lugares despejados o alterados con suelos secos y arenosos, aportando con materia orgánica y nitrógeno.

Las interacciones entre plantas y polinizadores es uno de los principales modelos de evolución adaptativa en la naturaleza, está demostrado que la presencia de diferentes especies de arvenses en los cultivos mantiene la

composición entomofauna y a su vez, los insectos benéficos tienen mayores posibilidades de encontrar presas alternativas, refugio y sitios para reproducción y dormancia (Blanco y Leyva, 2007). Las complejas interacciones que se establecen entre las plantas y los animales que visitan sus flores son de interés para la ecología de la polinización y esta a su vez para desempeñar el papel de selección natural como motor evolutivo, es así que existen complejas adaptaciones y relaciones altamente evolucionadas entre insectos y plantas (Kawahara et al. 2021).

Godoy y Busso (2004) sugieren que la polinización realizada por insectos de los órdenes Coleopteros, Lepidopteros, Dipteros y Hemipteros cumplen con un papel fundamental dentro de la producción global, la misma que se asemeja a la realizada por los himenopteros (abejas). González y Hernández (2014) aluden que la diferencia entre polinizadores del orden Himenoptera y de los órdenes Coleopteros, Lepidopteros, Dipteros y Hemipteros radica en las visitas florales. Generalmente los especímenes diferentes a los Himenopteros realizan visitas entre un 25% y 50% del 100% de la planta lo que quiere decir que la planta no es polinizada en su totalidad convirtiéndoles en polinizadores menos eficientes, sin embargo, realizan un número más alto de visitas florales. Por otro lado, Gaona et al (2006) recalcan que el grupo de polinizadores antes mencionados es menos afectado por el cambio climático o por los actuales sistemas de producción agrícola, de echo reaccionan de mejor manera frente a cambios dentro de la vegetación natural o a cambios en el uso del suelo (Stefanescu et al., 2018).

A pesar de la importancia de los órdenes ajenos al orden Himenoptera, Fernández y Pujada (2015) señalan que el orden Himenoptera es el que quizá desempeña el papel más importante en la polinización. Desde un punto de vista antropocéntrico, ecológico y biodiverso, este grupo ha alcanzado un elevado grado de evolución en cuanto a morfología, relaciones tróficas, comportamiento al buscar alimento, vivir solos o en comunidades y comportamiento social; en consecuencia, es el grupo más beneficioso tanto en agricultura como en los ecosistemas en general. Dependen en su totalidad de las flores para cumplir sus ciclos de vida, pues son visitantes florales obligados y polinizadores de un sin número de especies vegetales. Para terminar, coleopteros, lepidopteros, dipteros, hemipteros e himenopteros son la clave para llevar a término una polinización eficiente y para una producción óptima (Chacoff y Monmany, 2009).

Por otro lado, varios grupos de enemigos naturales utilizan recursos que no son las plagas como néctar y polen, así puede beneficiarse de los recursos para completar los ciclos de vida en franjas florales, lo que incrementa los niveles de control biológico en agroecosistemas. Letourneau et al (2011) en un metaanálisis, encontró que la supresión de herbívoros, incremento de la abundancia

de enemigos naturales, además de la reducción del daño de cultivos, cambia con el aumento de la diversidad de la vegetación. Además, la diversidad en los agroecosistemas incrementa la abundancia de polinizadores, lo que implica en el aumento de la producción de cultivos (Blake et al. 2011).

La diversidad funcional de flores afecta la visita de los insectos, por ejemplo, los sirphidos son atraídos por flores abiertas, mientras que los abejorros prefieren visitar flores tubulares, a pesar de que ellos polinizan también flores abiertas (Fontaine et al. 2006). De manera similar, Campbel et al (2012) muestra que los abejorros están asociados con flores tubulares, mientras que los sirphidos y parasitoides están fuertemente relacionados con flores de corola corta, lo cual puede ser atribuido a su corto aparato bucal de la mayoría de los parasitoides Hymenoptera y varios predadores que restringen su alimentación a néctar y polen expuesto (Wackers y van Rijn 2012).

Por lo anterior es que la utilización de plantas arvenses está encaminada a un manejo agroecológico de agroecosistemas, en donde el incremento de la biodiversidad llevará al aumento de artrópodos benéficos para cumplir con las interacciones insecto-planta-ecosistema (Albino et al., 2011). Los insectos polinizadores para su perpetuación y reproducción necesitan de plantas hospederas, dentro de ellas se tiene a las arvenses que son consideradas plagas por el agricultor, pese a ello cumplen con un papel biológico beneficioso dentro del agroecosistema, ayudan en la protección de los suelos contra la erosión, regulan las aguas de escorrentía y el papel más importante es que son influyentes en la conservación de biodiversidad genética (Sánchez y Guevara, 2013).

## **Conclusiones**

Las especies de plantas arvenses mostraron en este estudio ser hospederos de polinizadores, el 40% comprende el orden Himenoptera, 29% Diptera, 25% Hemiptera y 5% Coleoptera. Las características de estas plantas contribuirían a integrar un manejo agroecológico de los ecosistemas en donde preservar la biodiversidad es uno de los principales principios; además, de contribuir en el incremento del servicio ecosistémico de polinización ya que proveen de néctar y polen.

## **Recomendaciones**

Futuros estudios de paisaje, enfocados en la integración de plantas arvenses nativas en los agroecosistemas son necesarios como herramientas para entender las interacciones insecto-planta y su importancia en la contribución de la polinización.

## Referencias bibliográficas

- Aguirre-Mendoza Z., Jaramillo-Díaz N., y Quizhpe-Coronel W. (2019). *Arvenses asociadas a cultivos y pastizales del Ecuador*. Universidad Nacional de Loja. Ecuador
- Albino, C., Cervantes, H., López, M., Ríos, L., y Lira, R. (2011). Diversity and ethno-botanical facts of the weeds from Tehuacan–Cuicatlán Valley: San Rafael, Coxcatlán Municipality, Puebla. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3), 1005- 1019.
- Blake, R.J., Westbury DB, Woodcock BA, Sutton P y Potts SG. (2011) Enhancing habitat to help the plight of the bumblebee. *Pest Management Science* 67: 377–379.
- Blanco, Y., y Leyva, Á. (2007). Las arvenses en el agroecosistema y sus beneficios agroecológicos como hospederas de enemigos naturales. *Cultivos Tropicales*, 28(2), 21-28.
- Baudilio, J. (2009). La subfamilia Malvoideae (Malvaceae s.l.) en el occidente del estado Sucre, Venezuela. *Revista UDO Agrícola*, 9(3), 599-621.
- Campbell A.J., Biesmeijer JC., Varma V. y Wackers FL. (2012) Realising multiple ecosystem services based on the response of three beneficial insect groups to floral traits and trait diversity. *Basic and Applied Ecology* 13: 363-370
- Chacoff, N., & Monmany, C. (2009). El caso del Citrus paradisi (Pomelo). En N. Chacoff, & C. Monmany, *Interacciones planta-insecto y sus implicancias para los sistemas agrícolas en el pedemonte del Alto Bermejo*. (págs. 1-21). Mendoza: San Juan.
- Di Rienzo, J. A., Casanoves, F, Balzarini, M. G., González, L., Tablada, M., y Robledo, C. W. (2017). Infostat versión 2017. Grupo Infostat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Ferrer, P., Ferrando, I., & Laguna, E. (2016). Sobre la presencia de *Abutilon arboreum* (L.f.) sweet (Malvaceae) en la flora Valenciana. *Flora Montiberica*, 63(5), 82-85.
- Fernández, S., & Pujade, J. (2015). Orden Hymenoptera. *Ibero Diversidad Entomológica*, 1(59), 1-36

- Fontaine, C., Dajor I, Meriguet J. y Loreau M. (2006). Functional diversity of plant-pollinator interaction webs enhances the persistence of plant communities. *PLoS Biology* 4: 129-136
- Fryxell, P. (2008). Malvaceae of Mexico. *Syst.Bot.Monogr*, 25(1), 15-22.
- Johnson, N. F. y Triplehorn, C. A. (2004). *Borror and DeLong's Introduction to the Study of Insects*. Belmont, California: Thompson Brooks/Cole.
- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., y Vaissiere, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68, 810-821.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., Klein, A. M. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honeybee abundance. *Science* 339, 1608-1611.
- Garratt, M. P. D., Breeze, T. D., Jenner, N., Polce, C., Biesmeijer, J. C., y Potts, S. G. (2014). Avoiding a bad apple: insect pollination enhances fruit quality and economic value. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 184, 34-40.
- Gaona, G., Ruiz, E., Myartseva, S., Trjapitzin, V., Coronado, J., & Mora, A. (2006). Himenópteros parasitoides (Chalcidoidea) de Coccoidea (Homoptera) en CD.Victoria, Tamaulipas, México. *Acta Zoológica Mexicana*, 22(1), 9-16
- Godoy, M. V., y Busso, L. (2004). Guía de consultas diversidad vegetal (UNNE), FACENA. Obtenido de Diversidad Vegetal: <http://exa.unne.edu.ar>
- González, H. D., & Hernández, D. C. (2013). Riqueza de Hymenoptera. Biodiversidad, 63(7), 45-58.
- Kawahara, A.Y., Reeves, L.E., Barber, J.R., y Black, S.H. (2021). Eight simple actions that individuals can take to save insects from global declines. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 118 (2): 1-6 <https://doi.org/10.1073/pnas.200254711>
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., y Tscharntke, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 274, 303-313.

- Letourneau DK, Armbrecht I, Rivera BS, Lerma JM, Carmona EJ. et al. (2011) Does plant diversity benefit agroecosystems? A synthetic review. *Ecological Applications* 21: 9–21.
- Losey, J. E., y Vaughan, M. (2006). The economic value of ecological services provided by insects. *Bioscience*, 56, 311-323.
- Lucas-Barbosa, D., Sun, P., Hakman, A., van Beek, T. A., van Loon, J. J. A., y Dicke, M. (2016). Visual and odour cues: plant responses to pollination and herbivory affect the behaviour of flower visitors. *Functional Ecology*, 30, 431-441.
- Rehan, S. M., Richards, M. H., Schwarz, M. P. (2010). Social polymorphism in the Australian small carpenter bee, *Ceratina* (Neoceratina) *australensis*. *Insectes Sociaux*, 57 (4), 403-412.
- Rodríguez-Saona, C., Parra, L., Quiroz, A., e Isaacs, R. (2011). Variation in high-bush blueberry floral volatile profiles as a function of pollination status, cultivar, time of day and flower part: implications for flower visitation by bees. *Annals of Botany*, 107, 1377–1390.
- Sánchez, J., y Guevara, F. (2013). Plantas arvenses asociadas a cultivos de maíz de temporada en suelos salinos de la Ribera del Lago de Cuitzeo, Michoacán, México. *Acta Botánica Mexicana*, 105(1), 107-129.
- Schiestl, F. P., y Johnson, S. D. (2013). Pollinator-mediated evolution of floral signals. *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 307–315.
- Schoonhoven, L. M., Van Loon, J. J. A., y Dicke, M. (2005). *Insect-plant biology*. Oxford University Press, Oxford, UK, 400 pp.
- Stefanescu, C., Aguado, L., Asís, J., Baños-Picón, L., Cerdá, X., García, M. M., . . . Tormos, J. (2018). Diversidad de insectos polinizadores en la península Ibérica. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*, 27(2), 9-22.
- Tylianakis, J. M., Tscharntke, T., y Lewis, O. T. (2007). Habitat modification alters the structure of tropical host–parasitoid food webs. *Nature*, 445, 202-205.
- Wackers FL., y van Rijn PCJ. (2012). Pick and mix: selecting flowering plants to meet the requirements of target biological control insects. Biodiversity and Insect Pests: Key Issues for Sustainable Management (ed. By GM Gurr y SD Wratten), pp 139-165, John Wiley y Sons, Chichester, UK

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## **2**

### **Capítulo**

Bacillus subtilis, en la promoción de  
crecimiento vegetal de plantas de  
cañamo

**AUTORES:** Eliana Granja; Claudio Darwin; Néstor Luzón



## **Bacillus subtilis, en la promoción de crecimiento vegetal de plantas de cáñamo**

Bacillus subtilis, in the plant growth promotion of hemp plants.

### **Resumen**

El cáñamo es un cultivo industrial que ha ido en crecimiento por lo que esta planta se ha convertido en un pilar fundamental en la economía agrícola de muchos países, por ello el objetivo de la presente investigación fue evaluar dos cepas de *B. subtilis* comercial en la promoción de crecimiento en plantas de cáñamo, como estrategia para reducir el uso de insumos sintéticos y contribuir con la sostenibilidad del cultivo. El estudio se llevó a cabo en la granja experimental IASA I, ubicado en Sangolquí, Provincia de Pichincha, se evaluó la respuesta de 24 plantas de cáñamo por efecto de células de dos cepas de *B. subtilis* CtpxS2-1 y CtpxS3-5 en condiciones de invernadero y laboratorio para determinar fijación de nitrógeno y solubilización de fósforo, cuantificación de proteína, medición cuantitativa de Ácido Indol Acético (AIA), contenido de clorofila y sólidos solubles totales. Los resultados indican que la cepa CtpxS3-5 logró una altura de 79,71 cm a los 60 días, superior a los 75,85 cm del tratamiento testigo, las cepas CtpxS2-1 y CtpxS3-5 mostraron un mayor contenido de clorofila, con 32,07 y 24,2 unidades de CCI, respectivamente, además, la cepa CtpxS3-5 mostró un promedio mayor de 5,07 mg de proteína por gramo de material fresco. Se evidenció mayor concentración de AIA de 1,32 mg/ml y 1,16 mg/ml en las raíces de las plantas de cáñamo tratadas con *B. subtilis* Ctpx2-1 y *B. subtilis* de la cepa Ctpx3-5 respectivamente.

**Palabras claves:** Cañamo, Vegetal, Plantas, Crecimiento, *Bacillus*.

### **Abstrac**

Hemp is an industrial crop that has been growing, which is why this plant has become a fundamental pillar in the agricultural economy of many countries. Therefore, the objective of this research was to evaluate two strains of commercial *B. subtilis* in the promotion of growth in hemp plants, as a strategy to reduce the use of synthetic inputs and contribute to the sustainability of the crop. The study was carried out at the IASA I experimental farm, located in Sangolquí, Province of Pichincha, the response of 24 hemp plants was evaluated by the effect of cells from two strains of *B. subtilis* CtpxS2-1 and CtpxS3-5 under conditions greenhouse and laboratory to determine nitrogen fixation and phosphorus solubilization, protein quantification, quantitative measurement of Indole Acetic Acid (IAA), chlorophyll content and total soluble solids. The results indicate that the CtpxS3-5 strain achieved a height of 79.71 cm at 60

days, higher than the 75.85 cm of the control treatment, the CtpxS2-1 and CtpxS3-5 strains showed a higher chlorophyll content, with 32.07 and 24.2 CCI units, respectively, in addition, the CtpxS3-5 strain showed a higher average of 5.07 mg of protein per gram of fresh material. A higher concentration of IAA of 1.32 mg/ml and 1.16 mg/ml was evident in the roots of hemp plants treated with *B. subtilis* Ctpx2-1 and *B. subtilis* of the Ctpx3-5 strain, respectively.

**Keywords:** Hemp, plant, plants, growth, *Bacillus*

## Introducción

El cáñamo es un cultivo industrial que ha ido en crecimiento por lo que esta planta se ha convertido en un pilar fundamental en la economía agrícola de muchos países, donde su cultivo es legal (Wimalasiri et al., 2021), el uso de sus semillas para la extracción de aceite, es principalmente destinado en las industrias cosmética, farmacéutica y alimenticia (Crini et al., 2020).

Al ser un cultivo que está en crecimiento es necesario implementar estrategias que favorezcan su producción, bajo este enfoque se han identificado rizobacterias promotoras de crecimiento (PGPR) que mejoran la absorción de nutrientes en plantas mediante la fijación de nitrógeno, la solubilización de fósforo y la producción de sustancias promotoras del crecimiento, como el ácido indolacético. Además, generan sideróforos y combaten microorganismos fitopatógenos, ayudando al control de enfermedades. Por estas propiedades, se utilizan como biofertilizantes para aumentar la calidad y productividad de los cultivos (Yadav et al., 2010), por ejemplo, a través de la interacción de microorganismos como *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Clostridium* y *Klebsiella*, que fijan nitrógeno por asociación y otros por simbiosis como *Rhizobium* y *Bradyrhizobium* (Corrales et al., 2017)

Otros mecanismos indirectos de las rizobacterias facilitan la asimilación de nutrientes mediante la producción de antibióticos y metabolitos. Estos incluyen: 1) producción de sideróforos, 2) generación de enzimas hidrolíticas y antibióticos, como el ácido jasmónico, ácido salicílico y fitoalexinas, y 3) formación de biopelículas, que ayudan a reducir los efectos de altas concentraciones de salinidad y sequía en los suelos. (Cabello et al., 2019).

La presente investigación pretende evaluar dos cepas de *B. subtilis* comercial en la promoción de crecimiento en plantas de cáñamo, como estrategia para reducir el uso de insumos sintéticos y contribuir con la sostenibilidad del cultivo.

## Metodología

La investigación se realizó en la Granja Experimental IASA I, ubicado en Sangolquí, Provincia de Pichincha, se evaluó la respuesta de 24 plantas de cáñamo por efecto de células de dos cepas de *B. subtilis* CtpxS2-1 y CtpxS3-5 en condiciones de invernadero. Además, se colocaron cuatro plantas de cáñamo en rizotrones con dimensiones (1.0 m x 0,5 m x 0,4 m), donde cada 2 plantas se consideraron como una unidad experimental. Sobre las unidades experimentales se distribuyeron en forma aleatoria los tratamientos.

**Tabla 2.**

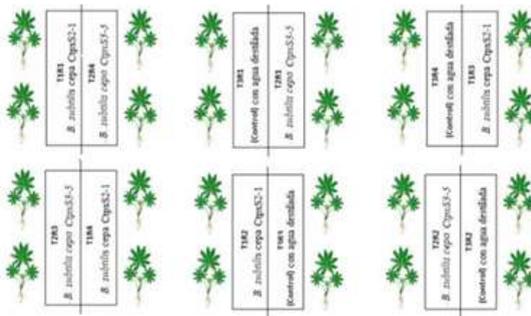
*Descripción de los tratamientos.*

Tratamiento	Características
T1	Ocho semillas de cáñamo inoculadas con células libres de <i>B. subtilis</i> cepa comercial CtpxS3-5 ( $1 \times 10^6$ UFC/ml)
T2	Ocho semillas de cáñamo inoculadas con células libres de <i>B. subtilis</i> CtpxS2-1 cepa comercial ( $1 \times 10^6$ UFC/ml)
T3 (Testigo)	Ocho semillas de cáñamo sumergidas en agua destilada estéril

El experimento se dispuso bajo un diseño completamente al azar (DCA), con tres tratamientos y 4 repeticiones.

**Figura 4.**

*Disposición espacial del experimento.*



## Fase de invernadero

Se desinfectaron semillas de cáñamo mediante inmersión en una solución

de hipoclorito de sodio al 1% por dos minutos, seguido de un enjuague con agua destilada estéril y una inmersión en alcohol al 70% por dos minutos adicionales. Posteriormente, se inocularon con *Bacillus subtilis* (cepas CtpxS2-1 y CtpxS3-5) a una concentración de  $1 \times 10^6$  UFC/ml durante cuatro horas, y se colocaron en una cámara de germinación a 22°C durante siete días.

Se instalaron 6 rizotrones (1,0 m de largo, 0,5 m de ancho y 0,5 m de profundidad), con sustrato estéril. Se colocaron 4 plántulas previamente germinadas en cada rizotróon, según el diseño de instalación (DCA), luego de ello se inocularon cepas comerciales de *B. subtilis* CtpxS2-1 y CtpxS3-5, en concentración de  $1 \times 10^6$  UFC ml<sup>-1</sup> cada 15 días, durante 3 meses, se aplicó 200 ml a la altura de la base del cuello del tallo por cada planta (Yáñez, V., & Falconí, C. 2021).

### Fase de laboratorio

#### Pruebas bioquímicas

La fijación de nitrógeno se evaluó mediante el agotamiento de las cepas *B. subtilis* CtpxS2-1, CtpxS3-5 y una bacteria control, cultivadas en placas con medio Ashby, un medio sólido libre de nitrógeno. La capacidad de solubilización de fosfatos se determinó incubando 10 µl de cada inóculo ( $1 \times 10^6$  células/ml) en medio Pikovskaya, observando la formación de un halo transparente alrededor de las colonias, lo que indica una prueba positiva para la disolución de fosfatos (Romero et al., 2019)

#### Cuantificación de proteína

Para cuantificar proteína se utilizó Quanti pro TM BCA Kit SIGMA-ALDRICH®, la solución madre, la solución buffer y la solución de reacción para el análisis se realizó de forma estricta como lo indica el protocolo del Kit. Se pulverizaron hojas con nitrógeno líquido y se pesó 1 g de hojas liofilizadas. Luego, se colocaron en tubos Eppendorf con 1 ml de PBS, se maceraron con un micropistilo y se aforó a 2 ml con PBS, manteniendo la cadena de frío. Se centrifugaron a 1400 RPM durante 20 minutos, extrayendo 500 µl del sobrenadante, que se diluyó en una proporción 1:2 con 100 µl de PBS. Finalmente, los tubos se centrifugaron nuevamente y se almacenaron en una crio-congeladora a -80°C.

Por último, se colocó en el espectrofotómetro para obtener la curva de calibración (Thermo Scientific (2007) quedando de la siguiente manera:

### Tabla 3.

*Curva estándar para la determinación de proteína por espectrofotometría.*

Estándares	Volumen de PBS (μL)	Volumen de BSA (μL)	Concentración de BSA final (μg/mL)
A	0	300 of Stock	2000
B	125	375 of Stock	1500
C	325	325 of Stock	1000
D	175	175 de la dilución del tubo B	750
E	325	325 de la dilución del tubo C	500
F	325	325 de la dilución del tubo E	250
G	325	325 de la dilución del tubo F	125
H	400	100 de la dilución del tubo G	25
I	400	0	0 = Blanco

Medición cuantitativa de Ácido Indol Acético (AIA)

La producción de ácido indolacético (AIA) se determinó siguiendo los protocolos de Salkowski (1889) y las modificaciones de Bric et al. (1991). Se preparó una solución madre de AIA a 1 mg/ml y se realizaron soluciones patrón con concentraciones de 0, 2, 4, 8, 10, 15, 20 y 30 μg/ml. Se construyó una curva de calibración para el AIA (Tabla 4) y se midió la absorbancia a 530 nm con un espectrofotómetro UV-VIS, obteniendo un coeficiente de correlación de R<sup>2</sup> entre 0,99 y 1.

**Tabla 4.**

*Estándares para la curva de calibración de AIA.*

Solución madre		Curva estándar		
volumen solución madre (ul)	Volumen de agua (ul)	AIA (ug/ml)	lecturas de absorbancia	
0	0	0	0	
5	995	5	0,091	
10	990	10	0,179	
15	985	15	0,275	
20	980	20	0,359	
25	975	25	0,435	
30	970	30	0,518	

**Nota.** La columna volumen solución madre (ul) indica el volumen que se tomó

*para realizar diluciones y llegar a las concentraciones requeridas para construir la curva estándar de AIA; la columna volumen de agua (ul) indica el volumen de agua destilada para construir la solución madre; la columna AIA (ug/ml) indicará la concentración esperada de AIA (Intriago, 2021)*

Para analizar ácido indolacético (AIA) en plantas, se recolectaron muestras de raíz sin exposición a luz y se almacenaron en tubos con acetona al 80% a -4°C durante 5 días. Luego, se pesó y maceró 1 g de raíz, filtrándose la mezcla. Se añadió 2,5 a 3 ml de reactivo de Salkowski (1 ml de cloruro férrico al 0,5 mol/l y 50 ml de ácido perclórico al 35%) y se calentó a 60°C durante 5 minutos. Tras centrifugar a 500 RPM por 5 minutos, se midió el AIA en un espectrofotómetro. Las mediciones se realizaron cada 15 días antes de cada inoculación (Intriago, 2021).

### **Contenido de clorofila**

Para cuantificar el contenido de clorofila en cáñamo se cortaron 0,5 g de hojas frescas por muestra y se colocaron en tubos de ensayo envueltos en papel aluminio para evitar la luz. Se añadieron 5 ml de cetona a cada tubo, que se maceraron y refrigeraron a -4°C durante 24 horas. Luego, se centrifugaron a 2000 RPM por 10 minutos. Se extrajo 1 ml del sobrenadante, se diluyó hasta 6 ml con cetona y se midió 1500 µl de cada muestra en un espectrofotómetro a 645 y 663 nm.

### **Sólidos solubles totales**

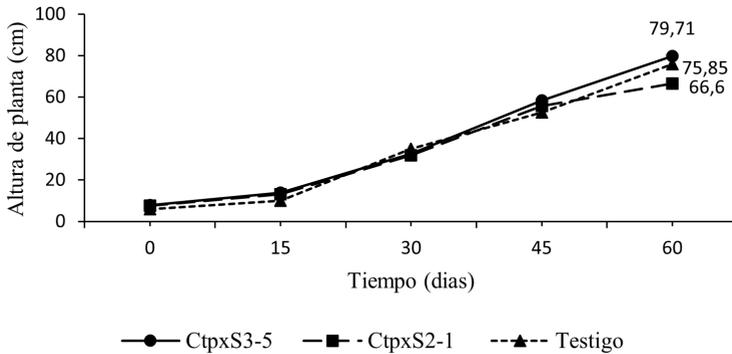
Para cuantificar clorofila en cáñamo, se pesaron 0,5 g de hojas frescas por muestra y se colocaron en tubos de ensayo cubiertos con papel aluminio. Se añadieron 5 ml de cetona a cada tubo, se maceraron y refrigeraron a -4°C por 24 horas. Luego, se centrifugaron a 2000 RPM por 10 minutos, se diluyó el sobrenadante con cetona y se midió en un espectrofotómetro a 645 y 663 nm.

### **Resultados y discusión**

Para respuesta de las plantas de cáñamo se determinó la altura de planta donde Las medias de la altura de plantas de cáñamo tratadas con inoculaciones periódicas de *B. subtilis* CtpxS3-5 (1x10<sup>6</sup> UFC/ml), *B. subtilis* CtpxS2-1 (1x10<sup>6</sup> UFC/ml) y testigo (agua), tomadas cada quince días, no presentaron diferencias significativas.

### **Figura 5.**

Altura de las plantas de cáñamo (cm) durante tres meses de aplicación.



Para evaluar el efecto de *Bacillus subtilis* en el crecimiento, la cepa CtpxS3-5 logró una altura de 79,71 cm a los 60 días, superior a los 75,85 cm del tratamiento testigo (Figura 5). Estos resultados concuerdan con los de Ruiz et al. (2020), quienes reportaron que cepas de *Bacillus* como *B. amyloliquefaciens*, *B. methylotrophicus* y *B. subtilis* subsp. *Inaquosorum* mejoraron significativamente la longitud de raíz (45 cm) y altura (1,45 cm) en tomate (*Solanum lycopersicum*), en comparación con el tratamiento testigo.

Índice de contenido de clorofila

Con relación al Índice de Contenido de Clorofila (ICC), obtenidos con el fluorómetro Opti-Sciences CCM-200 en hojas cercanas al ápice de las plantas de cáñamo tomadas cada 15 días durante la fase experimental, presentaron diferencias significativas, para cada tratamiento y repetición ( $F_{4,25} = 4,91$ ;  $P < 0,0178$ ) (Tabla 5).

**Tabla 5.**

Promedio  $\pm$  desviación estándar de Unidades de CCI de *B. subtilis* cepa Ctpx2-1, Ctpx3-5 y testigo en hojas de cáñamo

Tratamiento	Unidades de CCI	
Ctpx2-1	32,07 $\pm$ 6,10	A
Ctpx3-5	24,2 $\pm$ 5,85	B
Testigo	23,94 $\pm$ 5,73	B

La cepa CtpxS2-1 y CtpxS3-5 mostraron un mayor contenido de clorofila,

con 32,07 y 24,2 unidades de CCI, respectivamente, en comparación con el testigo, que tuvo 23,94 unidades de CCI. Estos resultados coinciden con los de Castañeda et al (2018), quienes, al estimar la concentración de pigmentos fotosintéticos y nitrógeno en plantas de vid (*Vitis vinifera* L.) utilizando dispositivos SPAD 502 y CCM200, encontraron una alta correlación ( $R^2 = 0,9343$ ) y una mayor distribución de clorofila en el tercio medio de la planta.

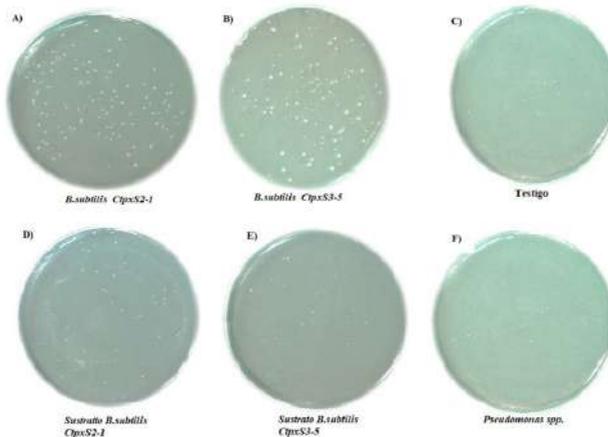
## Fase de laboratorio

### Pruebas bioquímicas

Los resultados de la fijación de nitrógeno, observados mediante siembra por agotamiento de las cepas *Bacillus subtilis* CtpxS2-1 y CtpxS3-5 en medio Ashby (libre de nitrógeno), mostraron crecimiento de las bacterias. En contraste, la bacteria control (*Pseudomonas* spp.) y el tratamiento testigo (Figura 6) no mostraron crecimiento en el medio, incluso después de realizar diluciones sucesivas hasta  $10^{-3}$ .

### Figura 6.

Inoculaciones en medio Ashby Manitol de *B. subtilis* ( $1 \times 10^3$  UFC/ml).



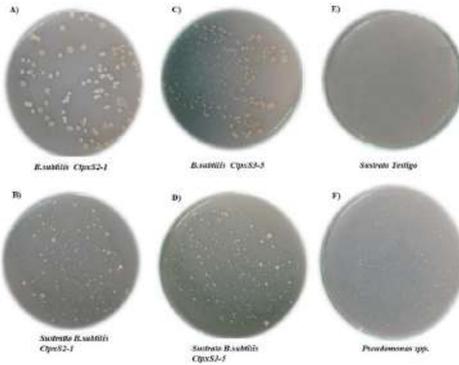
Los resultados en el cultivo de cáñamo coinciden con los reportados por Serrano et al. (2022) en plantas de ají (*Capsicum* sp.), donde cepas de *Bacillus subtilis* cultivadas en medio Ashby mostraron una concentración positiva de nitrógeno.

En cuanto a la actividad disolvente de fosfatos en medio Pikovskaya, se observó la formación de halos de crecimiento alrededor de las colonias de *B. subtilis* CtpxS2-1 y CtpxS3-5 (Figura 4), así como del sustrato inoculado con estas cepas,

hasta diluciones de  $10^{-3}$  UFC/ml. En contraste, el tratamiento testigo no mostró viraje de color alrededor de las colonias bacterianas.

**Figura 7.**

*Inoculaciones en medio Pikovskaya de B. subtilis (1x10<sup>3</sup> UFC/ml).*

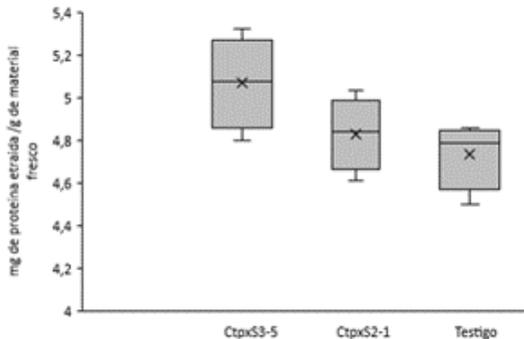


Esto concuerda con el estudio de Corrales et al (2014), que reportó la formación de halos de solubilización en medio Pikovskaya por 11 cepas del género *Bacillus* tras 24 y 48 horas de incubación. Entre estas, *B. brevis* y *B. pumilus* mostraron los mejores resultados, destacándose como cepas prometedoras y eficientes para la solubilización de fósforo, en contraste con *B. sphaericus* nativo y *B. sphaericus*, que no mostraron halos de solubilización.

**Cuantificación de proteína**

**Figura 8.**

*Efecto de B. subtilis en el contenido protéico (mg/g) en hojas frescas de C. sativa al final de la fase experimental.*



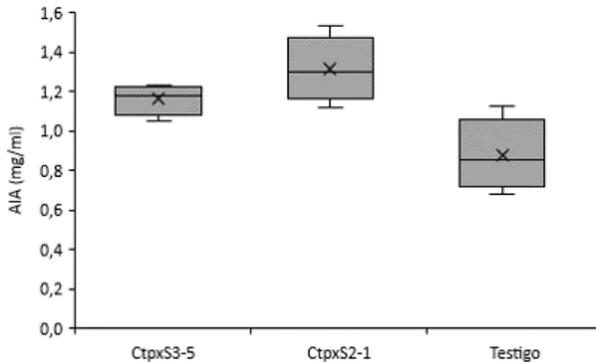
En la cuantificación de proteínas en hojas frescas de cáñamo, no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos. No obstante, el tratamiento inoculado con *Bacillus subtilis* CtpxS3-5 mostró un promedio mayor de 5,07 mg de proteína por gramo de material fresco, en comparación con el tratamiento testigo, que tuvo 4,74 mg/g (Figura 8)

Los resultados de Alamilla et al (2020) en plantas de acelga (*Beta vulgaris* var. *Cycla*) no mostraron diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, el tratamiento con *Bacillus subtilis* presentó una menor concentración de proteína (10,53 mg/ml  $\pm$  1,69) en comparación con el tratamiento con vermicomposta (13,20 mg/ml  $\pm$  4,248).

Medición cuantitativa de Ácido Indol Acético (AIA)

**Figura 9.**

*Efecto de B. subtilis en la promoción de crecimiento en los promedios y limites superiores e inferiores de auxinas (mg/ml) en hojas de C. sativa al final de la fase experimental.*



Se evidenció mayor concentración de AIA de 1,32 mg/ml y 1,16 mg/ml en las raíces de las plantas de cáñamo tratadas con *B. subtilis* Ctpx2-1 y *B. subtilis* de la cepa Ctpx3-5 respectivamente, a comparación del testigo con una concentración de 0,88 mg/ml de auxina (Figura 6)

Coincidiendo con el estudio de Acurio et al (2020) mediante el método colorímetro de Salkowski de cuatro cepas bacterianas de género *Bacillus* spp. en plantas de brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*) y lechuga (*Lactuca sativa*) de obteniendo valores de 8,40 ug/ ml y 11,40 ug/ml respectivamente de *B. megaterium* y *B. licheniformis* obteniendo mayor capacidad para fijar nitrógeno, producir

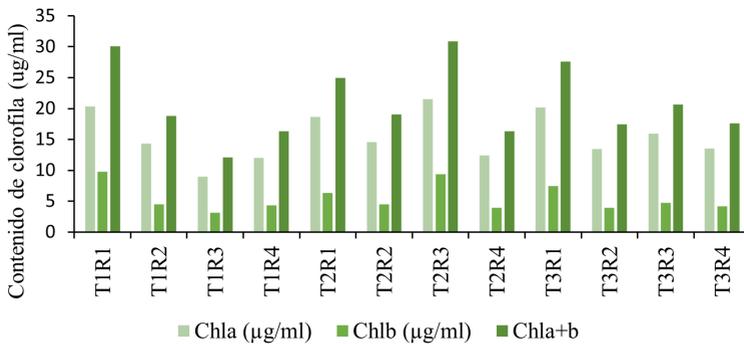
auxinas y solubilizar fosfatos.

### Índice de clorofila

Los resultados del índice de clorofila medidos en hojas frescas de caña-mo mediante métodos bioquímicos no mostraron diferencias significativas. No obstante, el contenido de clorofila a+b (Chla+b) fue mayor en el tratamiento con *Bacillus subtilis* CtpxS2-1, alcanzando 24,99 µg/ml, en comparación con el tratamiento testigo, que presentó 19,93 µg/ml (Figura 10)

#### Figura 10.

Efecto de *B. subtilis* en el contenido de clorofila a (Chla), clorofila b (Chlb) y clorofila total (Chla+b) en hojas de *C. sativa*.

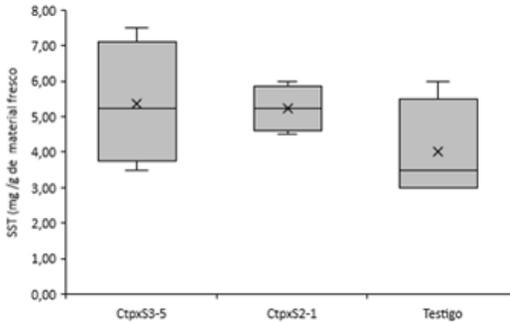


Los resultados coinciden con Alamilla et al. (2020), que encontraron que *Bacillus subtilis* (0,92 mg/ml ± 0,25) y vermicomposta (0,92 mg/ml ± 0,23) aumentaron la concentración de clorofila en acelgas comparado con el tratamiento testigo. Esto refleja un mejor estado nutricional del cultivo, relacionado con la disponibilidad de nitrógeno, hierro y magnesio, y la producción de sideróforos que facilita la captura de hierro en condiciones limitantes (Camelo et al., 2011).

Sólidos solubles totales

**Figura 11.**

*Efecto de **B. subtilis** en la promoción de crecimiento en los promedios y límites superiores e inferiores de sólidos solubles totales (mg/g) en hojas de **C. sativa** al final de la fase experimental.*



En el estudio de Bonilla et al (2021) mencionan que en su experimento *B. subtilis* favoreció el crecimiento vegetal y el aumento de sólidos solubles totales comparado con el tratamiento control (Figura 11)

**Conclusiones**

Se evidenció que las dos cepas de *B. subtilis* comercial, mediante mecanismos directos, tienen la capacidad de solubilizar los fosfatos, fijar el nitrógeno atmosférico e incrementar el contenido de AIA a nivel de rizósfera.

El efecto de dos cepas de *B. subtilis* comercial incrementaron el crecimiento de las plantas de cañamo.

**Recomendaciones**

Realizar aplicaciones de células libres en concentraciones 1x10<sup>6</sup> UFC ml<sup>-1</sup> de los aislados de *Bacillus subtilis* comercial (cepas CtpxS2-1 y CtpxS3-5), cada 30 días para asegurar su efectividad en campo en las plantas de cañamo.

## Referencias bibliográficas

- Alamilla, I., Arias, A., Martínez, C., Zacaria, A., Vital, E., Fernández, G., & Chirino, G. (2020). Impacto de *Bacillus subtilis*-vermicomposta en el crecimiento de la acelga (*Beta vulgaris* var *cycla*). *Revista Tendencias en Docencia e Investigación En Química* 2020, 6(6), 605. <http://zaloamati.azc.uam.mx/handle/11191/7773>
- Bonilla, R., González, L., & Pedraza, R. (2021). Bacterias promotoras de crecimiento vegetal en sistemas de agricultura sostenible. In *Agrosavia*. <https://doi.org/10.21930/agrosavia.analisis.7405019>
- Camelo, M., Vera, S., & Bonilla, R. (2011). Mecanismos de acción de las rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal. *Revista Corpoica - Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(2), 159–166. <https://www.redalyc.org/pdf/4499/449945031010.pdf>
- Cabello, J., Flores, A., Olalde, V., Valdés, R., & Alcalá, E. (2019). Evaluación de cepas de *Bacillus subtilis* como promotoras de crecimiento vegetal. *Revista Bio Ciencias*, 6, 1. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-33802019000100113&script=sci\\_arttext&tlng=es#aff1](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S2007-33802019000100113&script=sci_arttext&tlng=es#aff1)
- Corrales, L., Caycedo, L., Gómez, M., Ramos, S., & Rodríguez, J. (2017). *Bacillus* spp: una alternativa para la promoción vegetal por dos caminos enzimáticos. *Nova*, 15(27), 45. <https://doi.org/10.22490/24629448.1958>
- Corrales, L., Sánchez, L., Arévalo, Z., & Moreno, V. (2014). *Bacillus*: a genus of bacteria that exhibits important phosphate solubilizing abilities. *Nova*, 12(22). [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-24702014000200006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702014000200006)
- Crini, G., Lichtfouse, E., & Crini, N. (2020). Applications of hemp in textiles, paper industry, insulation and building materials, horticulture, animal nutrition, food and beverages, nutraceuticals, cosmetics and hygiene, medicine, agrochemistry, energy production and environment: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18, 1451–1476.
- Castañeda, C., Almanza, P., Pinzón, F., Cely, G., & Serrano, P. (2018). Estimación de la concentración de clorofila mediante métodos no destructivos en vid (*Vitis vinifera* L.) cv. Riesling Becker. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 329–337. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v12n2/2011-2173-rcch-12-02-329.pdf>

- Intriago, L. (2021). Efecto del tratamiento de semillas con Zn sobre la germinación y vigor de plántulas de maíz dulce (*Zea mays* L.) var. Bandit [Trabajo de Titulación, Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE]. <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/26766/1/T-IASA%20I-004407.pdf>
- Romero, A., Arias, R., & Mendoza, R. (2019). Isolation and selection of solubilizing phosphate soil fungi native to Coahuila state, México. *Acta Botánica Mexicana*, 126, 2448–7589. [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0187-71512019000100111&lng=es&nrm=iso&tlng=en](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-71512019000100111&lng=es&nrm=iso&tlng=en)
- Ruiz, M., Ornelas, J., Olivas, G., Acosta, C., Sepúlveda, D., Zamudio, P., Berlanga, D., Salas, M., Cambero, O., & Rios, C. (2020). Efecto de cepas de *Bacillus solas* y en interacción con hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. *Revista Bio Ciencias*, 6.
- Serrano, M., Pérez, L., Estrada, H., Mancera, R., & Aranguren, Y. (2022). Identification and characterization of native nitrogen-fixing rhizobacteria from capsicum sp. In caribbean region of Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 15(2). [http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/130329700\\_4/1303297004.pdf](http://portal.amelica.org/ameli/journal/130/130329700_4/1303297004.pdf)
- Wimalasiri, E., Jahanshiri, E., Chimonyo, V., Kuruppuarachchi, N., Suhairi, T., & Azam-Ali, S. (2021). A framework for the development of hemp (*Cannabis sativa* L.) as a crop for the future in tropical environments. *Industrial Crops and Products*, 172(15).
- Yadav, J., Verma, J., & Tiwari, K. (2010). Effect of plant growth promoting Rhizobacteria on seed germination and plant growth Chickpea (*Cicer arietinum* L.) under in vitro conditions. *Biological Forum An International Journal*, 2(2), 15–18. [https://www.researchtrend.net/bfij/bf22/4\\_KN\\_TIWARI.pdf](https://www.researchtrend.net/bfij/bf22/4_KN_TIWARI.pdf)
- Yáñez, V., & Falconí, C. (2021). *Bacillus subtilis* CtpxS2-1 induces systemic resistance against anthracnose in Andean lupin by lipopeptide production. *Biotechnology Letters*, 43, 719–728. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10529-020-03066-x>

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## **3**

### **Capítulo**

Control de ácaros  
(*tetranychus urticae*), en tres  
variedades de rosas  
(*rosa sp*), para exportación

**AUTORES:** Marco Bastidas; Emerson Jácome; Néstor Luzón



## Control de ácaros (*tetranychus urticae*), en tres variedades de rosas (*rosa sp*), para exportación

Control of mites (*Tetranychus urticae*), in three varieties of roses (*rosa sp*), for export.

### Resumen

El ácaro fitófago *Tetranychus urticae* es una plaga significativa en el cultivo de rosas, y su resistencia a plaguicidas químicos ha generado la necesidad de buscar alternativas de control ambientalmente amigables. Este estudio propone el uso del extracto de *Phytolacca bogotensis* K, conocido por su alto contenido de saponinas, como una opción orgánica para el control de ácaros. Se evaluó la efectividad del extracto en dos dosis (30 cc/l y 40 cc/l) comparado con el plaguicida comercial Trisiloxano (0,5 cc/l) en tres variedades de rosas: Freedom, High Exótica, y Jessica. El experimento, realizado en la finca Fresh Market en Cayambe, Pichincha, se diseñó como un arreglo factorial 3 x 3 en un diseño de bloques completos al azar y duró 16 días, analizando la interacción del extracto con las fases de ninfa y adulto del ácaro. Los resultados mostraron que Trisiloxano 0,5 cc/l fue el más efectivo, seguido por el extracto de *P. bogotensis* a 40 cc/l, con una efectividad superior al 93% en ambas fases del ácaro. La variedad Freedom tuvo la menor incidencia de infestación. Se concluye que el extracto de *P. bogotensis* es una alternativa viable para el control de ácaros en rosas, contribuyendo a la reducción del uso de plaguicidas químicos en el agroecosistema.

**Palabras claves:** Ácaros, Control, Rosas, Exportación, Plaga.

### Abstract

The phytophagous mite *Tetranychus urticae* is a major pest in rose cultivation. Its resistance to chemical pesticides has prompted a search for eco-friendly control methods. This study investigated the potential of *Phytolacca bogotensis* K extract, rich in saponins, as an organic mite control. The extract was tested at two concentrations (30 and 40 cc/l) against the commercial pesticide Trisiloxane (0.5 cc/l) on three rose varieties: Freedom, High Exótica, and Jessica. The 16-day trial, conducted at the Fresh Market farm in Cayambe, Pichincha, used a randomized complete block design to assess the extract's efficacy against nymph and adult mites. Trisiloxane proved most effective, followed closely by the 40 cc/l *P. bogotensis* extract, both exceeding 93% efficacy. The Freedom variety showed the lowest infestation rates. In conclusion, *P.*

bogotensis extract is a promising alternative for mite control in roses, reducing reliance on chemical pesticides in agricultural systems.

**Keywords:** Mites, Control, Roses, Export, Pest.

## Introducción

Este proyecto se centra en el análisis, conservación y aprovechamiento de la biodiversidad local en Ecuador, con un enfoque particular en el desarrollo económico, la bioclimatología y el control de plagas en cultivos florícolas. Los ácaros, que afectan estos cultivos, han generado la necesidad de encontrar productos eficaces que contrarresten su desarrollo, ya que causan pérdidas económicas significativas (Soto, 2013). Estos organismos muestran una notable capacidad de supervivencia y adaptabilidad, por lo que el uso de productos orgánicos se vuelve crucial para evitar daños permanentes (Diodato & Fuster, 2018).

El estudio evalúa la eficacia del extracto de *Phytolacca bogotensis* en el control de *Tetranychus urticae* en diferentes variedades de rosas. Su objetivo es ofrecer alternativas fitosanitarias y medidas de mitigación para mejorar la productividad y rentabilidad en la floricultura (Hidalgo, 2021). El uso excesivo de plaguicidas químicos ha llevado a una creciente resistencia de plagas, reduciendo la efectividad de los acaricidas hasta en un 40%, lo que afecta la producción y exportación de rosas (Yépez, 2020). La presencia de ácaros en invernaderos puede generar pérdidas económicas de hasta el 15-20% de la producción (Mejía, 2016). A pesar del Manejo Integrado de Plagas (MIPE), alertas emitidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) desde 2012 destacan la persistencia de niveles inaceptables de ácaros en flores (Riss & Grum, 2018). Esto resalta la necesidad urgente de nuevas alternativas, como el uso de extractos vegetales, para asegurar la sostenibilidad del cultivo de rosas en Ecuador (Torres, 2023).

Ecuador, reconocido por su producción de más de 300 variedades de rosas, destaca en el mercado global con un valor porcentual del 4% en exportaciones (Agrocalidad, 2019); (Expoflores, 2023). En 2023, las exportaciones alcanzaron 348 millones de dólares, con destinos principales como Estados Unidos, Kazajistán, Italia y España (Expoflores, 2023). El cantón Cayambe ofrece condiciones óptimas para cultivos como la variedad Freedom, conocida por su color rojo y resistencia, y la High & Exótica, de color amarillo (Rosen Tantau Ecuador, 2020); (LatinSelección, 2016). Sin embargo, el ácaro *Tetranychus urticae* puede causar daños severos, reduciendo la fotosíntesis y la

calidad de las flores (Inak, Nazim, & Cobanoglu, 2019). El manejo integrado de plagas, que incluye controles químicos y biológicos, es esencial para mitigar estos problemas (Torres E., 2016); (Ruge, 2018). Las saponinas, con propiedades jabonosas, se están explorando como agentes de control biológico prometedores (Góngora Chi, 2023).

## Metodología

El estudio se realizó en la finca comercial Fresh Market Of Ecuador S.C.C, dedicada al cultivo de rosas de exportación. Ubicada en el barrio San Rafael, la parroquia Ascázubi, que presenta una altitud promedio de 2200 – 4000 m.s.n.m, la precipitación media anual es 838,4 mm y una temperatura promedio anual de 15, 1 °C., del cantón Cayambe, provincia de Pichincha.

### Figura 12.

*Mapa de Ubicación del área de estudio.*



## Factores de estudio

En la tabla 6, podemos observar los factores de estudio que contempla alternativas de control y variedades de rosas.

**Tabla 6.**

*Factores de estudio.*

FACTOR A	Alternativas de control	FACTOR B	Variedades de rosa.
A1	30 cc/l de Extracto ( <i>Phytolacca bogotensis</i> )	B1	Freedom
A2	40 cc/l de Extracto ( <i>Phytolacca bogotensis</i> )	B2	High Exótica
A3	0,5 cc/l de Trisiloxano	B3	Jessica

En la tabla 7, se observa las combinaciones de los factores A x B, tratamiento acaricida más efectivo, para el control de ácaros.

**Tabla 7.**

*Número de tratamientos para control de Tetranychus urticae.*

Tratamiento	Factor A	Factor B	Nomenclatura
T1	A1 (Extracto <i>P. b</i> 30 cc/l)	B1 (Freedom)	A1 – B1
T2	A2 (Extracto <i>P. b</i> 40 cc/l)	B1 (Freedom)	A2 – B1
T3	A3 (Trisiloxano 0,5 cc/l)	B1 (Freedom)	A3 – B1
T4	A1 (Extracto <i>P. b</i> 30 cc/l)	B2 (High Exótica)	A1 – B2
T5	A2 (Extracto <i>P. b</i> 40 cc/l)	B2 (High Exótica)	A2 – B2
T6	A3 (Trisiloxano 0,5 cc/l)	B2 (High Exótica)	A3 – B2
T7	A1 (Extracto <i>P. b</i> 30 cc/l)	B3 (Jessica)	A1 – B3
T8	A2 (Extracto <i>P. b</i> 40 cc/l)	B3 (Jessica)	A2 – B3
T9	A3 (Trisiloxano 0,5 cc/l)	B3 (Jessica)	A3 – B3

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental factorial 3 x 3 en bloques completos al azar (DBCA) con 4 repeticiones. Se emplearon 36 unidades experimentales, cada una con dimensiones de 16 metros de largo por 5,68 metros de ancho

(91 m<sup>2</sup>). La parcela neta, para evitar el efecto borde, tuvo un área de 39,77 m<sup>2</sup> (14 m de largo por 2,84 m de ancho). Cada repetición incluyó cuatro camas, sumando un total de 818,43 m<sup>2</sup> (32 m de largo por 25,58 m de ancho). En total, el área del experimento abarcó 3273,7 m<sup>2</sup>. La disposición de este diseño se realizó en franjas, para facilitar las aplicaciones con el uso de una bomba de aspersión estacionaria y así disminuir cualquier efecto de traslape negativo entre parcelas. El coeficiente de variación se expresó en porcentaje.

**Tabla 8.**

*Esquema del ADEVA para el ensayo, control de Tetranychus urticae.*

Fuente de Variación	Grados de Libertad
Bloques (r - 1)	3
Alternativas: A (a - 1)	2
Variedades: B (b - 1)	2
A x B (a - 1) (b - 1)	4
E. Experimental: (t-1) (r-1)	24
Total: (t x r) - 1	35

Al ser el diseño experimental por bloques, se tuvo en cuenta la distribución de los tratamientos, los cuales están comprendidas en parcelas de 4 camas con una longitud de 16 m largo x 1,42 m de ancho. Para comparar las diferentes dosis propuestas en el presente trabajo de investigación se manejó la prueba de Tukey al 5% de probabilidad estadística. Se realizó un análisis económico del mejor tratamiento, tomando en cuenta únicamente los costos de las aplicaciones y los costos de producción de la finca por tallos y hectárea.

**Manejo del experimento**

La recolección de *Phytolacca bogotensis* K. involucró la cosecha de aproximadamente 5 kg de frutos, siguiendo las pautas del Instituto Colombiano Agropecuario (Instituto Colombiano Agropecuario, 2015). El material vegetal fue caracterizado en el laboratorio de suelos, foliares y aguas de AGROCALIDAD. La maceración, realizada en condiciones oscuras, consistió en remojar el material triturado en agua destilada (relación 1:3) durante 48 horas con agitación periódica (González, 2004). El extracto se obtuvo mediante extracción discontinua, filtrando el residuo y almacenando el producto en vidrio. La caracterización del extracto para determinar el contenido de saponinas se realizó con el método de espuma, siguiendo el protocolo descrito por Rodríguez (2017) y la categorización de Mora (2016). Las proporciones del extracto de

para el control de ácaros se ajustaron tras pruebas preliminares en laboratorio, que demostraron eficacia superior al 90% con dosis determinadas para este estudio.

**Tabla 9.**

*Alternativas a emplear para el control de Tetranychus urticae.*

Alternativas	Volumen agua (l)	Dosis (cc/l)	g p.a/l
Extracto de <i>P. b.</i> (13,5%)	40	30	4,0
Extracto de <i>P. b.</i> (13,5%)	40	40	5,4
Trisiloxano (90%)	40	0,5	0,45

g: gramos; p.a.: principio activo; l: litro

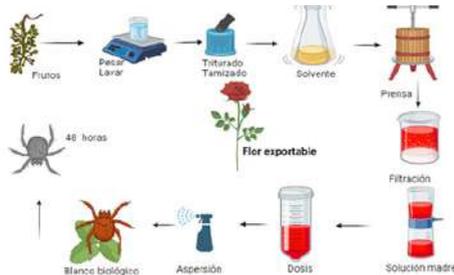
Se realizaron pruebas preliminares en laboratorio con diferentes dosis del extracto de *Phytolacca bogotensis* en ácaros, logrando una mortalidad superior al 90% con dosis efectivas determinadas en evaluaciones realizadas a intervalos de 6 a 72 horas.

### Categorización y monitoreo

La plaga fue identificada en el laboratorio de AGROCALIDAD, y el monitoreo se realizó siguiendo las directrices del (Instituto Colombiano Agropecuario, 2015) que incluyen contar individuos vivos en al menos 10 folíolos por parcela y realizar evaluaciones periódicas con estereoscopio. La caracterización y conteo de ácaros se hizo con lupas de 20X y 50X, considerando ácaros vivos y muertos según (García & Procel, 2011). Para la aplicación de tratamientos, se usaron técnicas especificadas por el (Instituto Colombiano Agropecuario, 2015), empleando una bomba de mochila con presión de 30-40 PSI y aplicando caldos con un volumen de 2200 l/ha, asegurando una cobertura uniforme del follaje.

**Figura 13.**

*Control de Tetranychus urticae en rosas.*



## Resultados y discusiones

En el análisis de *Phytolacca bogotensis* K., la identificación taxonómica fue realizada en AGROCALIDAD, confirmando que pertenece a la familia *Phytolaccaceae* y al nombre científico *Phytolacca bogotensis* kun th. (Agrocalidad, 2023). La caracterización del extracto en Total Chem Lab mostró una alta presencia de saponinas (13,5%), destacando su abundancia en el extracto hidroalcohólico (Total Chem Lab, 2023). Según (Tipaz, Restrepo, Solarte, & Mena, 2019), se identificaron flavonoides, saponinas, cumarinas y taninos en el extracto. El mecanismo de acción de las saponinas, aunque no completamente claro, sugiere que afectan la membrana intestinal al interactuar con ligandos en el intestino, con efectos nocivos reportados en peces debido a su impacto en las células epiteliales respiratorias (Hernández & Hermosilla, 2014) explican que las saponinas, al entrar en contacto con agua, rompen la tensión superficial y dañan el aparato digestivo de los insectos, facilitando el control de plagas.

### Análisis de resultados de población de ninfas a los 0,2 y 16 días

En el análisis de varianza para la presencia de ninfas de *Tetranychus urticae* en tres variedades de rosas, se observó que la variedad de la rosa (Factor B) y las alternativas de control (Factor A) son factores significativos en diferentes momentos del estudio. A los 0 días, la variedad de rosa fue el factor más relevante, mientras que, a los 2 y 16 días, tanto las variedades como las alternativas de control mostraron alta significancia, con la interacción entre ambos factores siendo significativa solo a los 2 días. La prueba de Tukey reveló que, a los 16 días, la alternativa de control con Trisiloxano (0,5 cc/l) fue la más efectiva, con un promedio de 2,91 ninfas vivas por hoja, seguida por el extracto de *Phytolacca bogotensis* (40 cc/l) como una opción orgánica viable.

**Tabla 10.**

*Prueba de Tukey para–Factor A (Alternativas de control) con relación a presencia de ninfas a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después de la aplicación (16ddA).*

Factor A	0 ddA		2 ddA		16 ddA	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango
A1 (Extracto <i>P. b</i> ) 30 cc/l	128,52	a	53,04	c	9,84	c
A2 (Extracto <i>P. b</i> ) 40 cc/l	133,45	b	46,39	b	7,94	b
A3 (Trisiloxano) 0,5 cc/l	124,97	a	23,97	a	2,91	a

En un estudio similar, Gualotuña (2007) analizó la eficacia de dos dosis de aplicación para el control de plagas en rosales y encontró que, aunque los niveles de daño (1-3) no mostraron diferencias altamente significativas entre ellos, la dosis aplicada sí influyó en el número de individuos. Específicamente, el nivel de daño 1 no presentó diferencias estadísticas en comparación con el nivel de daño 2, pero sí mostró una alta diferencia respecto al nivel de daño 3.

Prueba de Tukey para Factor B (Variedad de rosas) con relación a presencia de ninfas a los 0 días después de la aplicación (0 ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después de la aplicación (16 ddA)

**Tabla 11.**

*Prueba de Tukey para–Factor B (Variedades de rosas) con relación a presencia de ninfas a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después de la aplicación (16ddA).*

Factor B	0 ddA		2 ddA		16 ddA	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango
Freedom	105,43	a	33,68	a	5,87	a
High Exótica	133,16	b	41,90	b	7,13	b
Jessica	148,35	c	47,82	c	7,69	b

El análisis mediante la prueba de Tukey al 5% de probabilidad estadística mostró que, inicialmente, el número de ninfas vivas por hoja oscilaba entre 105,43 para la variedad Freedom, 133,16 para H. Exótica, y 148,35 para Jessica, indicando una distribución homogénea de la población de *Tetranychus urticae* en estado ninfal. A los dos días de iniciar las aplicaciones, se observó que Freedom tuvo el menor promedio de ninfas (33,68), seguida de H. Exótica (41,90) y Jessica (47,82). Al final del experimento (día 16), Freedom mostró la menor población de ninfas (5,87), posicionándose como la variedad menos

susceptible al ácaro y estadísticamente la mejor del experimento. H. Exótica y Jessica, con 7,13 y 7,69 ninfas respectivamente, fueron las más afectadas, siendo Jessica la más susceptible al ácaro fitófago.

Estos resultados coinciden con otros estudios, como el de (Chacón, 2016), que encontraron variaciones en la abundancia de ácaros según la variedad de rosa, destacando la influencia del tipo de rosa en la susceptibilidad a *Tetranychus urticae*. En esta investigación, la variedad Freedom se destacó como la más resistente, seguida de High Exótica y Jessica, lo que resalta la importancia del factor variedad en el control de esta plaga.

**Tabla 12.**

*Prueba de Tukey para la interacción entre Factor A (Alternativas de control) y Factor B (Variedades de rosas) con relación a presencia de ninfas a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después*

Factor A	Factor B	0 ddA		2 ddA		16 ddA	
		Prom.	Rango	Prom.	Rango	Prom.	Rango
Extracto <i>Phytolacca</i> 30 cc/l	Freedom	105,05	a	43,95	d	8,4	cd
Extracto <i>Phytolacca</i> 40 cc/l	Freedom	109,39	a	37,13	c	6,42	b
Trisiloxano 0,5 cc/l	Freedom	101,85	a	19,95	a	2,79	a
Extracto <i>Phytolacca</i> 30 cc/l	High Exótica	131,93	b	53,92	e	10,17	de
Extracto <i>Phytolacca</i> 40 cc/l	High Exótica	139,40	bc	48,17	d	8,32	c
Trisiloxano 0,5 cc/l	High Exótica	128,14	b	23,62	ab	2,92	a
Extracto <i>Phytolacca</i> 30 cc/l	Jessica	148,58	cd	61,25	f	10,95	e
Extracto <i>Phytolacca</i> 40 cc/l	Jessica	151,57	d	53,87	e	9,09	cd
Trisiloxano 0,5 cc/l	Jessica	144,92	cd	28,33	b	3,04	a

En la investigación, se observó que a los 0 días después de la evaluación preliminar, los promedios de ninfas oscilaron entre 101,85 (T1) y 151,57 (T8), sin mostrar efectos significativos de los tratamientos acaricidas. A los 2 días después de la aplicación, la combinación de Trisiloxano (0,5 cc/l) con la variedad de rosa Freedom (T3) mostró un resultado favorable con un promedio de 19,95 ninfas vivas. Le siguieron las combinaciones de Trisiloxano con las variedades High Exótica (T6) y Jessica (T9), con 23,62 y 28,33 ninfas, respectivamente. El Extracto P.b (40 cc/l) (T2) también mostró potencial, con un promedio de 37,13 ninfas, sugiriendo que es una opción viable entre los extractos vegetales. A los 16 días, T3 (Trisiloxano con Freedom) continuó mostrando efectos óptimos con 2,79 ninfas vivas, seguido de T6 (Trisiloxano con High Exótica) y T9 (Trisiloxano

con Jessica), con 2,92 y 3,04 ninfas, respectivamente. T2 (Extracto P.b (40 cc/l)) se posicionó en cuarto lugar con 6,42 ninfas, pero mostró una diferencia de 3,63 ninfas en comparación con T3, lo que lo hace una alternativa prometedora para el control de *T. urticae*. Los tratamientos con Extracto P.b (30 y 40 cc/l) en las variedades de rosa estudiadas resultaron en un control moderado, con promedios de 8,40 y 6,42 ninfas vivas por hoja en Freedom. Gualotuña (2007) sugiere que la reducción del efecto knockdown en aplicaciones consecutivas puede aumentar la resistencia del patógeno, lo que indica que la aplicación alternada con intervalos podría ser más efectiva. En esta investigación, las alternativas orgánicas mostraron efectividad en diferentes momentos, sugiriendo que el uso del Extracto P.b puede ser recomendable para reducir la población de ácaros plaga en rosas.

**Figura 14.**

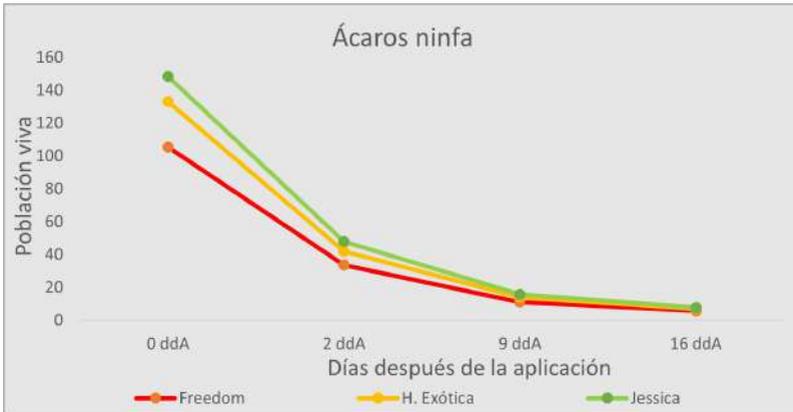
*Interacción de Factor A (Alternativas de control) en diferentes días.*



A partir del segundo día después de la aplicación (2 ddA), las alternativas de control comenzaron a mostrar un efecto positivo como plaguicidas, destacándose una diferencia significativa entre el plaguicida comercial Trisiloxano (0,5 cc/l) y el extracto de *Phytolacca bogotensis* (40 y 30 cc/l), con diferencias numéricas de 22,42 y 29,07, respectivamente. Durante la investigación, el efecto de estos productos como controladores de ácaros aumentó, y para el noveno día (9 ddA), las diferencias se redujeron a 9,29 y 16,04 puntos. Al final del ensayo, después de 16 días, las diferencias entre Trisiloxano y los extractos de *P. bogotensis* se redujeron aún más, con 5,03 y 6,93 puntos, lo que indica que el extracto vegetal logró resultados importantes y podría ser considerado en la agricultura orgánica para reducir la carga fitotóxica en las plantas.

**Figura 15.**

*Interacción de Factor B (Variedades de rosas) en diferentes días.*



Después de comprobar que la variedad de rosa influye directamente en el incremento de la plaga, se observó una leve homogenización de los ácaros en el noveno día después de la segunda aplicación (9 ddA) en las tres variedades analizadas. Sin embargo, al finalizar el ensayo, la variedad Freedom presentó la menor cantidad de ácaros ninfa en las hojas evaluadas. Las otras dos variedades mostraron una diferencia numérica de solo 0,6 puntos entre ellas, lo que podría atribuirse a la composición bioquímica varietal o a la interacción genotipo-ambiente.

### **Análisis de varianza para presencia de adultos a los 0, 2 y 16 días después de la aplicación**

El análisis de varianza realizado en este estudio demostró que, a los 0 días, los factores A (Alternativas de control) y B (Variedades de rosas) son significativos debido a la distribución inicial de ácaros adultos, lo cual es crucial para evaluar la presencia de plagas. Sin embargo, la interacción entre estos factores (A\*B) no fue significativa en este punto, ya que los tratamientos no afectaron la población inicial. A los 2 días después de iniciar las aplicaciones, se encontraron diferencias altamente significativas tanto para las alternativas acaricidas como para las variedades de rosas, así como en su interacción, indicando que los tratamientos comenzaron a impactar la plaga de manera independiente. A los 16 días, se observó un efecto mejorado de los componentes en cada uno de los factores, con resultados estadísticamente satisfactorios y una alta efectividad en las alternativas, variedades y su interacción, demostrando la relevancia de estos factores en el estudio. Además, se evi-

denció una homogenización de los bloques con la presencia de colonias de *Tetranychus* adultos.

**Tabla 13.**

*Análisis de varianza para el ensayo, presencia de adultos a los 0, 2 y 16 días después de la aplicación (0 ddA, 2 ddA y 16 ddA)*

FV.	Gl	CM 0 ddA		CM 2 ddA		CM 16 ddA	
Bloques	3	35,43	**	3,13	*	0,01	ns
Factor A	2	37,87	**	62,61	**	10,61	**
Factor B	2	190,08	**	21,80	**	0,40	**
Factor A*Factor B	4	2,94	ns	2,33	**	0,10	**
Error	24	1,35		0,45		0,01	
Total	35						
CV		6,36		13,04		6,31	

**Altamente significativo (\*\*)**

**Significativo (\*)**

**No significativo (ns)**

Prueba de Tukey para factor a (alternativas de control) con relación a presencia de adultos a los 0 días después de la aplicación (0 dda), 2 días después de la aplicación (2 dda) y a los 16 días después de la aplicación (16 dda).

En la prueba de Tukey al 5% de probabilidad estadística, se observó que, en la evaluación inicial para ácaros adultos, la Alternativa 3 (Trisiloxano (0,5 cc/l) mostró la menor población promedio de ácaros en comparación con las Alternativas basadas en extracto (30 y 40 cc/l). A los 2 días después de la aplicación (2 ddA), la población de ácaros adultos disminuyó significativamente, con un promedio de 2,98 individuos vivos por hoja para la Alternativa 3, seguido de 4,91 para la Alternativa 2 (Extracto P. b (40 cc/l)) y 7,53 para la Alternativa 1 (Extracto P. b (30 cc/l)). Al final de la prueba, a los 16 días, la Alternativa 3 mantuvo los mejores resultados, con un promedio de solo 0,35 ácaros adultos vivos por hoja, frente a 1,33 para la Alternativa 2 y 2,23 para la Alternativa 1. Esto sugiere que la Alternativa 3 es altamente efectiva en el control de ácaros en cualquier variedad de rosas. Sin embargo, dado que la Alternativa 2 es un componente orgánico y tiene una diferencia mínima de 0,98 puntos respecto a la Alternativa 3, podría considerarse en situaciones donde se prefiera una opción orgánica.

Por otro lado, un estudio de (Hidalgo, 2021) en Pujilí, utilizando extractos orgánicos como ajo-ají y Azadirachta indica, no mostró diferencias estadísticamente significativas en el control de ácaros, aunque sí se observó una leve diferencia numérica. De manera similar, en el presente estudio, las diferencias estadísticas entre las estrategias orgánicas fueron mínimas, pero se notó una ligera diferencia numérica de 0,90 puntos entre las Alternativas 1 y 2, y de 0,98 puntos en comparación con la Alternativa 3. Estos resultados respaldan el uso del extracto de *P. bogotensis* para reducir la carga de ingredientes activos en el cultivo de rosas.

**Tabla 14.**

*Prueba de Tukey para-Factor A (Alternativas de control) con relación a presencia de adultos a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después de la aplicación (16ddA).*

Factor A	0 ddA		2 ddA		16 ddA	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango
A1 (Extracto <i>P. b</i> ) 30 cc/l	19,49	b	7,53	c	2,23	c
A2 (Extracto <i>P. b</i> ) 40 cc/l	19,05	b	4,91	b	1,33	b
A3 (Trisiloxano) 0,5 cc/l	16,22	a	2,98	a	0,35	a

**Tabla 15.**

*Prueba de Tukey para-Factor B (Variedades de rosas) con relación a presencia de adultos a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después de la aplicación (16ddA).*

Factor B	0 ddA		2 ddA		16 ddA	
	Promedio	Rango	Promedio	Rango	Promedio	Rango
Freedom	14,27	a	3,82	a	1,11	a
High Exótica	18,25	b	5,09	b	1,34	b
Jessica	22,23	c	6,51	c	1,47	c

En la evaluación preliminar, a los 0 días, se registraron valores poblacionales de ácaros adultos que oscilaron entre 14,27 y 22,23 por hoja, destacándose la variedad Freedom como la menos afectada por la plaga. Dos días después de la aspersión, la variedad Freedom mantuvo su ventaja con una población media de 3,82 ácaros por hoja, seguida por High Exótica con 5,09 y Jessica con 6,51. A los 16 días, Freedom siguió mostrando la menor población de ácaros adultos (1,11 por hoja), lo que sugiere que su composición bioquímica la hace menos susceptible al ataque del ácaro *Tetranychus urticae*. High

Exótica y Jessica presentaron valores ligeramente superiores, con 1,34 y 1,47 ácaros respectivamente.

En comparación, el estudio de Hidalgo (2021) en Pujilí, que utilizó tratamientos no convencionales para el control del *Tetranychus urticae*, encontró diferencias numéricas más significativas en la población inicial de ácaros, con una variación de 13,46 entre variedades. Este valor es considerablemente mayor que el obtenido en el presente estudio, donde la mayor diferencia entre Freedom y Jessica fue de solo 0,36. En la etapa final del estudio de Hidalgo, también se observó una mayor diferencia numérica (1,58), en contraste con la menor diferencia entre High Exótica y Jessica (0,13) en el presente análisis. Estos resultados resaltan la importancia de la variedad de rosa en la presencia y control de la plaga.

**Prueba de Tukey para la interacción entre factor a (alternativas de control) y factor b (variedades de rosas) con relación a presencia de adultos a los 0 días después de la aplicación (0 dda), 2 días después de la aplicación (2 dda) y a los 16 días después de la aplicación (16 dda).**

En la evaluación inicial a los 0 días, se encontró que la población de ácaros adultos estaba distribuida uniformemente en las parcelas, con promedios de 12,77 a 24,55 ácaros por hoja. A los 2 días después de la aplicación (ddA), el tratamiento más efectivo fue T3 (Trisiloxano 0,5 cc/l) en la variedad Freedom, con un promedio de 2,32 ácaros adultos por hoja, seguido de T6 (Trisiloxano 0,5 cc/l) en High Exótica con 2,84 ácaros, y T2 (Extracto de *P. bogotensis* 40 cc/l) en Freedom con 3,72 ácaros.

En la evaluación final a los 16 ddA, los tratamientos con Trisiloxano (0,5 cc/l) en las variedades Freedom, High Exótica, y Jessica resultaron en un menor número de ácaros comparado con los tratamientos con extracto de *P. bogotensis*, pero ambos mostraron resultados estadísticamente similares al control comercial, haciendo de ellos buenas alternativas para el control de plagas. Los mejores resultados finales fueron T3 (Trisiloxano 0,5 cc/l) en Freedom con 0,32 ácaros, seguido por T6 en High Exótica con 0,35 ácaros, y T9 en Jessica con 0,40 ácaros. Los tratamientos con extracto de *P. bogotensis* también mostraron eficacia, aunque con una ligera diferencia matemática de 0,97 puntos en comparación con Trisiloxano.

Estos resultados demuestran que las alternativas utilizadas tienen una relación directa con las variedades de rosas y su manejo agronómico, siendo influenciadas por factores como la densidad del follaje varietal, lo que afecta la incidencia de la plaga.

**Tabla 16.**

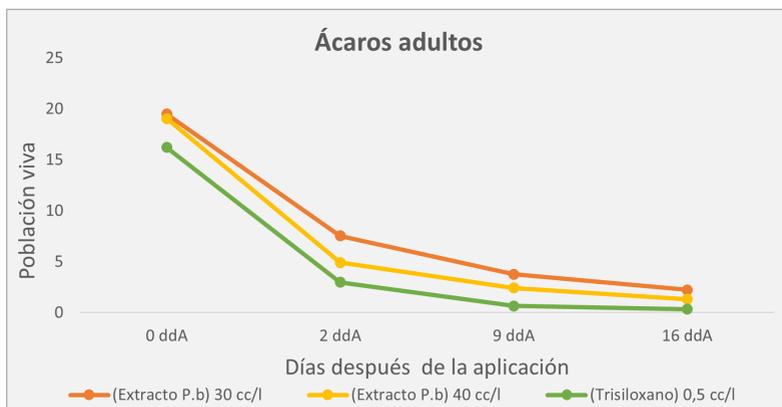
*Prueba de Tukey para la interacción entre Factor A (Alternativas de control) y Factor B (Variedades de rosas) con relación a presencia de adultos a los 0 días después de la aplicación (0ddA), 2 días después de la aplicación (2ddA) y a los 16 días después*

Factor A	Factor B	0 ddA		2 ddA		16 ddA	
		Prom.	Rango	Prom.	Rango	Prom.	Rango
Extracto <i>Phytolacca</i> 30 cc/l	Freedom	14,94	ab	5,42	c	2,07	e
Extracto <i>Phytolacca</i> 40 cc/l	Freedom	15,12	ab	3,72	ab	0,95	b
Trisiloxano 0,5 cc/l	Freedom	12,77	A	2,32	a	0,32	a
Extracto <i>Phytolacca</i> 30 cc/l	High Exótica	19,0	c	7,39	d	2,25	ef
Extracto <i>Phytolacca</i> 40 cc/l	High Exótica	19,2	c	5,04	bc	1,42	c
Trisiloxano 0,5 cc/l	High Exótica	16,55	bc	2,84	a	0,35	a
Extracto <i>Phytolacca</i> 30 cc/l	Jessica	24,55	d	9,79	e	2,39	f
Extracto <i>Phytolacca</i> 40 cc/l	Jessica	22,82	d	5,97	cd	1,63	d
Trisiloxano 0,5 cc/l	Jessica	19,34	c	3,78	ab	0,40	a

**Presencia de adultos en diferentes días.**

**Tabla 17.**

*Interacción de Factor A (Alternativas de control) en diferentes días.*

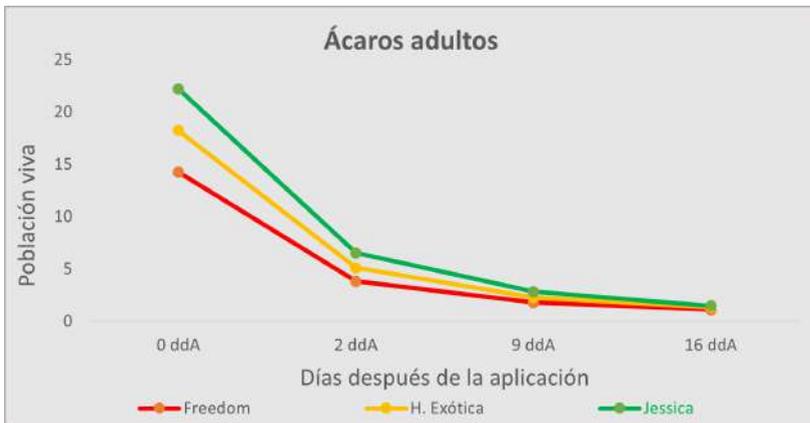


La interacción de las Alternativas aplicadas como controladores de ácaros mostró un impacto positivo a partir del segundo día después de la aplicación (2 ddA), especialmente al comparar el testigo comercial Trisiloxano (0,5 cc/l) con las dos Alternativas de Extracto de *P. bogotensis* (40 y 30 cc/l). Ini-

cialmente, la diferencia numérica entre Trisiloxano y los extractos fue de 1,93 y 4,55 puntos. A los nueve días (9 ddA), el efecto sobre la plaga se incrementó, y las diferencias disminuyeron a 1,75 y 3,09 puntos. Finalmente, a los 16 días (16 ddA), las diferencias se redujeron aún más a 0,98 y 1,88 puntos, mostrando que el extracto de *P. bogotensis* alcanzó resultados similares al testigo comercial. Esto sugiere que la alternativa orgánica (Extracto de *P. bogotensis* 40 cc/l) es viable para reducir el uso de ingredientes activos por hectárea en el agroecosistema productivo de estos cultivos.

**Tabla 18.**

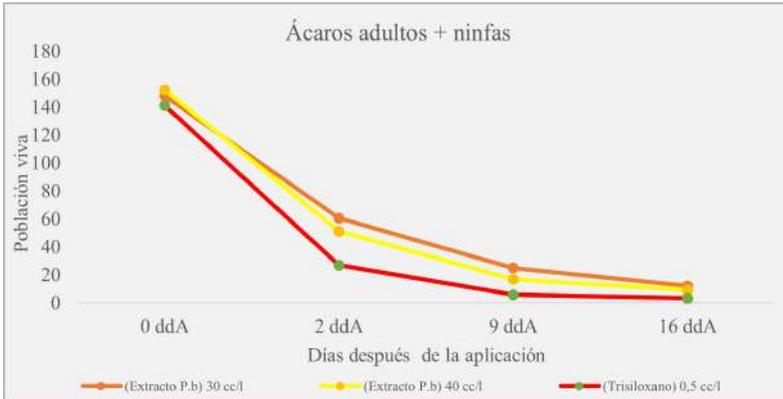
*Interacción de Factor B (Variedades de rosas) en diferentes días.*



Se observó que la aplicación de las alternativas de control al segundo día después de la aspersión (2 ddA) fue efectiva en reducir la población inicial de la plaga. Durante el ensayo, se notó una leve homogeneización de la población del ácaro, especialmente a partir del noveno día (9 ddA), con una diferencia de solo 0,5 puntos entre las tres variedades de rosa analizadas. Al final del ensayo, la diferencia numérica entre las variedades fue de 0,18 puntos, lo que indica que la población del ácaro adulto se homogeneiza con el tiempo, independientemente de la variedad de rosa estudiada.

**Tabla 19.**

*Interacción de Factor A (Alternativas de control: ninfas + adultos) en diferentes días.*



Al finalizar el estudio, el análisis de la interacción de las alternativas aplicadas como controladores de ácaros (ninfas y adultos) mostró que, 2 días después de la aspersión, hubo una disminución significativa en la población total de ácaros debido a las sustancias alternativas. Trisiloxano (0,5 cc/l) y los extractos de *P. bogotensis* (40-30 cc/l) presentaron diferencias de 24 y 9 puntos, respectivamente. A los 9 días (9 ddA), el efecto de los tratamientos continuó incrementando y las diferencias entre Trisiloxano y los extractos disminuyeron a 11 y 8 puntos. En la evaluación final (16 ddA), la diferencia se redujo aún más, registrando 6 y 3 puntos, lo que sugiere que Trisiloxano actúa como un controlador de choque, asfixiando a los ácaros, mientras que los extractos de *P. bogotensis* actúan por ingestión en un periodo de 48 a 72 horas, logrando reducir significativamente las poblaciones de ácaros. Esto indica que los extractos pueden ser una alternativa viable para disminuir el uso de ingredientes activos por hectárea por año en el agroecosistema productivo de estos cultivos.

### Efectividad de control

La efectividad de las alternativas de control de *Tetranychus urticae* en cultivos de rosas fue evaluada utilizando la fórmula de Abbott, comparando la población inicial y final de ácaros en las hojas. Los resultados mostraron que todas las alternativas redujeron significativamente la población de ácaros desde las 48 horas posteriores a la aplicación, con un control incrementado a partir del día 9. Al final del estudio (16 ddA), Trisiloxano (0,5 cc/l) mostró la

mayor efectividad, alcanzando un 97.7% de control, seguido del Extracto de *Phytolacca bogotensis* a 40 cc/l con un 93.9%, y a 30 cc/l con un 91.8%. La diferencia de efectividad entre Trisiloxano y el extracto a 40 cc/l fue mínima, de solo 3.8 puntos. Estos resultados sugieren que Trisiloxano es eficaz como tratamiento de choque en casos de alta infestación, mientras que el extracto de *Phytolacca* es adecuado para programas de control continuo en cultivos ornamentales destinados a la exportación.

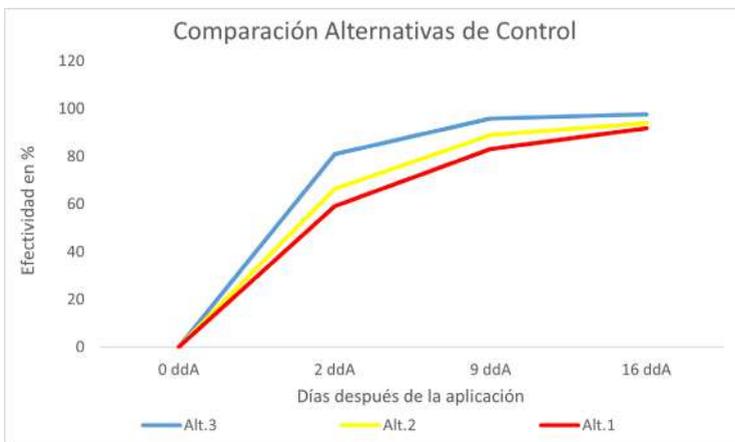
**Tabla 20.**

*Efectividad de las Alternativas para el control de Tetranychus urticae.*

Alternativas	0 ddA	2 ddA	9 ddA	16 ddA
	Población	Población	Población	Población
Alt.3	141,19	26,95	5,86	3,26
Alt.2	152,50	51,30	16,90	9,27
Alt.1	148,01	60,57	24,99	12,07
Alternativas	Efectividad	Efectividad	Efectividad	Efectividad
Alt.3	0	80,9	95,8	97,7
Alt.2	0	66,4	88,9	93,9
Alt.1	0	59,1	83,1	91,8

**Figura 16.**

*Evaluación de la efectividad para alternativas de control en diferentes días.*



## Coeficiente de variación

El coeficiente de variación (CV) en este estudio fue calculado y se encontró que es menor al 13,1%. Este bajo CV indica una baja dispersión de los resultados, lo que refuerza la validez y consistencia de los datos obtenidos. Por lo tanto, las deducciones, conclusiones, y sugerencias derivadas de este estudio son adecuadas y confiables para el contexto agroecológico analizado.

## Análisis económico.

El análisis económico realizado mediante la metodología del presupuesto parcial se centró en los costos asociados a las aplicaciones de cada tratamiento y los costos variables por tallo en la finca. Se evaluaron tres alternativas de control para ácaros en cultivares de rosas, con los siguientes costos promedio por hectárea:

**Tabla 21.**

*Promedio por Alternativa de control para ácaros (Tetranychus urticae).*

Alternativa	Tratamiento	Costo/unid	Costo/ ha
Alternativa 1	Extracto <i>P. bogotensis</i> * (30 cc/l)	0,01162 \$/tallo	(37,967) \$/ha
Alternativa 2	Extracto <i>P. bogotensis</i> * (40 cc/l)	0,01286 \$/tallo	(50,193) \$/ha
Alternativa 3	Trisiloxano** (0,5 cc/l)	0,01174 \$/tallo	(35,174) \$/ha

\*Extracto de *Phytolacca*: 0,70 \$/l

\*\*Trisiloxano: 40 \$/l

Para este análisis únicamente se toma en cuenta los costos de la aplicación en cada tratamiento y los costos que varían en finca, en esta investigación fueron: Trisiloxano (0,5 cc/l), con un valor promedio de 35,17 \$/ha, para el total de flor cosechada en los días de evaluación; Extracto de *Phytolacca bogotensis*(30 cc/l) con un costo promedio de 37,96 \$/ha para los tallos cosechados respectivamente y los jornales gastados en las aplicaciones fue de 87,51 dólares promedio para las tres aplicaciones con las tres alternativas de control utilizadas en este cultivar de rosas en función del rendimiento de cada tratamiento. De acuerdo con este análisis, el T1: A1B1 (Extracto P. b 30 cc/l en Freedom), exhibió el beneficio neto más alto, con \$1205,6, seguido por T2: A2B1 (Extracto P.b, 40 cc/l en Freedom) con una ganancia neta de \$1186,0. Esta diferencia se dio por los tallos recolectados durante los días de investigación, precio de insumos y dosis aplicadas en este estudio. En el análisis de costo por tallo cosechado y tratados en esta investigación, se puede diferenciar que la Alternativa con menor costo por tallo fue: Extracto (30 cc/l) con un

costo medio de 0,0116 \$/tallo; seguido por Trisiloxano con un precio medio de 0,0117 \$/tallo y con el costo más alto Extracto (40cc/l) con 0,0128 \$/tallo producido durante este estudio.

## Conclusiones

Al término de esta investigación, se concluyó que la aplicación del extracto de *Phytolacca bogotensis* a una dosis de 40 cc/l resultó efectiva en el control de ácaros *Tetranychus urticae*, reduciendo significativamente la población promedio de adultos y ninfas. En particular, se observó una disminución de la población de adultos desde 19,05 hasta 1,33 individuos vivos, y de ninfas desde 133,45 hasta 7,94 a los 16 días de tratamiento en las tres variedades de rosas evaluadas. El análisis de los principios activos del extracto reveló una presencia de 13,5% de saponinas y flavonoides propanol en cantidades moderadas. A través de un análisis estadístico, se identificó que el tratamiento T3, que utiliza Trisiloxano a 0,5 cc/l en la variedad Freedom, demostró la mayor efectividad en el control de ácaros, reduciendo la población de adultos de 12,77 a 0,32 y las ninfas de 101,85 a 2,79. Por el contrario, el tratamiento T7, con Extracto de *P. bogotensis* a 30 cc/l, mostró menor efectividad, dejando una población alta de 24,55 adultos y 10,95 ninfas vivas a los 16 días. La cuantificación de la población de *Tetranychus urticae* en tres variedades de rosa mostró que Freedom tuvo la población promedio más baja con 1,1 adultos y 5,86 ninfas vivas, indicando una menor susceptibilidad a la plaga, mientras que la variedad Jessica presentó el promedio más alto con 7,69 ninfas y 1,47 adultos vivos. El análisis estadístico también indicó que el Trisiloxano a 0,5 cc/l fue la alternativa de control más efectiva con un 97,7% de efectividad, encontrando 3,26 individuos vivos por hoja muestreada. En contraste, las alternativas de Extracto de *P. bogotensis* mostraron efectividades de 93,9% y 91,8%, respectivamente.

Con base a estos resultados, se recomienda el uso de Trisiloxano a una dosis de 0,5 cc/l para el manejo de infestaciones graves de ácaros, debido a su eficacia. Este producto ha demostrado una capacidad superior para reducir rápidamente las poblaciones de ácaros, tanto en su etapa adulta como en ninfas, lo que lo convierte en una opción efectiva para controlar brotes severos. A pesar de su alta efectividad, también se aconseja seguir evaluando y optimizando nuevas dosis del extracto de *Phytolacca bogotensis* para mejorar su eficacia en el control de ácaros. Este enfoque tiene el objetivo de reducir la cantidad de ingredientes activos aplicados por hectárea, lo que beneficiaría al agroecosistema productivo al minimizar el impacto ambiental y mejorar la sostenibilidad del cultivo de rosas.

Además, se recomienda llevar a cabo un exhaustivo screening fitoquímico para identificar otros principios activos presentes en *P. bogotensis*. Este análisis permitirá explorar su potencial en el control de una gama más amplia de patógenos, contribuyendo así a desarrollar estrategias más integradas y sostenibles en la agricultura orgánica. La identificación de nuevos compuestos activos podría llevar al desarrollo de tratamientos más eficaces y menos dependientes de químicos sintéticos, promoviendo prácticas agrícolas más ecológicas.

## Referencias bibliográficas

- Agrocalidad. (2019). *Protocolo para el control obligatorio de ácaros en lugares o sitios de producción de rosas en exportación*. Quito: Agrocalidad.
- Agrocalidad. (2023). *Informe identificación taxonómica Phytolaccaceae; nombre científico Phytolacca bogotensis kun th*. Quito: AGROCALIDAD.
- Calderón et al, P. M. (2021). Retos y oportunidades para las MIPYMES en la floricultura ecuatoriana. *Revista Ecuatoriana de Agronegocios*, 12(1), 112-125.
- Chacón, J. e. (2016). Distribución espacial y fluctuación poblacional de *Tetranychus urticae* (Koch) y *Phytoseiulus persimilis* (Athias - Henriot) en cultivos de rosal. . *Python (Buenos Aires)*, 85(2), 236–245.
- Diodato, L., & Fuster, A. (2018). Biología y comportamiento de *Palpita flegia* (Lepidóptera: Crambidae). *Biología tropical*, (2), 11.
- Espinoza et al, L. C. (2017). Impacto del ácaro *Tetranychus urticae* en la calidad de las flores de rosa en Ecuador. . *Revista de Fitopatología*, 13(2), 34-50.
- Expoflores. (2021). *Expoflores: Tres décadas de contribución al sector florícola*. Quito, Ecuador.: Asociación Expoflores.
- Expoflores. (01 de Junio de 2023). *expoflores.com*. Obtenido de Reporte Estadístico Mensual. Termómetro Exportador Florícola. Quito, Pichincha, Ecuador: <https://expoflores.com/wp-content/uploads/2023/06/Expoflores-junio-2023-1.pdf>
- Expoflores. (2024). *Informe anual sobre la industria florícola ecuatoriana*. . Quito - Ecuador: Asociación Expoflores.
- García, D., & Procel, D. (2011). *Evaluación de cuatro extractos en el control de Tetranychus sp* (ácaros) en rosas de exportación en la empresa *Guaguilquí Agroindustrial S.A*. Guaguilquí Agroindustrial S.A.
- Góngora Chi, G. L. (2023). *biotecnia.unison.mx*. Obtenido de Métodos de extracción, funcionalidad y bioactividad de saponinas de *Yucca*: una revisión. *Biotecnia*, 25(1), 147-155.: <https://biotecnia.unison.mx/index.php/bio>

- González, A. (2004). *unal.edu.co*. Obtenido de Obtención de Aceites Esenciales y Extractos Etanólicos de Plantas Amazónicas. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. : [repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2800/angelaandreacongonzalezvilla.2004.pdf](http://repositorio.unal.edu.co/bitstream/handle/unal/2800/angelaandreacongonzalezvilla.2004.pdf)
- Granda et al, V. E. (2024). Impacto geopolítico en la economía florícola ecuatoriana: Un análisis post-crisis. *Economic Journal of Ecuador*, 22(1), 95-108.
- Hernández, A., & Hermosilla, V. (2014). Efecto de la concentración de saponinas en la actividad hemolítica de extractos de ocho plantas de uso medicinal en Guatemala. <https://core.ac.uk/download/pdf/35292891.pdf>.
- Hidalgo, A. (2021). Evaluación de alternativas de control no convencionales de ácaros del género *Tetranychus urticae* en dos variedades de rosas. . <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7611/1/MUTC-000904.pdf>.
- Hidalgo, A. (2021). *utc.edu.ec*. Obtenido de Evaluación de alternativas de control no convencionales de ácaros del género *Tetranychus urticae* en dos variedades de rosas.: <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/7611/1/MUTC-000904.pdf>
- Inak, E., Nazim, Y., & Cobanoglu, S. (2019). Resistance incidence and presence of resistance mutations in populations of *Tetranychus urticae* from vegetable crops in Turkey. *Springer Link*, (3), 43.
- Instituto Colombiano Agropecuario. (2015). *www.ica.gov.co*. Obtenido de Manual para elaboración de protocolos para ensayos de eficacia con PQUA.: <https://www.ica.gov.co/areas/agricola/servicios/regulacion-y-control-de-plaguicidas-quimicos/manual-protocolos-ensayos-eficacia-pqua-1.aspx>
- LatinSelección. (2016). *united-selections.com*. Obtenido de <https://united-selections.com/our-roses/>
- Mejía, J. (2016). Efecto de *Tetranychus urticae* Koch en la calidad. *Ciencias Agrícolas*, (2), 12.
- Mora, J. (2016). *uptc.edu.co*. Obtenido de Eficacia In Vitro del extracto de *Phytolacca bogotensis* K. y *Alnus acuminata* K. en el control de la garrapata adulta *Rhipicephalus (Boophilus) microplus*. : <http://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/2308>
- Morán et al, A. G. (2022). Evolución y perspectiva de la floricultura en los mercados internacionales. *Journal of Floriculture*, 15(2), 45-58.

- Ramos, J. (2024). El control de plagas en el sector florícola: Desafíos y nuevas alternativas. . *Agroecology Journal*, 19(3), 67-79.
- Riss, L., & Grum, M. (2018). Ecuador Tiene Cinco Veces Los Ácaros (Tetranychus sp.) en Rosa que tiene Kenia. . *Scarab solutions*, (2), 3.
- Rodríguez, J. (2017). *ug.edu.ec*. Obtenido de (2017). Determinación y cuantificación de saponinas en las hojas de la cabuya (*Furcraea andina*) para su posible uso como tensoactivo en detergentes biodegradables.: [http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19454/1/BCIEQ-T0190%](http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/19454/1/BCIEQ-T0190%20)
- Rosen Tantau Ecuador. (2020). *rosentantaulatam.com/*. Obtenido de Rosen Tantau Ecuador : <https://rosentantaulatam.com/product/freedom/>
- Ruge, D. (2018). Implementación de listas de chequeo estandarizadas para el control MIPE de plagas y enfermedades en rosas. *U. Cundinamarca*, (2), 82.
- Soto, A. (2013). Integration of biological control and alternative products against *Tetranychus urticae*. *UDCA*, (2), 7.
- Tipaz, E., Restrepo, C., Solarte, P., & Mena, N. (2019). Caracterización fitoquímica de las hojas de *Phytolacca americana* y determinación de su potencial antifúngico. *file:///C:/Users/LENOVO/Downloads/Dialnet-Car*.
- Torres, E. (2016). Manejo MIPE en ácaros bajo cultivo de rosas. . *Entomological*, (2),5.
- Torres, M. (2023). *e pn.edu.ec*. Obtenido de Alternativas biológicas para reemplazar los plaguicidas de mayor consumo en el ecuador alternativas biológicas para el reemplazo de nematocidas químicos en el ecuador.: <https://bibdigital.e pn.edu.ec/bitstream/15000/23706/1/CD%201>
- Yépez, J. (2020). *utn.edu.ec*. Obtenido de Evaluación de la dinámica poblacional del Ácaro (*Tetranychus urticae*), en el cultivo de rosa (*Rosa sp*) en Mira, Carchi. : <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/10477/2/03%20AGP%20266%20TRABAJO%20GRADO.pdf>

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## **4**

### **Capítulo**

Evaluación del índice de cosecha de  
tuna (opuntia ficus - indica)  
y estrategias de limpieza del fruto.  
Salache, Cotopaxi

**AUTORES:** Livia Ríos; Giovana Parra



## Evaluación del índice de cosecha de tuna (*Opuntia ficus - indica*) y estrategias de limpieza del fruto. Salache, Cotopaxi

Evaluation of the harvest index of prickly pear (*Opuntia ficus - indica*) and fruit cleaning strategies. Salache, Cotopaxi

### Resumen

La primera fase se desarrolló en la parroquia San Miguel del cantón Salcedo, provincia Cotopaxi. La segunda en el laboratorio del Campus Salache de la UTC. Se evaluó el índice de cosecha de tuna (*Opuntia ficus - indica*) y estrategias de limpieza en la conservación poscosecha de la fruta para su almacenamiento. Se trabajó con dos factores de estudio: tres índices de madurez (verde claro, amarillo predominante y naranja rojizo) y tres estrategias de limpieza (mecánica con escobas, fuente de calor y tela tul). Las variables evaluadas fueron: color, presencia de enfermedades-plagas-fisiopatías, pérdida de peso, diámetro, firmeza, SSL, pH, humedad y cenizas. La metodología fue experimental y se utilizó DBCA con arreglo factorial por 3 repeticiones, obteniendo 9 tratamientos cada uno con 10 tunas. Los resultados en el índice de madurez, que se encontró en el rango A fue el verde claro con 93,33 % de presencia de enfermedades-plagas-fisiopatías a los 34 días, pérdida de peso 94,86%, diámetro 5,15 cm, firmeza 2,67%, mientras que en SST el índice de madurez que se encuentra en el rango A es el naranja rojizo con 11,38%. La estrategia de limpieza mecánica con escobas prolongó el tiempo de almacenamiento de la tuna presentando daños de 91,11% por presencia de enfermedades-plagas-fisiopatías a los 28 días, mientras que las estrategias fuente de calor llegó al 100% en daños para esta variable a los 25 días. Por lo que se concluye que el mejor momento de cosecha es el índice de madurez verde claro para mayor vida útil en anaquel y la estrategia de limpieza que menos daño provoca en el fruto es la limpieza mecánica con escobas, además presentó menor costo por tuna.

**Palabras claves:** Cosecha, Limpieza, Fruto, Tuna.

### Abstract

The first phase occurred in the San Miguel parish of the Salcedo canton, Cotopaxi province. The second is in the laboratory of the UTC Salache Campus. The field and laboratory inquiry of the current research were developed separately. The first occurred in the San Miguel parish of the Salcedo canton, Cotopaxi province. The second is in the laboratory of the UTC Salache Campus. We evaluated the harvest index of prickly pear (*Opuntia ficus - indica*) and cleaning strategies in post-harvest fruit conservation for storage. We worked with

two study factors: three maturity indices (light green, predominantly yellow, and reddish orange) and three cleaning strategies (mechanical with brooms, heat source, and tulle fabric). The variables evaluated were color, presence of disease-pests-physiopathies, weight loss, diameter, firmness, SSL, pH, humidity, and ash. The methodology was experimental, and DBCA was used with a factorial arrangement for three repetitions, obtaining nine treatments, each with ten prickly pears. The results in the maturity index found in the “A” range were light green with 93.33% presence of diseases-pests-physiopathies at 34 days, weight loss at 94.86%, diameter 5.15 cm, firmness at 2.67%, while in SST, the maturity index that is in a range A is reddish orange with 11.38%. The mechanical cleaning strategy with brooms prolonged the storage time of the prickly pear, presenting damage of 91.11% due to the presence of diseases-pests-physiopathies at 28 days, while the heat source strategy reached 100% damage due to this variable at 25 days. Therefore, we concluded that the best harvest time is the light green maturity index for longer shelf life, and the cleaning strategy that causes minor damage to the fruit is mechanical cleaning with brooms, which also presented the least cost per prickly pear.

**Keywords:** Harvest, Cleaning, Fruit, Prickly pear (o fig).

## Introducción

La tuna o cactus nopal (Albuquerque et al., 2020), según la FAO (2013) está distribuida en todo el mundo en forma de cultivo o silvestre. Esta cactácea es originaria de México y está muy extendido por América Central y del Sur, siendo México su principal productor. Se adapta a diferentes climas y terrenos áridos y semiáridos (Terán et al., 2015).

Su cosecha se realiza en las primeras horas de la mañana girándolas (Sandoval et al., 2019). La presencia de espinas en esta fruta limita su consumo (Piga et al., 2000), por lo que se busca estrategias para eliminarlas de la fruta porque al entrar en la piel son muy doloras y difíciles de sacarlas, así en esta investigación se evaluó tres estrategias de eliminación de las espinas, mediante limpieza con tela tul, con una fuente de fuego y mecánicamente con escobas combinado con tres índices de cosecha. El índice de cosecha y eliminación de espinas son factores muy importantes a considerar en la postcosecha, del cuidado de estos factores dependerá la duración del fruto y la vida de anaquel (Salas, 1998).

El interés del consumo de tuna va incrementando debido a sus características nutricionales y bondades para la salud (Santos et al., 2017; Giraldo et

al., 2023), como se menciona en numerosos reportes entre ellos la capacidad antioxidantes y anticarcinogénicas (Torres et al., 2015).

El cultivo de tuna tiene mucho potencial en el mercado ecuatoriano y como fruta exótica con miras a la exportación, sin embargo, el desconocimiento del agricultor de los índices adecuados de cosecha y forma de desespinado trae como consecuencia la pérdida en el almacenamiento.

Los agricultores realizan la cosecha de acuerdo a su experiencia por el color de la fruta, y posteriormente quitan las espinas de los frutos, sin embargo no conocen con exactitud el índice de madurez del fruto para tener una mayor vida útil en postcosecha y, la forma de quitar las espinas también determina la vida útil de la tuna, ya que los agricultores ponen la fruta directamente en el suelo o en planchas de cemento y las frotran con escobas, rama, etc., este proceso hace que la tuna se maltrate permitiendo su deterioro más rápido, por lo expuesto en esta investigación se aplicó tres estrategias de limpieza mencionadas para minimizar el daño al fruto.

## **Materiales y métodos**

### **Localización**

El trabajo de investigación se inició con la recolección de tuna en una parcela ubicada en el cantón Salcedo, la Matriz, a una altura de 2680 m.s.n.m. perteneciente a la provincia de Cotopaxi. La cosecha se hizo en la mañana para evitar que los espinos se desprendan de la fruta debido al viento.

### **Tipo de investigación**

La investigación fue de tipo experimental donde se evaluó las variables para determinar el efecto producido del índice de cosecha y las estrategias de limpieza en el comportamiento postcosecha de la tuna.

### **Población y muestra**

La población que se utilizó fue una parcela con 200 plantas de tuna, ubicada en cantón Salcedo, provincia Cotopaxi. La muestra fue de 9 tratamientos y 3 repeticiones, cada tratamiento contó con 10 frutos.

### **Técnicas e instrumentos**

La técnica de observación, permitió observar el índice de madurez del fruto para su cosecha y clasificación, la técnica de recolección de datos se utilizó para analizar e identificar la influencia de los factores de estudio, índice de cosecha y estrategias de limpieza, en las variables analizadas. El instrumento

utilizado fue el libro de campo que permitió recolectar y tabular los datos obtenidos durante la investigación para luego ser analizados.

### Factores de estudio

Índice de cosecha

I1: Estadio 1 Verde claro (VC). I2: Estadio 2 amarillo predominante (AP). I3: Estadio 3 Naranja rojizo (NR).

Estrategias de limpieza

Limpieza mecánica con escobas (E1), limpieza con una fuente de calor (E2), limpieza con malla de tela tul (E3).

**Tratamientos.** De la interacción de los factores en estudio se obtuvo 9 tratamientos:

### Tabla 22.

*Descripción de los tratamientos.*

Tratamiento	Simbología	Descripción
T <sub>1</sub>	(I1E1)	Estadio 1 verde claro con la estrategia de limpieza mecánica con escobas.
T <sub>2</sub>	(I1E2)	Estadio 1 verde claro con la estrategia de limpieza con una fuente de calor
T <sub>3</sub>	(I1E3)	Estadio 1 verde claro con la estrategia de limpieza con malla de tela tul.
T <sub>4</sub>	(I2E1)	Estadio 2 amarillo predominante con la estrategia de limpieza mecánica con escobas.
T <sub>5</sub>	(I2E2)	Estadio 2 amarillo predominante con la estrategia de limpieza con una fuente de calor
T <sub>6</sub>	(I2E3)	Estadio 2 amarillo predominante con la estrategia de limpieza con malla de tela tul.
T <sub>7</sub>	(I3E1)	Estadio 3 Naranja rojizo con la estrategia de limpieza mecánica con escobas.
T <sub>8</sub>	(I3E2)	Estadio 3 Naranja rojizo con la estrategia de limpieza con una fuente de calor
T <sub>9</sub>	(I3E3)	Estadio 3 Naranja rojizo con la estrategia de limpieza con malla de tela tul.

### Diseño experimental

En la investigación se empleó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial (3x3) por tres obteniendo 27 unidades experi-

mentales, compuestas por 10 tunas cada unidad y cada tratamiento estuvo compuesto por 30 tunas. Los tratamientos fueron las combinaciones de los índices de madurez del fruto, considerando tres índices de madures y tres estrategias de limpieza.

### Análisis estadístico

Se trabajó con el esquema de ADEVA y para la fuente de variación que presente significancia estadística se realizó la prueba de Tukey al 5%.

### Manejo del experimento

#### Recolección de la materia prima según índice de madurez

La variedad de tuna empleada fue la tuna blanca con espinas.

Se cosechó tunas en tres índices de madurez: Índice 1 (I1) Verde claro (VC); índice 2 (I2) amarillo predominante (AP) e índice 3 (I3) Naranja rojizo (NR).

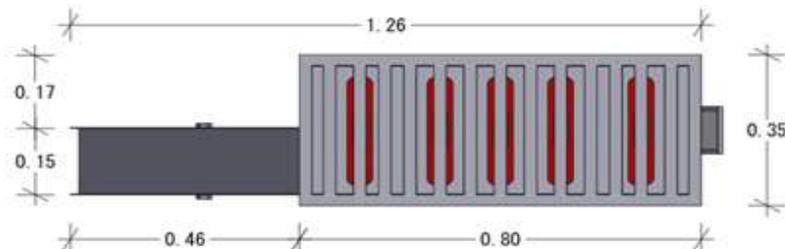
#### Estrategias de limpieza de las espinas de la tuna

Una vez cosechada la tuna se realizó la limpieza utilizando las tres estrategias siguientes para cada tratamiento:

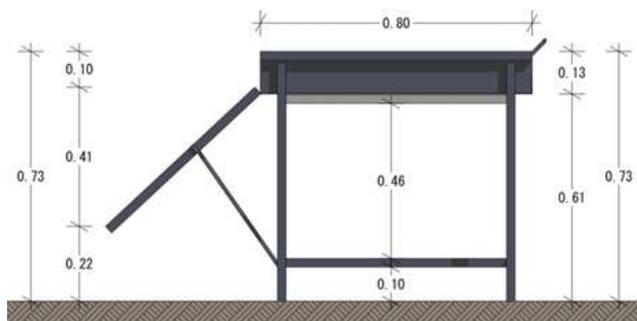
**Estrategia 1 (E1): limpieza mecánica con escobas**, se utilizó una máquina manual limpiadora de tunas diseñada por la autora. Las tunas se introdujeron en la máquina, la misma que contiene un manubrio con escobas y tiene un movimiento unidireccional de adelante hacia atrás para frotar las tunas y sacar las espinas.

### Figura 17.

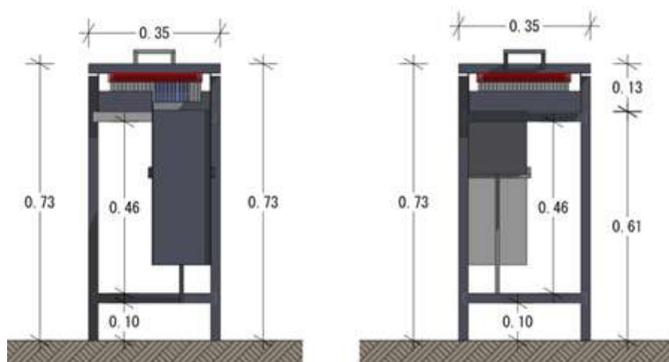
*Diseño de la máquina manual limpiadora de tunas.*



### Vista superior



Vista lateral



Vista anterior y posterior

**Estrategia 2 (E2): limpieza con una fuente de calor**, se utilizó un soplete de mango de 30 cm, adaptado a un tanque de gas, y con la flama baja se quemó las espinas de la tuna.

**Estrategia 3 (E3): limpieza con malla de tela tul**, se adaptó la tela tul en un balde de 12 litros, en el cual se puso las tunas y se realizó movimientos giratorios para eliminar las espinas.

### Variables evaluadas

Se tomó cinco tunas para las variables destructivas y cinco para las variables no destructivas de cada tratamiento. Todos los tratamientos estuvieron en las mismas condiciones de temperatura, fluctuando entre 18 a 22°C.

Las variables no destructivas: color, porcentaje de enfermedades-plagas-fisiopatías, pérdida de peso y diámetro se evaluó cada tres días hasta que salió la última tuna del ensayo identificada no apta para la comercialización

por la presencia de enfermedades-plagas-fisiopatías, a los 34 días de almacenamiento salió la última tuna.

En el caso de las variables destructiva: firmeza, pH y sólidos solubles, se realizó 5 tomas de datos cada tres días durante 13 días, mientras que humedad y cenizas se tomó al inicio y 7 días después del ensayo, considerando que los cambios son mínimos.

## Resultados

**Color:** se trabajó con tres índices de cosecha correspondientes a tres códigos de la tabla de Munsell para vegetales: verde claro código 2,5GY6/10; amarillo predominante código 2,5GY8/10 y naranja rojizo código 5R6/10. La determinación del color se lo hizo cada tres días mediante la tabla de Munsell que incluye todos los matices del rango visible del espectro electromagnético.

En la tabla 22 se presenta la evolución del color de los tratamientos hasta el día 34 que fue la última tuna en salir del ensayo correspondiente al T1 con el código 5GY6/8 por presencia de enfermedades-plagas-fisiopatías, y se observó que los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 tuvieron un mínimo cambio en la tonalidad del color, mientras que los tratamientos T7, T8 y T9 no cambiaron por estar en su máximo índice de madurez.

Según Sáenz et al (2013) el momento óptimo de la cosecha debe ser cuando la fruta esté adecuada para el consumo, comercialización y procesamiento, debido a que la tuna es no climatérica y no madurará después de la cosecha se debe considerar los siguientes factores que determinan el momento óptimo de la cosecha como el tamaño, firmeza, color correspondiente al índice de madurez, contenido de sólidos solubles mínimo 14° Brix y caída de gloquidios.

En cuanto al índice de madurez Allegra et al (2015) menciona que este parámetro influye en la vida útil de anaquel de la tuna, coincidiendo estos resultados con esta investigación que se identificó que a mayor índice de madurez menor es la vida útil de la fruta.

La siguiente tabla muestra la evolución del color de acuerdo al tratamiento y la salida del tratamiento del ensayo por presencia de plagas, enfermedades o fisiopatías:

### Tabla 23.

*Comportamiento del color por tratamientos a los 1,4,7,10,13,16,19,22,25,28,31 y 34 días.*

Tratamientos	Día 1	Día 4	Día 7	Día 10	Día 13	Día 16	Día 19	Día 22	Día 25	Día 28	Día 31	Día 34
T1: 11E1	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.79	3.0Y8.8	3.0Y8.8	3.0Y8.8						
T1: 11E3	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.79	3.0Y8.8	3.0Y8.8	3.0Y8.8	3.0Y8.8	2.50Y7.10	2.50Y7.10	2.50Y7.10		
T2: 11E2	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.79	3.0Y8.8	3.0Y8.8	3.0Y8.8	3.0Y8.8	2.50Y7.10	2.50Y7.10			
T7: 11E1	3.8E.10											
T4: 12E1	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.12	2.50Y8.12	2.50Y8.12					
T5: 12E2	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.12	2.50Y8.12	2.50Y8.12					
T6: 12E3	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.79	2.50Y8.12	2.50Y8.12	2.50Y8.12					
T8: 13E2	3.8E.10											
T9: 13E2	3.8E.10											

**Porcentaje de enfermedades, plagas y fisiopatías:** se observó detenidamente cada fruta y la que presentó daño provocado por enfermedades como manchas o pudriciones, plagas (huevos o larvas), o fisiopatías como deshidratación o rajaduras fue retirada del ensayo por haber perdido su calidad y no estar apta para comercializar.

**Tabla 24.**

*Test de Tukey (5%) para índice de cosecha por estrategia de limpieza (I\*E) en la variable Presencia de enfermedades, plagas y fisiopatías en tuna a los 7, 19, 22, 25 y 28 días de llevado al laboratorio.*

Tratamientos	Día 7			Día 19			Día 22			Día 25			Día 28		
	Medias (%)	Rangos		Tratamientos	Medias (%)	Rangos		Tratamientos	Medias (%)	Rangos		Tratamientos	Medias (%)	Rangos	
T3: 11E3	8.62	A		T3: 11E3	60	A		T3: 11E3	60	A		T1: 11E1	66.67	A	
T1: 11E1	9.53	A		T1: 11E1	66.67	A	B	T1: 11E1	66.67	A		T3: 11E3	93.33	B	
T7: 13E1	10.25	A		T7: 13E1	93.33	B	C	T2: 11E2	93.33	B		T7: 13E1	100	B	
T4: 12E1	10.85	A		T2: 11E2	93.33	B	C	T7: 13E1	100	B		T8: 13E2	100	B	
T9: 13E3	11.53	A		T8: 13E2	100	C		T8: 13E2	100	B		T9: 13E3	100	B	
T6: 12E3	12.45	A		T9: 13E3	100	C		T9: 13E3	100	B		T6: 12E3	100	B	
T2: 11E2	13.33	A		T4: 12E1	100	C		T4: 12E1	100	B		T2: 11E2	100	B	
T8: 13E2	33.33	B		T5: 12E2	100	C		T5: 12E2	100	B		T4: 12E1	100	B	
T5: 12E2	40	B		T6: 12E3	100	C		T6: 12E3	100	B		T5: 12E2	100	B	

En la Prueba de Tukey al 5% para la interacción índice de cosecha por estrategia de limpieza (I\*E) en la variable presencia de enfermedades, plagas y fisiopatías a los 7, 19 y 22 días, se presentan en primer lugar T3 (Estadio verde claro con limpieza con malla de tela tul) con menor porcentaje de presencia de

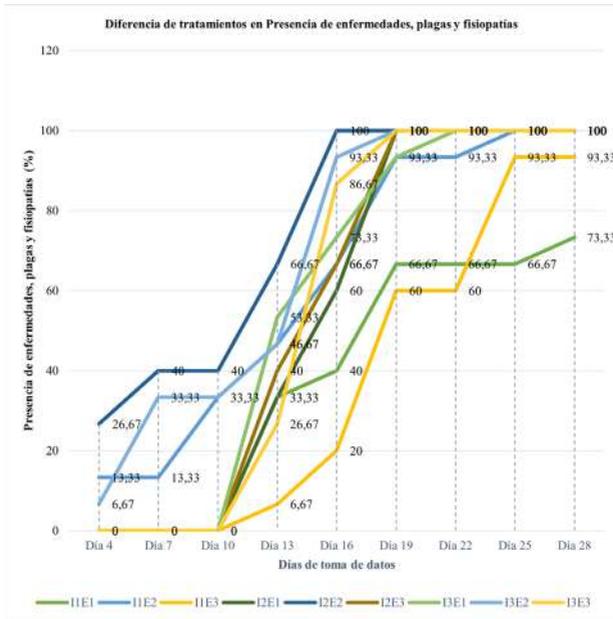
enfermedades, plagas y fisiopatías en la tuna con 0 y 60 %

A los 25 y 28 días, se presentan en primer lugar T1 (Estadio verde claro con limpieza mecánica con escobas) con menor porcentaje de presencia de enfermedades, plagas y fisiopatías en la tuna con 66,67 y 73,33 %. Se observó que mientras la cáscara presenta algún tipo de daño ya sea por enfermedad, plaga o fisiopatía, la pulpa mantiene su calidad.

Se verificó que la tuna cosechada en índice de cosecha verde claro y estrategia de limpieza mecánica con escobas correspondiente al tratamiento (I1E1) presentó menores daños por presencia de enfermedades, plagas y fisiopatías alargando su vida útil en anaquel hasta 28 días, siendo menor la vida en anaquel discutido por Choque (2021) quien señala que en condiciones al ambiente, la variedad blanca no se pudre hasta los 42 días y que en relación a la vida de anaquel se conserva, perfectamente hasta la tercera semana con pérdidas mínimas.

**Figura 18.**

*Diferencia de presencia de enfermedades plagas y fisiopatías, en tuna para índice de cosecha por estrategia de limpieza (I\*E).*



**Pérdida de peso:** el peso se tomó con una balanza digital de cinco frutos por tratamiento cada tres días, y se sacó el porcentaje de pérdida de peso.

**Tabla 25.**

*Test de Tukey (5%) para índice de cosecha por estrategia de limpieza (I\*E) en la variable pérdida de peso en tuna a los 4, 13, 16, 25 y 28 días de llevado al laboratorio.*

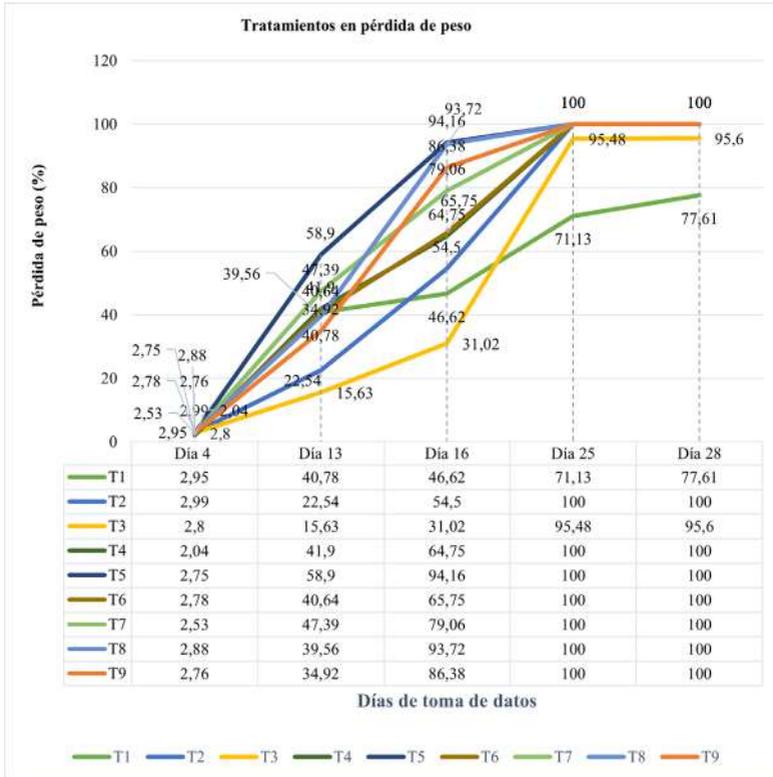
Dia 4		Dia 13			Dia 16			Dia 25			Dia 28			
Tratamientos	Medias (%)	Rangos												
T4: I2E1	2.04	A	T3: I1E3	15.63	A	T3: I1E3	31.02	A	T1: I1E1	71.13	A	T1: I1E1	77.61	A
T7: I3E1	2.53	A B	T2: I1E2	22.54	A B	T1: I1E1	46.62	A B	T3: I1E3	95.48	B	T3: I1E3	95.6	B
T5: I2E2	2.75	B	T9: I3E3	34.92	A B	T2: I1E2	54.5	B C	T7: I3E1	100	B	T7: I3E1	100	B
T9: I3E3	2.76	B	T8: I3E2	39.56	A B	T4: I2E1	64.75	C D	T8: I3E2	100	B	T8: I3E2	100	B
T6: I2E3	2.78	B	T6: I2E3	40.64	A B	T6: I2E3	65.75	C D	T9: I3E3	100	B	T9: I3E3	100	B
T3: I1E3	2.8	B	T1: I1E1	40.78	A B	T7: I3E1	79.06	D E	T6: I2E3	100	B	T6: I2E3	100	B
T8: I3E2	2.88	B	T4: I2E1	41.9	A B C	T9: I3E3	86.38	E	T2: I1E2	100	B	T2: I1E2	100	B
T1: I1E1	2.95	B	T7: I3E1	47.39	B C	T8: I3E2	93.72	E	T4: I2E1	100	B	T4: I2E1	100	B
T2: I1E2	2.99	B	T5: I2E2	58.9	C	T5: I2E2	94.16	E	T5: I2E2	100	B	T5: I2E2	100	B

Según la prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en pérdida de peso, en el día 4 se observó la menor pérdida de peso de fruto en el tratamiento 4 (I2E1 Estadio amarillo prominente con la estrategia de limpieza mecánica) con promedio de 2,04 %, ubicándose en el primer rango en la prueba.

A los 13 y 16 días se observó la menor pérdida de peso de fruto en el tratamiento I1E3 (Estadio 1 verde claro con la estrategia de limpieza con malla de tela tul) con promedio de 15,63 y 31,02 %, ubicándose en el primer rango en la prueba. Les siguen varios tratamientos que se ubicaron en rangos inferiores; encontrando al final de la prueba, los tratamientos (T5 y T6), que reportaron la mayor pérdida de peso ubicados en últimos lugares en la prueba. A los 25 y 28 días se presentó dos rangos de significancia, se observó la menor pérdida de peso de fruto en el tratamiento I1E1 (Estadio 1 verde claro con la estrategia de limpieza mecánica con escobas) con promedio de 71,13 y 77,61 %, ubicándose en el primer rango en la prueba, les siguen varios tratamientos que se ubicaron en rangos inferiores.

**Figura 19.**

*Diferencia de pérdida de peso en tuna para índice de cosecha por estrategia de limpieza (I\*E).*



**Diámetro:** se evaluó cinco tunas cada tres días y se empleó un escalímetro metálico para medir el diámetro.

A los 25 y 28 días, se detectaron la menor pérdida de diámetro en el tratamiento 1 (I1E1: Estadio verde claro con la estrategia de limpieza mecánica con escobas) con promedio de 4,1 y 4,43 cm, ubicándose en el primer rango seguido de varios tratamientos que se ubicaron y compartieron rangos inferiores.

**Firmeza:** se tomó la firmeza de 1 fruto por tratamiento cada tres días hasta el treceavo día, realizando cinco tomas en total. En el día 7 se detectaron tres rangos de significación. La mayor firmeza del fruto se detectó en los tratamientos I1E1 (Estadio verde claro con limpieza mecánica con escobas)

y I1E3 (Estadio verde claro con limpieza con mallas de tela tul) con promedio de 2,67 kg, seguido de varios tratamientos que se ubicaron y compartieron el primer rango y rangos inferiores; encontrando al final de la prueba, el tratamiento 6 (Estadio 2 amarillo predominante con la estrategia de limpieza con malla de tela tul) que reportaron menor firmeza de frutos con 1,4 Sáenz et al. (2013) reporta que la firmeza de la tuna varía entre los rangos 1,3 y 3,3 N, y los resultados obtenidos en esta investigación están dentro de estos rangos.

**Sólidos solubles (°Brix):** se trabajó con cinco tunas y se avaluó una tuna por tratamiento cada tres días. Se empleó el refractómetro digital, para lo cual se utilizó 30 gramos de fruta sin cáscara, se licuó y luego se tomó una gota de este jugo y se colocó en el sensor del refractómetro para obtener la lectura, este valor se expresó como porcentaje de sólidos totales. Los datos se registraron hasta el treceavo día obteniendo cinco tomas.

Según la prueba de significación de Tukey al 5% para tratamientos en contenido de sólidos solubles, en el día 7 se establecieron siete rangos de significación. La mayor ganancia de sólidos solubles se detectó en los frutos del tratamiento I3E2 (Estadio 3 Naranja rojizo con la estrategia de limpieza con una fuente de calor) con promedio de 15,23 grados Brix, al ubicarse este valor en el primer rango. Seguido de varios tratamientos que se ubicaron y compartieron rangos inferiores; encontrando al final de la prueba, el tratamiento I1E2 (Estadio 1 verde claro con la estrategia de limpieza con una fuente de calor) con 9,73 grados Brix.

En cuanto a los tratamientos la mayor concentración de sólidos solubles se detectó en los frutos del tratamiento I3E2 con promedio de 15,23 °Brix y el tratamiento I1E2 con 9,73 °Brix, resultado similar al obtenido por Bolaños et al. (2012).

**pH:** se utilizó un pH-metro digital. Se tomó 1 fruto de cada tratamiento cada tres días y se procedió a tomar una parte del fruto, luego se licuó y se introdujo el pH-metro en el jugo obtenido. Los datos se registraron hasta el treceavo día obteniendo cinco tomas.

Para Sáenz et al. (2013) en forma general el pH en Opuntia se mantiene alrededor de 6. Este pH indica la bondad de la tuna para su consumo por estar cerca al pH neutro.

En el día 13 el mayor pH se registró en los frutos cosechados en Estadio 2 (AP) amarillo predominante (I2) y Estadio 3 (NR) Naranja rojizo (I3), con promedio de 6,61 y 6,24 pH; mientras que, los frutos cosechados en Estadio 1 (VC) Verde claro (I1), reportaron menor pH (5,52). Rangos similares de pH fue

encontrado por Terán, et al (2015) con 5,985 para la variedad tuna española y por Valero et al (2020) en tuna verde con pH de 5,2. Choque (2021) encontró en su investigación que la variedad blanca presentó el mayor pH en comparación con otras variedades, a su vez refleja el menor porcentaje de acidez, este hallazgo permite identificar que el índice de cosecha naranjo rojizo presentó mayor pH y por consiguiente la acidez es menor a los índices de cosecha amarillo predominante y verde claro.

**Humedad y cenizas:** tanto humedad como cenizas se realizó dos evaluaciones, el primer día y el séptimo, este rango de tiempo fue mayor al rango utilizado en las demás variables porque los cambios son mínimos cada día. Para determinar la humedad se utilizó una muestra de 30 g y se puso en la estufa durante 24 horas a 60°C. Luego para determinar la cantidad de cenizas se quemó las muestras al aire y posteriormente en una mufla.

La mayor humedad de pulpa de la fruta reportó los frutos cosechados en Estadio 2 (AP) amarillo predominante (I2) con 81,6 % y Estadio 1 (VC) Verde claro (I1) con 81,42 %, ubicados en el primer rango; seguido de Estadio 3 (NR) Naranjo rojizo (I3) con promedio 80,05 %, ubicado en el segundo rango. Chiteva y Wairagu (2013) en su estudio encontró valores mayores de humedad de la pulpa con  $87.07 \pm 0.86$ .

Según el análisis de varianza para la variable cenizas, el factor índice de cosecha, el factor estrategia de limpieza y la interacción de factores no fueron significativos en ninguna toma del ensayo.

## Conclusiones

Se evaluó los tres índices de cosecha correspondiente al Índice (I1) Verde claro (VC), Índice (I2) amarillo predominante (AP) e Índice (I3) naranjo rojizo (NR) y las tres estrategias de limpieza de la tuna que fueron: limpieza mecánica con escobas (E1), limpieza con una fuente de calor (E2), limpieza con malla de tela tul (E3), concluyendo que el mejor índice de cosecha para alargar el tiempo de vida de la tuna en anaquel es el Verde claro, conjuntamente con la estrategia de limpieza con escobas debido a que esta interacción mantuvo las tunas en condiciones de comercialización en anaquel durante 28 días, a diferencia de las estrategias de una fuente de calor y tela tul.

En cuanto a las variables pérdida de peso de igual forma el tratamiento que mantuvo por más tiempo con menor porcentaje de pérdida de peso fue la interacción Verde claro y la estrategia de limpieza mecánica con escobas.

Las características organolépticas físico-químicas del fruto interno de la tuna no se ve afectado por la estrategia de limpieza que se utilice, más bien las características sensoriales se puede ver afectada utilizando la fuente de calor debido a que por el calor que recibe la fruta se puede presentar manchas en la cáscara de color anaranjado, sin embargo, la estrategia que permite conservar por más tiempo dichas características en la estrategia de limpieza mecánica con escobas.

En cuanto al costo directo por tratamiento se observó que la interacción Índice de cosecha\* Estrategia de limpieza mecánica con escobas presentó el menor costo por tuna con un costo de \$0,11; correspondiente a \$3,16 por tratamiento. Le sigue la interacción Índice de cosecha\* Estrategia de limpieza con fuente de calor con un costo de \$0,13 por tuna, correspondiente a \$4,00 por tratamiento. La interacción que mayor costo directo presentó fue la interacción Índice de cosecha\*Estrategia de limpieza con tela tul con un costo de \$0,14 por tuna, correspondiente a \$4,08 por tratamiento.

Para minimizar el daño de la tuna y alargar su vida en anaquel se recomienda utilizar la estrategia de limpieza de los espinos de la tuna de forma mecánica con escobas, utilizando el diseño que se presentó en esta tesis. Además, esta estrategia de limpieza tuvo menor costo directo por tuna debido a la disminución del tiempo en mano de obra.

## Referencias bibliográficas

- Albuquerque, T.G., Pereira, P., Silva, M.A., Vicente, F., Ramalho, R., & Costa, HS (2020). Chapter 44 - Prickly pear. En A. Jaiswal (ed.). *Nutritional Composition and Antioxidant Properties of Fruits and Vegetables* (págs.709-728. Academic Press. doi:10.1016/b978-0-12-812780-3.00044-1
- Allegra, A., Sortino, G., Miciletta, G., Riotto, M., Fasciana, T., y Inglese, P. (2015). The influence of harvest period and fruit ripeness at harvest on minimally processed cactus pears (*Opuntia ficus-indica* L. Mill.) stored under passive atmosphere, *Postharvest Biology and Technology*, 104: 57-62.
- Bolaños, E. et al. (2012). Caracterización fisicoquímica de siete variedades de tuna (*Opuntia spp.*) color rojo-violeta y estabilidad del pigmento de las dos variedades con mayor concentración. *Investigación y Ciencia*, 20(55): 3-10.
- Chiteva, R. y Wairagu, N. (2013). Chemical and nutritional content of *Opuntia ficus-indica* (L.). *African Journal of Biotechnology*, 12(21): 3311.
- Choque, H. (2021). Evaluación de daños y pérdidas postcosecha de 4 variedades de tuna (*Opuntia ficus-indica*) en condición de frío conservación (Doctoral dissertation, FCAPYF-UMSS). Repositorio de la Universidad Mayor de San Simón. <http://hdl.handle.net/123456789/34288>
- FAO, (2013). Food and Agriculture Organization of the United Nations, Agro-industrial use of nopal. 2p.
- Giraldo, L.G., Ferreira, B., Rosa, E., Días, A., (2023). Fruta *Opuntia ficus-indica* : una revisión sistemática de sus actividades fitoquímicas y farmacológicas. *Plants*. 12 (3), 543. <https://doi.org/10.3390/plants12030543>
- Piga, A., D'Aquino, S., Agabbio, M., Emonti, G., Farris, G.A. (2000) Influence of Storage Temperature on Shelf-life of Minimally Processed Cactus Pear Fruits, *LWT - Food Science and Technology*, Volume 33, Issue 1: 15-20.
- Sáenz, C., Berger, H., Rodríguez-Félix, A., Galletti, L., Corrales, J., Sepúlveda, E., Varnero, M., García, V., Cuevas, R., Arias, E., Mondragón, C., Higuera, I., y Rosell, C. (2013). Aprovechamiento agroindustrial del nopal.
- Salas, D. (1998). Manejo post-cosecha del higo (*Opuntia Ficus-Indica*). 2-6p.

- Sandoval, S. J.; Ramírez, V.; Hernández, B. E. (2019). Alternativas de producción del nopal en el Estado de México.
- Santos, M. S., Barba, A. P., Héliès-Toussaint, C., Guéraud, F., & Nègre-Salvayre, A. (2017). *Opuntia* spp.: Characterization and benefits in chronic diseases. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity*, 1–17. <https://doi.org/10.1155/2017/8634249>
- Terán, Y., Navas, D., Petit, D., Garrido, E. y D'Aubeterre, R. (2015). Análisis de las características físico-químicas del fruto de *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, cosechados en Lara, Venezuela. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 16(1): 69-74.
- Valero, J., González, R., Sigala-Hernández, A., Núñez, J., Ruiz-May, E., García, J., Larqué-Saavedra, A., Martínez-Ruiz, N. (2020). Atributos sensoriales, características fisicoquímicas y antioxidantes, y perfil proteico de frutos silvestres de tuna (*O. macrocentra* Engelm., *O. phaeacantha* Engelm., y *O. engelmannii* Salm-Dyck ex Engelm.) y frutos comerciales de tuna (*O. ficus-indica* (L.) Mill.). *Investigación Internacional de Alimentos*, 140. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109909>

1era Edición

# **CULTIVANDO EL FUTURO**

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio

## **5**

### **Capítulo**

Análisis de puntos críticos:  
una herramienta epidemiológica para  
predecir pérdidas de rendimiento por  
enfermedades fúngicas foliares  
de cereales

**AUTORES:** Carlos Bolaños Carriel; Gustavo Jarrín Raza; Eliana Granja



## **Análisis de puntos críticos: una herramienta epidemiológica para predecir pérdidas de rendimiento por enfermedades fúngicas foliares de cereales**

Hotspot analysis: an epidemiological tool to predict yield losses from foliar fungal diseases of cereals

### **Resumen**

Las enfermedades fúngicas foliares del trigo se asocian con pérdidas económicas significativas. Los modelos de puntos críticos, así como las tendencias en las curvas de progreso de la enfermedad son herramientas epidemiológicas para entender y predecir pérdidas de rendimiento debido a problemas asociados a fitopatógenos. Experimentos de campo se llevaron a cabo para determinar el efecto de los fungicidas Triazol y Estrobilurina aplicados en diferentes momentos sobre la severidad de la enfermedad foliar y el rendimiento en trigo. Se utilizaron dos cultivares, Overley y Overland, en condiciones de secano y de riego durante dos años consecutivos. Hubo un efecto altamente significativo ( $P < .0001$ ) de los tratamientos fungicidas sobre el área bajo la curva de progreso de la enfermedad tanto en años como en ambientes. Hubo una reducción significativa en el rendimiento en las aplicaciones programadas a los 6 y 12 días después de la antesis, independientemente de la clase química del fungicida. Los modelos de puntos críticos, así como las tendencias en las curvas de progreso de la enfermedad, variaron según los años y los ambientes. Los modelos de puntos críticos mostraron que la gravedad de la enfermedad foliar en la antesis y unos días después de la antesis predijo con mayor precisión la pérdida de rendimiento en un año epidémico en comparación con un año más seco. La evaluación de la severidad de la enfermedad foliar más adelante en la temporada de crecimiento proporcionó una relación más confiable con el rendimiento en ambos ambientes. Las aplicaciones del triazol en las etapas tempranas del desarrollo del trigo fueron más efectivas para proteger el rendimiento de las enfermedades fúngicas foliares.

**Palabras claves:** Epidemiológica, Cereales, Foliares, enfermedades.

### **Abstract**

Foliar fungal diseases of wheat are associated with significant economic losses. Critical point models, as well as trends in disease progress curves, are epidemiological tools for understanding and predicting yield losses due to plant pathogens. Field experiments were conducted to determine the effect of the fungicides Triazole and Strobilurin applied at different timings on foliar disease severity and wheat yield. Two cultivars, Overley and Overland, were

used under rainfed and irrigated conditions and planted during two consecutive planting seasons (years). There was a highly significant effect ( $P < .0001$ ) of fungicide treatments on the area under the disease progress curve AU-DPC across years and environments. There was a significant reduction in yield with applications scheduled at 6 and 12 days after anthesis, regardless of the fungicide's chemical class. Critical point models CPM and trends in disease progress curves varied across years and environments. CPM indicated that disease severity at anthesis and a few days post-anthesis more accurately predicted yield loss in an epidemic year compared to a drier year. Assessing foliar disease severity later in the growing season provided a more reliable relationship with yield in both environments. Triazole applications in the early stages of wheat development were more effective in protecting against foliar fungal diseases

**Keywords:** Epidemiological, Cereals, Foliar, Diseases.

## Introducción

El trigo (*Triticum aestivum* L.) se siembra en más hectáreas que cualquier otro cultivo en el mundo (Bishwajit et al., 2017). En 2003, la superficie total sembrada de trigo fue de 215 millones de hectáreas en los cinco continentes (Chrispeels y Sadava, 2003). El trigo es la principal fuente de proteínas y calorías para el 35% de la población mundial (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), y desempeña un papel importante en la seguridad alimentaria y la soberanía alimentaria en muchos países. Las enfermedades foliares fúngicas del trigo y los cereales se asocian con pérdidas económicas cada año. La gravedad y la incidencia de las enfermedades foliares han aumentado a lo largo de los años. Sin embargo, se sabe poco sobre la epidemiología de estas enfermedades fúngicas y su efecto conjunto en la reducción del rendimiento. La modelización de enfermedades puede proporcionar una valiosa comprensión de las relaciones entre la intensidad de las enfermedades y la pérdida de cultivos. Además, existe una necesidad imperiosa de estrategias efectivas para el manejo de las enfermedades foliares. Una pregunta fundamental en esta investigación es cómo las aplicaciones de fungicidas en la pre-antesis (arranque o espiga), antesis o post-antesis (6 o 12 días post-antesis) impactan el rendimiento y las enfermedades foliares. Este estudio se llevó a cabo para determinar el efecto de los fungicidas triazol y estrobilurina aplicados en diferentes momentos sobre la severidad de la enfermedad foliar y el rendimiento en condiciones de secano y de riego. En dos

años se realizaron ensayos de campo con dos cultivares de trigo de invierno. Los tratamientos se organizaron en diseños experimentales de parcelas divididas con cultivares como parcela principal y tratamientos fungicidas como subparcela. Los puntos críticos, así como las tendencias en las curvas de evolución de la enfermedad, fueron variables entre años y ambientes. El análisis de puntos críticos mostró que los porcentajes de severidad en la antesis y de 6 a 9 días después de la antesis predicen con precisión la pérdida de rendimiento en un año epidémico. Además, en condiciones más secas y frías (año 2), la evaluación de severidad más tarde en la temporada de crecimiento proporcionó las relaciones más confiables con el rendimiento en ambos ambientes. El conocimiento en la epidemiología de las enfermedades foliares del trigo, y modelos de predicción de pérdida de rendimiento – severidad de la enfermedad son herramientas útiles para la toma de decisiones de control bajo un ambiente cambiante.

### **Por qué es importante el estudio de Análisis de puntos críticos y de las pérdidas de cultivo**

La severidad de una enfermedad puede ser utilizada para estimar la pérdida de rendimiento a través de modelos. Estos modelos simplifican la relación entre la severidad y la pérdida de rendimiento, siendo herramientas clave para la toma de decisiones en el manejo de enfermedades en el campo. El estudio de Análisis de puntos críticos se justifica en el desarrollo de métodos de control como generar nuevas moléculas fungicidas en patosistemas donde existe una alta dependencia de un tipo de módulo fungicida y un alto riesgo de pérdida total de la cosecha. Hacer cumplir las leyes, por ejemplo, las zonas de erradicación. La evaluación de la pérdida de cosechas determinará si es más factible compensar a los productores por los campos sanos erradicados que extender el problema a áreas de cultivo más cercanas. Hacer predicciones de rendimiento para un lugar o región determinada afectada por una epidemia. Ejemplo: evaluar y calibrar un modelo de cultivo de trigo para proyectar la respuesta del rendimiento bajo diferentes severidades de la enfermedad, anticipando los impactos futuros del calentamiento global en el patosistema. Establecer prioridades de investigación, como la ayuda en la variedad y el despliegue de genes. Ejemplo: Estudiar la resistencia frente a la cepa Ug99 de *Puccinia graminis tritici* en variedades criollas para la obtención de variedades reales mediante ingeniería genética.

En comparación con la cuantificación de las interacciones a nivel epidémico, hay más información disponible sobre el efecto combinado de múltiples ataques en la pérdida de rendimiento. Los efectos de los patógenos en in-

teracción en la pérdida de rendimiento han sido modelados utilizando ecuaciones de regresión múltiple (Savary & Zakoks, 1992), análisis de varianza de diseños factoriales (Johnson et al., 1986), análisis discriminante (Franci et al., 1987), análisis de componentes principales o análisis de correspondencia (Savary et al., 2000). Las ecuaciones empíricas de pérdida de rendimiento para un complejo de enfermedades a menudo se obtienen mediante análisis de regresión múltiple con el rendimiento o la pérdida de rendimiento como variable dependiente. Los parámetros de enfermedad, utilizados directamente o después de una transformación, sirven como variables independientes. Si los parámetros de enfermedad representan la incidencia de la enfermedad o la severidad de la enfermedad en un momento de la temporada, esta ecuación refleja un modelo de “punto único” o “punto crítico” (Jesus-Junior et al., 2014). Los parámetros de enfermedad también podrían ser las áreas bajo las curvas de progreso de la enfermedad (AUDPC). Un caso especial de esta ecuación sería la conocida ecuación de regresión lineal con un término de interacción que implica la multiplicación de los parámetros de enfermedad: Para la aplicación de este modelo como un modelo de punto crítico, las severidades de enfermedad de ambas enfermedades en un cierto momento de la temporada deben ser conocidas. Estos niveles de enfermedad son resultado de la dinámica de las epidemias de las dos enfermedades que interactúan. Por lo tanto, la comprensión de las interacciones de las enfermedades con respecto a su dinámica es un requisito previo para entender su efecto combinado

### **Principales enfermedades foliares del trigo y otros cereales**

Varias enfermedades son más evidentes cuando el trigo y otros cereales han alcanzado la fase de crecimiento vegetativo. Las hojas jóvenes presentan síntomas como amarillamiento, mosaicos, manchas negras, halos amarillos alrededor de manchas marrones, manchas ovaladas, manchas bronceadas, etc. Esos síntomas permiten identificar ciertas enfermedades de manera sencilla. En otros casos son evidentes signos claros del patógeno, como royas y oídio. En etapas maduras se puede discriminar la prevalencia de enfermedades que afectan a la espiga y a los granos debido a la sintomatología, además de la presencia de signos de los patógenos.

Las enfermedades foliares del trigo causan pérdidas significativas del área fotosintética. La frecuencia y la gravedad de las epidemias de enfermedades foliares han aumentado a lo largo de los años y se asocian con el aumento de las temperaturas y el cambio climático (Caubel *et al.*, 2017, Luck *et al.*, 2011). Las enfermedades infecciosas emergentes suponen un grave riesgo para la sanidad vegetal. El monocultivo y los efectos del cambio climático

han provocado aumentos en la incidencia y gravedad de muchas enfermedades foliares, por lo que el uso de fungicidas se ha expandido ampliamente. En trigo y cebada, las enfermedades foliares principales son la roya de, la mancha bronceada, y el mildiú polvoriento.

Las royas se consideran como las enfermedades que “más roban” al rendimiento de los cereales. Las royas del trigo incluyen la roya rayada o amarilla (*P. striiformis* f.sp. *tritici*), la roya de la hoja o marrón (*P. triticina*) y el tallo o la roya negra (*P. graminis* f.sp. *tritici*). La roya amarilla, *Puccinia striiformis* f.sp. *tritici*, genera pequeñas pústulas redondas, de color amarillo-anaranjado (Wegulo et al., 2010). El hongo forma líneas de rayas longitudinales donde se forman pústulas, cuando las pústulas se descargan al medio ambiente se presentan líneas longitudinales claras en las hojas. Hoy en día, la roya amarilla se asocia con pérdidas superiores a 5 MMT por año, y el 88% de los cultivares plantados en todo el mundo son susceptibles a la enfermedad (Schierenbeck et al., 2016).

La roya de la hoja, *Puccinia triticina*, se conoce también como roya marrón, debido a la presencia de pústulas redondas o ligeramente de color marrón anaranjado (Wegulo et al., 2010). La colocación de pústulas en la superficie de la hoja sigue un patrón aleatorio. Las epidemias tempranas de roya que afectan a la hoja bandera pueden producir entre el 60 y el 70% de las pérdidas de rendimiento (Huerta-Espino et al., 2011).

La roya negra, *Puccinia graminis* f.sp. *tritici*, es menos conocida y prevalente en los campos de trigo, pero es la más peligrosa. En los Estados Unidos no se ha esparcido debido a los programas de erradicación de malezas como el Agracejo (huésped alterno), realizados a principios del siglo XX. Las pústulas son de forma ovalada, de color rojo anaranjado, y se encuentran en hojas y tallos (Wegulo et al., 2010). El grupo de razas del hongo de la roya negra del tallo conocido como “Ug99” constituye una gran amenaza para la producción de trigo en todo el mundo. La mayoría de las variedades de trigo plantadas son susceptibles a la roya del tallo Ug99 (Singh et al., 2015).

La mancha bronceada causada por *Pyrenophora tritici repentis* es una enfermedad foliar que puede causar pérdidas de hasta el 50% del cultivo (Shabber y Bockus, 1988). *Pyrenophora tritici repentis* es un hongo necrótrofo y se puede detectar fácilmente en las hojas inferiores y senescentes del trigo. Este hongo ha ido aumentando en severidad en los campos de trigo debido a las prácticas de siembra directa, produciendo graves daños especialmente al comienzo de la primavera cuando las condiciones son cálidas y húmedas (Wegulo et al., 2012).

El óídio es causado por *Blumeria graminis* (DC.) Speer f. sp. *Es* una de las enfermedades foliares más comunes que reducen el rendimiento y la calidad del grano, particularmente al comienzo de la primavera cuando las temperaturas del aire comienzan a calentarse. El óídio es la enfermedad más frecuentemente notificada en el trigo en Europa occidental y meridional y América del Sur (Caubel *et al.*, 2017).

En los campos de trigo, hoja manchada (*Cochliobolus sativus* anamorfo: *Bipolaris sorokiniana*), y Septoria (*Septoria tritici*) pueden ser importantes, y se pueden disparar si los efectos de cambio climático llevan a alteraciones de los patosistemas (Wegulo *et al.* 2011).

### **Intensidad de la enfermedad foliar y pérdida de rendimiento**

La intensidad de la enfermedad foliar se puede utilizar para estimar la pérdida de rendimiento mediante modelos. Los tres modelos utilizados en epidemiología vegetal son el modelo de puntos críticos (CPM), el modelo de puntos múltiples (MPM) y la curva de progreso del área bajo enfermedad (AUDPC) (Teng *et al.*, 1979, James, 1974). La CPM utiliza la gravedad de la enfermedad en un momento determinado para predecir la pérdida de rendimiento futura mediante un análisis de regresión lineal simple (Zadoks y Schein, 1979). La CPM proporciona la mejor opción para estimar la pérdida de rendimiento debida a las epidemias de roya (Teng *et al.*, 1979). La MPC se ha utilizado para relacionar el rendimiento y la gravedad de las enfermedades foliares (blastos, manchas marrones y escaldaduras) en el arroz en Brasil (Bordin *et al.*, 2016). Varias contribuciones científicas han abordado el problema de evaluar los modelos de predicción de la pérdida de rendimiento debido a enfermedades foliares en el trigo, por separado. En el trigo de invierno, en cuatro localidades estudiadas, la mayor relación entre la severidad de la mancha bronceada y la mancha de mancha y el rendimiento fue en la etapa de floración (Wegulo *et al.*, 2009). La predicción de la pérdida de cosechas en Irán mostró que las evaluaciones de la enfermedad de estado vegetativo 39 era buen indicador de la pérdida de rendimiento en el patosistema trigo y roya amarilla (Eslahi y Mojerlou, año 2). Un modelo para estimar el efecto de las enfermedades del trigo *Septoria tritici* blotch (STB) y *Puccinia triticina* (roya de la hoja) sobre el crecimiento y el rendimiento de las plantas predijo el efecto de estas enfermedades en el crecimiento de los cultivos con menos del 10% de diferencias entre los datos modelados y los experimentales (Robert *et al.*, 2004). A pesar de la importancia de la evaluación de la pérdida de cultivos, no existe un modelo para predecir la pérdida de rendimiento y la gravedad de las enfermedades foliares del trigo en las condiciones ambientales cambiantes.

Los estudios sobre la fisiología de los cultivos han demostrado la importancia de la hoja bandera del trigo (Chrispeels y Sadava, 2003) ya que aporta una gran proporción de fotosintatos para el llenado del grano (Borrill *et al.*, 2015, Stoy, 1963). Los fungicidas se aplican a las hojas de trigo para maximizar el rendimiento. La clase química de fungicida y los tiempos de aplicación han mostrado resultados inconsistentes en el control de enfermedades foliares en trigo (Cromey *et al.*, 2004). Los modelos que ayudan a simplificar las relaciones entre la gravedad de las enfermedades fúngicas y la pérdida de rendimiento son herramientas importantes para la toma de decisiones en campo y para optimizar los tiempos de aplicación de fungicidas.

### **Materiales y métodos del estudio de campo**

Los experimentos de campo se llevaron a cabo en condiciones de secano e irrigado durante dos años. Los cultivares de trigo de invierno, Overland y Overlay se sembraron en parcelas experimentales fue: 1,22 m por 6,10 m. La tasa de siembra fue de 60 kg/ha. Overland se caracteriza como moderadamente resistente (MR) a moderadamente susceptible (MS) a la roya de la hoja, y MR a la roya del tallo y amarilla. Overlay se caracteriza por ser altamente susceptible a la roya amarilla, reacción de MS a mildiú polvoriento, MR a la mancha bronceada y altamente susceptible al tizón de la espiga por *Fusarium* y alta resistencia (R) a la roya de la hoja.

El sistema de riego consistía en un entramado rectangular fijo-superficial. Los aspersores (Impact Sprinklers de círculo completo de 1,9 cm modelo 30H, Rain Bird, Azusa, CA) se espaciaron 6,7 m x 4,6 m entre sí. Los ciclos de riego se programaron utilizando un controlador de riego comercial ICC (Hunter Industries, San Marcos, CA). Las parcelas se regaron con un ciclo de funcionamiento de 5 minutos encendido y 15 minutos apagado de 10 a.m. a 8 p.m. los siete días de la semana.

Los datos meteorológicos se recopilaron utilizando estaciones meteorológicas portátiles Watchdog® (Spectrum Technologies, Thayer Court, IL, EE. UU.). Estaciones fueron colocados en secano y regadío cerca de las fronteras. Los datos meteorológicos (temperatura, humedad relativa, humedad de las hojas y precipitaciones) se registraron diariamente a intervalos de una hora. En las parcelas de regadío, los valores de precipitación representan la suma de la precipitación y el agua recogida por el cubo de lluvia cuando se puso en marcha el sistema de riego. Humedad de las hojas "leaf wetness" (una representación de la cantidad de agua disponible libremente en la superficie de las hojas) (Rowlandson, y otros, 2015) se midió utilizando sensores de humedad

de hojas chapadas en oro (tecnologías Spectrum) en una escala de 1 (seco) a 15 (húmedo).

Se aplicaron ocho tratamientos fungicidas para generar diferentes niveles de intensidad de enfermedades foliares. Los tratamientos fungicidas consistieron en dos productos químicos (pertenecientes al triazol y a la estrobilurina) aplicados en diferentes etapas del desarrollo del trigo. El triazol-DMI se pulverizó en estado vegetativo 39 o estadio de hoja bandera, (estado vegetativo 45), estadio de arranque, antesis cuando se extruyó el 30-40% de las anteras de la espiga de trigo, 6 días y 12 días después de la antesis a una concentración de 0.47 L/ha. La estrobilurina-QoI se pulverizó a antesis, 6 DPA y 12 DPA a una concentración de 0.66 L/ha. También se incluyeron parcelas de control sin fungicida.

Los fungicidas se aplicaron utilizando un pulverizador de mochila alimentado por CO<sub>2</sub>, equipado con cuatro boquillas Tee-jet 800-1 VS (TeeJet Technologies, Dillsburg, PA), espaciadas a 30,5 cm de distancia y ajustadas a 241 kPa, con una tasa de volumen de 150 L/ha. Se añadió un adyuvante de pulverización no iónico NIS 90-10 (Precision laboratories, Waukegan, IL, EE.UU.) a una tasa de 0.125% vol/vol para mejorar el rendimiento de los fungicidas.

A intervalos semanales, la severidad de la enfermedad foliar se estimó visualmente como el porcentaje de follaje necrótico en cada parcela. La primera evaluación se realizó aproximadamente a estado vegetativo 37 (cuando la lígula de la hoja bandera era visible), y la evaluación final se realizó aproximadamente a finales del desarrollo del grano (estado vegetativo 77 cuando los granos comenzaron a llenarse con los productos fotosintéticos de la hoja bandera) (Jackson, 2006).

Se utilizó la severidad foliar de la enfermedad para calcular el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC) de acuerdo con el método de integración trapezoidal (Campbell y Madden 1990). Las parcelas se cosecharon cuando el contenido de humedad del grano bajó al 15% utilizando una pequeña cosechadora de parcelas (Wintersteiger, Dimmelstrasse, Austria) y se estimó el rendimiento (kg/ha).

El análisis de los datos se realizó con el software SAS versión 9.4. Las tasas de enfermedad y el AUDPC se analizaron mediante modelos mixtos lineales generalizados PROC GLIMMIX (SAS Inc, Cary, NC, USA). Las repeticiones y la interacción Repetición por Cultivar (Error A) se especificaron como efectos aleatorios. Las medias mínimas cuadráticas (medias LS) se compararon mediante el método Fisher-LSD (alfa=0,05).

Los resultados del análisis de varianza tipo I se obtuvieron utilizando los tiempos de aplicación del fungicida triazol como factor cuantitativo. Se utilizó una suma secuencial de cuadrados para determinar las relaciones lineales, cuadráticas, cúbicas y cuárticas entre los tiempos de aplicación del triazol y el rendimiento, tiempo de aplicación y el AUDPC. El modelo propuesto fue:

$$y = \beta_0 + \beta_1x + \beta_2x^2 + \beta_3x^3 + \beta_4x^4 \quad (1)$$

donde:  $y$  es la respuesta (rendimiento);  $x$  es el factor cuantitativo (tiempos de aplicación de Triazol<sup>TM</sup>);  $\beta_0$  es la intersección;  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$ ,  $\beta_4$  son los coeficientes lineales, cuadráticos, cúbicos y cuárticos que relacionan el tiempo con la respuesta (rendimiento/AUDPC), respectivamente.

Se utilizó el análisis de regresión para relacionar la severidad de la enfermedad foliar y el rendimiento. Los modelos de puntos críticos de la severidad de la enfermedad foliar se obtuvieron utilizando PROC REG. En el análisis de regresión se utilizaron las medias de LS- del tratamiento. Se utilizaron los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y la prueba  $t$  y su valor  $P$  asociado para la pendiente para determinar la etapa de crecimiento en la que la severidad de la enfermedad estaba más fuertemente relacionada con el rendimiento.

Los coeficientes de correlación entre el AUDPC y los valores de rendimiento se determinaron mediante PROC. Se seleccionaron las medias de LSS por cultivar y se compararon con pares por temporada de crecimiento en cada variable (AUDPC y rendimiento) y entre AUDPC y rendimiento para cada temporada de crecimiento. Los datos se separaron por cultivar (Overley y Overland) y condiciones ambientales (secano y regadío).

El análisis económico se estimó para parcelas de secano. El costo del fungicida foliar fue de 38.3 USD/ha para Triazol y 37.2 USD/ha para Estrobilurina, y el precio del trigo fue de 221.1 USD/Mg en año 1 y de 187.4 USD/Mg en año 2. El rendimiento neto de la aplicación de fungicidas se calculó con la fórmula:

$$NR = Y_i \times (F_p - I_c) \quad (2)$$

donde  $NR$  es el rendimiento neto de la aplicación de fungicidas;  $Y_i$  es el aumento del rendimiento debido al tratamiento fungicida,  $F_p$  es el precio promedio del trigo para el año  $e$   $I_c$  es el costo del fungicida foliar (USD / ha).

## Resultados

### Severidad de Enfermedades Foliareas.

Los valores totales de agua interceptada en las parcelas de regadío fueron 3 veces más altos frente a las de secano en ambos años, Además, en junio, los valores de humedad foliar fueron 1,3 veces y 1,9 veces mayores en las parcelas de regadío frente a las de secano en año 1 y año 2, respectivamente. En general, el AUDPC fue mayor en año 1 que en año 2 (Tablas 1 y 2). Además, en ambos años Overley maduró más rápidamente que Overland. Hubo mayor variación en la severidad de la enfermedad foliar en el primer año que en el segundo año.

### Condiciones de secano

En el año 1, Overley mostró un AUDPC más alto que Overland. Además, Overland rindió más que Overley (Tabla 1). En general, en condiciones de secano, hubo un efecto altamente significativo ( $P < .0001$ ) de los tratamientos fungicidas sobre la severidad de la enfermedad foliar, el AUDPC y el rendimiento, excepto para la severidad de la enfermedad foliar 1 y 2 en el año 2 que no fueron significativas. En el año 1 para Overley, las parcelas tratadas con triazol en la antesis mostraron una menor gravedad de la enfermedad foliar en la quinta evaluación en comparación con las parcelas tratadas con triazol en estado vegetativo 45 (Tabla 1). El AUDPC fue estadísticamente mayor en las parcelas tratadas con triazol en el momento de la antesis en comparación con las parcelas tratadas con triazol en el estado vegetativo 45 (Tabla 1). En Overley, los valores de AUDPC no fueron significativamente diferentes entre las parcelas tratadas con triazol y estrobilurina en la antesis (Fisher-LSD,  $\alpha = 0,05$ ). Además, las parcelas tratadas con triazol y estrobilurina fumigadas con 12 DPA no fueron significativamente diferentes entre sí o de las parcelas de control no tratadas (Tabla 1).

El AUDPC más bajo se registró en las parcelas tratadas con triazol fumigadas en estado vegetativo 45. En las parcelas tratadas con fungicida, las mayores reducciones en el rendimiento se dieron en las parcelas tratadas con triazol en antesis (1484 kg/ha) en comparación con las parcelas tratadas con triazol a 12 DPA (1114 kg/ha; 25% de reducción del rendimiento) y las parcelas tratadas con estrobilurinas a 12 DPA (933 kg/ha; 37% de reducción del rendimiento) (Tabla 1). En Overley, las parcelas testigo sin pulverizar mostraron el rendimiento más bajo (677 kg/ha) de todo el experimento (Tabla 1).

En el año 1 para Overland, las parcelas tratadas con triazol en estado vegetativo 39 y en estado vegetativo 45 mostraron una acumulación signifi-

cativamente menor de severidad de la enfermedad foliar (Tabla 2) en comparación con el resto de los tratamientos. El rendimiento mostró tendencias similares a las del AUDPC en Overland; sin embargo, las parcelas tratadas con triazol a estado vegetativo 39 (3314 kg/ha) y E.V. 45 (3441 kg/ha) y las parcelas tratadas con Estrobilurina a antesis (3088 kg/ha) mostraron rendimientos significativamente mayores en comparación con el resto de los tratamientos (Tabla 1).

En año 1 para Overley, el AUDPC en las parcelas de control sin rociar fue significativamente diferente en comparación con las parcelas tratadas con fungicida (Tabla 1). Las parcelas de control sin pulverizar alcanzaron el nivel más alto de AUDPC; inversamente, las parcelas tratadas con triazol fumigadas en estado vegetativo 45 alcanzaron el valor más bajo de AUDPC (Tabla 1). En el año 2 para Overland, la fumigación de triazol y estrobilurina a 6 y 12 DPA no proporcionó un control adecuado de las enfermedades foliares. A pesar de que las parcelas tratadas con los fungicidas aplicados en la antesis mostraron un mejor control, estos tratamientos no fueron tan buenos como las aplicaciones anteriores de en estados vegetativos tempranos (E.V. 39 y 45). Las parcelas tratadas con triazol fumigadas en E.V. 39 y E.V. 45 rindieron 4665 kg/ha y 4702 kg/ha, respectivamente. Ambos tratamientos alcanzaron el 100% de severidad foliar de la enfermedad al final del experimento.

**Tabla 26.**

*Daño foliar asociado a enfermedades foliares, en cultivares de trigo Overland y Overley bajo condiciones de secano evaluadas en dos años.*

Año	Tratamiento	Gravedad de la enfermedad foliar %										AUDPC		RENDIMIENTO (kg/ha)	
		Eval. 1		Eval. 2		Eval. 3		Eval. 4		Eval. 5		1	2	1	2
		1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2		
	Control	29.7 ab	5.1 a-d	58.9 a	11.0 d-g	65.3 ab	37.5 a-c	88.8 a	54.7 a	100 A	99.8 a	2086 a	1362 ab	677 i	2730 e-g
	Triazol E.V. 39	N/A	4.4 b-d	N/A	5.8 g	N/A	18.2 f	N/A	20.8 g	N/A	65.0 b-d	N/A	700 f	N/A	3275 e-e
	Triazol E.V. 45	8.8 f	4.1 cd	13.5 fg	8.3 e-g	18.7 h	17.7 f	19.5 k	23.4 fg	36.2 h	52.0 EF	563 h	683 f	1233 gh	3861 a-c
	Antesis (Ant.)	16.7 e	4.4 b-d	30.4 c-e	8.4 e-g	31.7 g	22.5 ef	36.3 ij	24.8 fg	30.8 h	64.3 b-f	909 g	794 ef	1484 e-g	3542 b-d
Overley	6 días post Ant.	26.9 a-c	4.4 b-d	46.8 ab	10.8 d-g	65.9 ab	25.4 d-f	62.2 ef	29.6 e-g	56.2 EF	57.8 EF	1599 c	853 ef	1284 fh	3160 d-f
	12 días post Ant.	28.3 b	4.4 b-d	58.1 bc	12.1 c-f	73.8 q	29.6 b-e	85.6 ab	43.8 b-d	100 A	74.8 a.c.	2106 a	1097 cd	1114 g-i	2575 fg
	Estrobilurina Ant.	20.3 de	6.2 a-d	25.2 ef	12.9 c-f	36.0 fg	22.8 ef	30.6 j	25.9 fg	45.7 g	60.2 C-E	936 g	839 ef	1468 e-g	4062 ab
	Estrobilurina 6 DPA	22.8 cd	2.8 d	32.4 c-e	7.5 fg	57.2 a-c	29.6 b-e	65.6 de	38.3 c-e	57.3 e	74.8 a.c.	1439 de	976 c-e	1428 e-h	2756 e-g
	Estrobilurina 12 DPA	27.0 a-c.	3.6 cd	57.9 a	11.0 e-g	69.5 a	35.0 a-c	84.5 ab	40.8 b-e	100 A	76.9 b	2065 a	1112 C	933 hi	2208 g

	Control	29.9 ab	6.3 a-d	41.3 b-d	19.5 a-c	56.9 b-d	46.8 a	78.2 a-c	56.2 bc	99.8 a	100 A	1817 b	1543 a	1942 C-E	3113 d-f
	Triazol E.V. 39	9.8 f	7.2 a-d	11.2 g	15.3 a-d	19.2 h	21.1 ef	16.2 k	22.4 g	30.7 h	49.4 f	506 h	774 EF	3314 A	4665 a
	Triazol E.V. 45	10.4 f	9.1 bc	12.2 g	14.7 a-c	14.2 h	27.2 c-f	15.2 k	24.6 fg	20.8 i	58.8 d-f	430 h	889 d-f	3441 A	4702 a
	Antesis (Ant.)	26,6 a-c	8.1 a-c	23.3 e-g	16.5 a-d	42.9 fe	36,8 a-c	55.8 gh	33.1 d-f	47.1 g	75.2 a-c	1175 f	1130 C	2531 b	3958 a-c
Overland	6 días post Ant.	27.6 a-c	9.1 bc	29.7 de	15.2 a-c	53.2 cd	36,8 a-c	43.1 ih	51.9 ab	66.0 d	99.5 a	1292 ef	1392 A	2159 b-d	3590 b-d
	12 días post Ant.	29.9 ab	8.7 ab	33.1 c-e	20.5 ab	52.1 c-e	38.8 ab	66.2 de	50.8 ab	91.0 b	99.3 bc	1596 cd	1448 a	2340 a-c	3077 d-f
	Estrobilurina Ant.	20.3 de	5.7 a-d	30.9 c-e	19.4 a-c	43.9 d-f	34.4 b-d	48.9 gh	41.2 b-c	50.0 fg	68.7 b-d	1182 f	1164 bs	3088 A	3745 b-d
	Estrobilurina 6 DPA	33.8 a	7.8 a-c	32.8 c-e	21.2 bc	67.2 bc	39.3 ab	72.2 cd	49.7 a-c	75.1 c	99.5 a	1678 a-c	1445 a	1874 c-f	3077 d-f
	Estrobilurina 12 DPA	30.2 ab	8.2 a-c	43.1 a	14.2 b-f	55.0 c	36,1 a-c	74.7 cd	51.9 ab	93.9 ab	100 a	1768 b	1374 A	1694 d-g	3313 c-e
<b>Valor P</b>															
	Cultivares (C)	0.0006	0.0653	0.0144	0.0027	0.0199	0.0820	0.2299	0.0516	0.0905	<.0001	0.0427	0.0127	0.0046	0.0333
	Fungicida (F)	<.0001	0.9592	<.0001	0.1499	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
	C x F	0.0232	0.3030	0.0040	0.5280	<.0001	0.1741	<.0001	0.0976	<.0001	<.0001	<.0001	0.0250	0.0008	0.0479

## Condiciones irrigadas

En condiciones de riego, los efectos de los tratamientos fungicidas sobre el AUDPC y el rendimiento fueron altamente significativos en ambos años. Además, hubo un efecto significativo del cultivar sobre el AUDPC en año 2 ( $P = 0.0241$ ) (Tabla 27). En el año 1, condeciente para epidemias de enfermedades foliares, para Overley, las parcelas tratadas con triazol fumigadas a E.V 45 mostraron el nivel más bajo de severidad de la enfermedad foliar, que fue aproximadamente cuatro veces menor que las parcelas testigo no tratadas en el mismo experimento (AUDPC = 1837 en las parcelas testigo no tratadas frente a 397 en las parcelas tratadas con triazol en E.V. 45) (Tabla 2). En Overland, los niveles más bajos de AUDPC se detectaron en las parcelas tratadas con triazol en E.V. 39 y E.V. 45 (Tabla 26). En el año 2 para ambos cultivares, las parcelas testigo sin tratar mostraron los niveles más altos de AUDPC (Tabla 27) en comparación con las parcelas de secano y las parcelas de regadío en el año 1 (Tablas 26 y 27). En Overland, el AUDPC en las parcelas de control no tratadas no fue estadísticamente diferente que las parcelas tratadas con triazol aplicado a 6 y 12 DPA, así como las parcelas tratadas con estrobilurina rociadas a 6 y 12 DPA (Fisher-LSD;  $\alpha = 0.05$ ) (Tabla 27). Esto demuestra que el uso de fungicidas tarde en el periodo de desarrollo vegetativo no protege contra las enfermedades foliares. En Overland, el rendimiento en las parcelas testigo no tratadas no fue estadísticamente diferente que todos los tratamientos fungicidas, excepto en las parcelas tratadas con triazol en la antesis. Las parcelas tratadas con triazol en antesis alcanzaron el mayor rendimiento con 3498 kg/ha (Tabla 27).

**Tabla 27.**

*Daño foliar asociado a enfermedades foliares, en cultivares de trigo Overland y Overlay bajo condiciones irrigadas evaluadas en dos años.*

Tratamiento Año	Gravedad de la enfermedad foliar (%)										AUDPC		RENDIMIENTO (kg/ha)		
	Eval. 1		Eval. 2		Eval. 3		Eval. 4		Eval. 5						
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
Control	16.0 c-f	4.1 ab	53.0 a-c	20.5 a-c	59.8 ab	45.6 a-d	72.9 a	76.9 a	100 a	100 a	1837 a	1585 ab	1122 de	1865 c	
Triazol E.V. 39	N/A	3.6 b	N/A	7.2 g	N/A	15.2 h	N/A	23.5 ef	N/A	54.8 de	N/A	620 f	N/A	3382 ab	
Triazol E.V. 45	6.8 g	6.2 A	11.0 j	14.8 e	10.3 f	22.8 gh	11.3 g	30.6 d-f	30.2 f	59.7 c-e	397 h	863 d-f	1802 a-c	3098 cd	
Antesis (Ant.)	16.9 d-f	4.4 ab	26.0 hi	19.8 a-c	31.5 e	22.8 gh	22.6 f	50.2 a-c	31.7 f	72.8 a-c	782 fg	946 de	1656 c-e	3492 a	
Over- ley	6 días post Ant.	24.6 a-c	4.2 ab	44.5 cd	20.5 a-c	43.2 c-e	24.2 gh	40.7 e	67.9 a	61.3 de	73.4 b	1296 e	1023 d	1272 c-e	2605 a-c
	12 días post Ant.	22.4 b-c	4.9 ab	64.2 bc	19.6 b-c	68.7 bc	38.2 b-f	70.1 ab	72.0 a	100 a	96.4 bc	1991 a	1325 c	988 e	2928 cd
Estrobilurina Ant.	19.7 c-e	4.1 ab	29.8 d-g	14.3 ef	33.5 de	23.9 gh	23.3 f	44.2 cd	49.3 e	67.2 b-d	920 f	919 de	1525 c-e	3044 a-d	
Estrobilurina 6 DPA	20.6 b-c	4.1 ab	35.8 ef	18.8 c-f	57.1 a-c	33.7 e-g	63.6 a-c	72.0 a	75.5 b-d	96.8 a	1525 a-c	1230 c	1324 c-e	2798 a-e	
Estrobilurina 12 DPA	24.8 a-c	4.8 ab	54.6 b	17.4 d-f	68.3 bc	37.0 c-f	63.2 a-c	71.0 a	100 a	100 a	1873 a	1309 c	1147 de	2376 b-e	
Control	24.8 a-c	4.2 ab	34.7 c-g	23.8 a-d	60.2 ab	42.4 a-c	62.5 a-c	62.6 ab	97.8 a	100 a	1646 b	1712 a	1819 a-c	2332 c-e	
Triazol E.V. 39	23.0 b-d	4.7 ab	9.3 j	14.5 ef	12.0 f	18.3 h	22.7 f	18.4 f	55.2 e	52.4 e	652 g	752 ef	1895 a-c	3498 a	
Triazol E.V. 45	11.8 fg	4.2 ab	11.2 j	12.4 fg	10.8 f	29.8 fg	14.4 fg	27.0 ef	29.9 f	48.4 e	442 h	870 d-f	2545 ab	3234 a-c	
Antesis (Ant.)	22.3 b-c	5.0 ab	22.9 i	25.2 a-c	55.0 a-c	41.4 a-c	70.1 ab	25.2 ef	72.1 cd	89.9 a	1445 c-c	1448 a-d	2914 a	2817 a-e	
Over- land	6 días post Ant.	31.9 bc	4.4 ab	32.4 e-h	22.4 d	47.2 b-d	47.4 a-c	48.9 de	31.9 de	78.3 a-c	92.9 a	1389 de	1643 a	2050 a-c	2662 a-c
	12 días post Ant.	21.5 b-c	5.2 ab	27.3 f-i	21.7 d	56.2 a-c	51.1 bc	62.1 a-c	41.9 cd	85.5 ab	100 a	1490 a-c	1728 a	1481 c-e	2166 a-d
Estrobilurina Ant.	21.7 b-c	4.6 ab	36.6 de	25.8 ab	55.6 a-c	33.9 d-g	56.0 cd	30.1	58.2 e	89.1 bc	1395 de	1332 a-d	2079 a-c	2945 cd	
Estrobilurina 6 DPA	19.9 c-e	4.1 ab	22.8 i	22.0 a-d	46.3 b-d	49.0 a-c	63.9 a-c	36.5 c-e	61.1 de	99.2 bc	1285 e	1667 a	1864 a-d	2823 a-e	
Estrobilurina 12 DPA	26.9 ab	5.4 ab	26.2 fg	26.5 a	54.4 a-c	50.2 ab	67.8 ab	41.6 cd	94.7 a	100 a	1572 a-c	1759 a	1491 C-E	2079 de	

P – valor

Cultivares (C)	0.0031	0.7390	<.0001	0.0234	0.6195	0.0436	<.0001	0.0110	0.4558	0.0144	0.8595	0.0241	0.1040	0.5445
Fungicidas (F)	<.0001	0.6350	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	0.0057
F x C	0.3373	0.6741	<.0001	0.1283	0.0012	0.0615	<.0001	0.0017	<.0001	0.0105	<.0001	0.0002	0.5861	0.7547

## Curvas de progreso de la enfermedad

En general, la progresión de la enfermedad mostró patrones diferentes en la temporada de crecimiento entre los dos años de evaluación. En condiciones de secano, el progreso de la enfermedad en el año 1 mostró una mayor variación en la severidad de la enfermedad foliar de la primera a la quinta evaluación en comparación con el progreso de la enfermedad en el año 2. Del mismo

modo, en condiciones de riego la progresión de la enfermedad aumentó más rápidamente en el año 1 en comparación con la progresión de la enfermedad en el año 2. Entre todos los tratamientos evaluados en este estudio, las parcelas tratadas con triazol aplicado en E.V. 39 mostraron consistentemente la menor severidad de la enfermedad foliar en todas las combinaciones de año por ambiente para ambos cultivos. Sin embargo, hubo una excepción para la temporada de crecimiento de alta epidemia en el cultivar Overley, donde el triazol no se fumigó en las parcelas en E.V. 39 debido a la lluvia.

En el año 1, tanto en secano como en condiciones de regadío para Overley, las curvas de progreso de la enfermedad mostraron resultados inconsistentes de la severidad de la enfermedad foliar. Un efecto significativo o altamente significativo de la interacción cultivar por fungicida estuvo presente en muchas evaluaciones de la severidad de la enfermedad foliar (Tablas 26 y 27). En Overland, las curvas de progreso mostraron que las aplicaciones de triazol en E.V. 39 y E.V. 45 controlaron eficazmente las enfermedades foliares. La severidad de la enfermedad foliar se redujo en un 56% y 48% en la progresión de la enfermedad foliar en las parcelas tratadas con triazol en E.V. 45 en comparación con las parcelas de control no tratadas en condiciones de secano y regadío, respectivamente. En condiciones de riego, en Overley, las parcelas tratadas con triazol en E.V. 45 mostraron una progresión lenta en comparación con el testigo no tratado. En Overland, las parcelas tratadas con Triazol en E.V. 39 y E.V. 45 fueron efectivas en el control de la severidad de la enfermedad foliar.

En la temporada de crecimiento seca (año 2) en condiciones de secano y riego, ambos cultivos mostraron bajos niveles de severidad de la enfermedad hasta el día 150. Desde el día 150 hasta el final de la evaluación, los niveles de enfermedad aumentaron rápidamente hasta el día 164. Bajo condiciones de riego para Overley, las parcelas de control no tratadas mostraron niveles más altos de severidad de la enfermedad foliar en comparación con los otros tratamientos al final del período de evaluación. Esta tendencia fue evidente a partir del día 147. En Overland, la última evaluación (día del año 164) mostró niveles más altos de enfermedad para todos los tratamientos a partir de la cuarta evaluación. La severidad de la enfermedad foliar aumentó, dejando solo dos con valores bajos de severidad de la enfermedad foliar. Las parcelas terrestres fueron similares en su nivel de enfermedad con una diferenciación prominente a partir del día 155.

## Correlaciones entre el AUDPC y el rendimiento

Los análisis de correlación utilizando las medias ajustadas (LS-means) de los tratamientos fungicidas por año y por cultivar entre el AUDPC y el rendimiento, revelaron altas correlaciones entre el rendimiento y la severidad de la enfermedad foliar. Los coeficientes de correlación para el AUDPC fueron  $R = -0,98$  ( $n = 8$ ;  $P < 0,0001$ ) en el año conductivo para epidemias (año 2), y  $R = -0,84$  ( $n = 9$ ;  $P = 0,0089$ ) en el año más seco (año 2). En Overley bajo condiciones de riego, las enfermedades foliares se correlacionaron alta y positivamente en ambos años ( $R = 0,89$ ;  $n = 8$ ;  $P = 0,0028$ ), así como el rendimiento de ambos años ( $R = 0,67$ ;  $n = 8$ ;  $P = 0,0697$ ). En Overland bajo condiciones de riego, el coeficiente de correlación de Pearson para AUDPC fue  $R = 0,92$  ( $n = 8$ ;  $P = 0,0005$ ) entre años. En el año 1, el AUDPC y el rendimiento estuvieron pobremente correlacionados ( $R = -0,35$ ;  $n = 8$ ;  $P = 0,3552$ ). Sin embargo, en el año 2 las enfermedades foliares y el rendimiento se correlacionaron alta y negativamente:  $R = -0,91$  ( $n = 9$ ;  $P = 0,0009$ ). En condiciones de secano, los coeficientes de correlación de Pearson fueron altos y positivos para el AUDPC,  $R = 0,95$  ( $n = 8$ ;  $P < 0,0001$ ) entre años, y para el rendimiento,  $R = 0,87$  ( $n = 8$ ;  $P = 0,0019$ ), entre años. Para las relaciones AUDPC versus rendimiento, los coeficientes de correlación fueron  $R = -0,93$  ( $n = 8$ ;  $P = 0,0003$ ) y  $R = -0,97$  ( $n = 9$ ;  $P < 0,0001$ ) en el año 1 y 2, respectivamente.

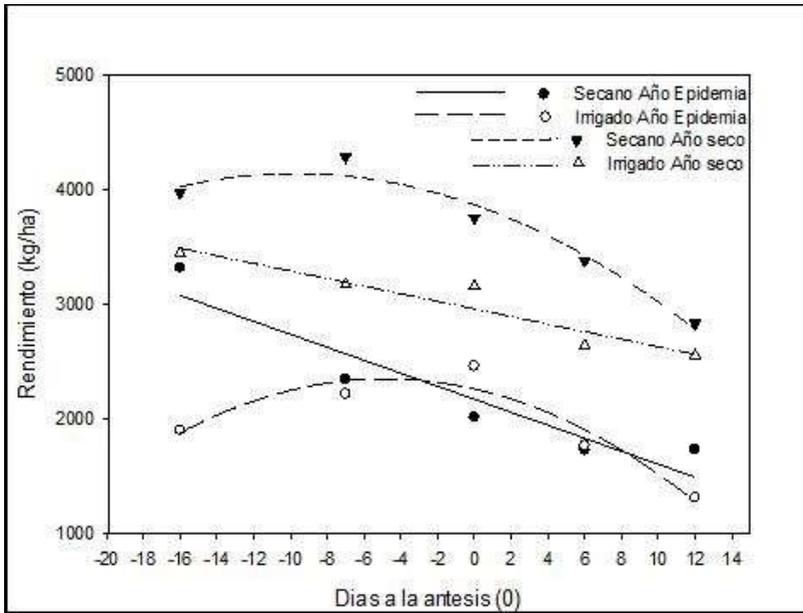
## Modelo de puntos críticos

El análisis de los modelos de puntos críticos se realizó mediante regresión lineal con la severidad de la enfermedad foliar como variable independiente y el rendimiento como variable dependiente. Considerando los coeficientes de determinación ( $R^2$ ) y los valores de  $P$  para la regresión, las mejores relaciones de rendimiento versus severidad de enfermedades foliares se alcanzaron en la segunda y tercera evaluación en el año 1 bajo condiciones de secano y riego, respectivamente. Las plantas estaban cerca de la etapa de crecimiento de la floración (E.V. 60) y pocos días después de la floración (E.V. 60-65) en el momento de la segunda y tercera evaluación. Por su parte, las mejores relaciones entre el rendimiento y la severidad de las enfermedades foliares se alcanzaron en la cuarta evaluación en el año 2 en condiciones de secano y riego (Tabla 28). El AUDPC y el rendimiento se relacionaron significativamente linealmente en parcelas de regadío en el año 2 ( $R^2 = 0,6480$ ,  $P < 0,0001$ ) y en el año 2 ( $R^2 = 0,6544$ ,  $P < 0,0001$ ). En contraste, la relación más baja entre el AUDPC y el rendimiento fue en el ambiente de secano en el año 2 ( $R^2 = 0,1117$ ,  $P = 0,1752$ ) (Tabla 28). Los modelos de regresión polinómica se ajustaron utilizando el método de mínimos cuadrados para describir las rela-

ciones rendimiento-tiempos de aplicación de Triazol y tiempos de aplicación de AUDPC-Triazol (Tabla 28). Los polinomios de primer orden (lineales) y de segundo orden (cuadráticos) se detectaron como significativos ( $P < 0.05$ ) para ambas relaciones (tiempos-AUDPC) y (tiempos-Rendimiento). En dos de las combinaciones del ambiente por temporada de crecimiento, la relación lineal ofreció el mejor ajuste para los tiempos de aplicación de Triazol versus el rendimiento para el regadío año 2 y el secano año 1 (Figura 20 y Tabla 28). Por otro lado, para el secano año 2 y el regadío año 1 la relación cuadrática ofreció el mejor ajuste a los datos. Por lo tanto, el rendimiento alcanzó un punto de inflexión unos días antes de la antesis y disminuyó a los 6 y 12 DPA (Figura 20 y Tabla 28). Para AUDPC, el ANOVA (tipo I) mostró que el efecto lineal ofrecía el mejor ajuste entre los tiempos de aplicación de Triazol y el AUDPC (Figura 21 y Tabla 28).

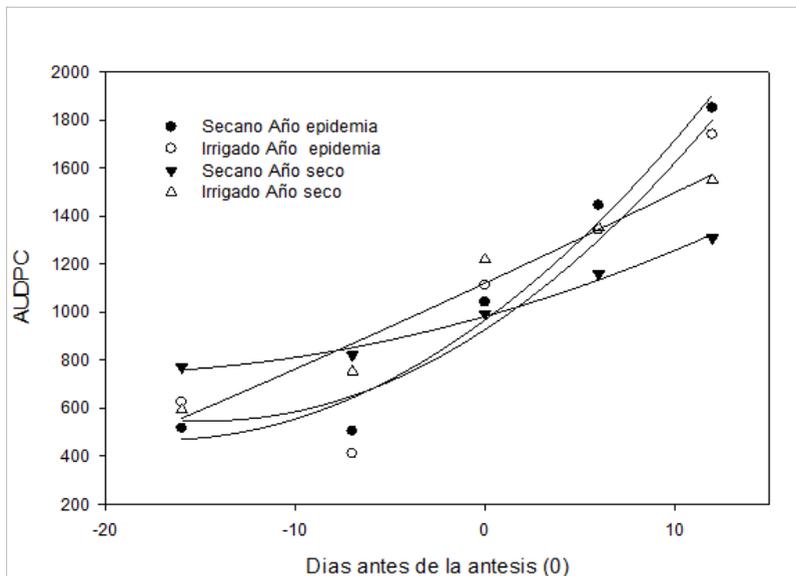
**Figura 20.**

*Efecto lineal y cuadrático de los tiempos de aplicación de triazol sobre el rendimiento. El Triazol fue aplicado a Estados Vegetativos 39 (-16 días a la antesis), E.V. 45 (-7 días a la antesis), E.V. 60 (antesis = 0), 6 y 12 días después de la antesis.*



**Figura 21.**

Efecto lineal y cuadrático de los tiempos de aplicación de triazol sobre el AU-DPC. El Triazol fue aplicado a Estados Vegetativos 39 (-16 días a la antesis), E.V. 45 (-7 días a la antesis), E.V. 60 (antesis = 0), 6 y 12 días después de la antesis.



**Tabla 28.**

Coeficiente de determinación ( $R^2$ ), intercepto y pendientes de las regresiones de rendimiento (kg/ha) frente a la evaluación de la severidad de la enfermedad en diferentes etapas de crecimiento, y en la curva de progreso del área bajo la enfermedad (AU)

	Intercepto		Pendiente		$R^2$		$P > F$	
	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío	Secano	Regadío
Año 1								
Eval. 1	2864	1913	-41.82	-9.97	0.1578	0.0128	0.1143	0.6650
Eval. 2	3166	2418	-37.55	-22.36	0.4807	0.4648	0.0020	0.0026
Eval. 3	3126	2193	-25.69	-10.80	0.3410	0.1667	0.0138	0.1037
Eval. 4	2921	2001	-18.71	-6.02	0.3179	0.0665	0.0184	0.3176
Eval. 5	2863	2362	-15.14	-9.47	0.2657	0.2171	0.0342	0.0594





Triazol E.V. 39	3.314	4.665	1.372	1.552	38.3	38.3	221	187	250.6644	230.7824		
3.441	4.702	1.499	1.589	38.3	38.3	221	187	273.8673	236.2843			
2.531	3.958	0.589	0.845	38.3	38.3	221	187	107.6103	125.6515			
Triazol E.V. 45 Antesis (Ant.) 6 días post Ant. 12 días post Ant.	2.159	3.59	0.217	0.477	38.3	38.3	221	187	39.6459	70.9299		
Estrobilurina Ant. Estrobilurina 6 DPA Estrobilurina 12 DPA	2.34	3.077	0.398	-0.036	38.3	38.3	221	187	72.7146	-5.3532		
3.088	3.745	1.146	0.632	37.2	37.2	221	187	210.6348	94.6736			
1.874	3.077	-0.068	-0.036	37.2	37.2	221	187	-12.4984	-5.3928			
1.694	3.313	-0.248	0.2	37.2	37.2	221	187	-45.5824	29.96			

Las enfermedades fúngicas foliares en los dos años causaron daños en el dosel del cultivo y redujeron el rendimiento. En general, la gravedad de la enfermedad foliar fue mayor en el año de condiciones para epidemia (año 1) que en el año 2 de condiciones secas. Modelos basados en análisis de regresión, como los modelos de puntos críticos (Zadoks y Schein, 1979) y la integración trapezoidal (Madden et al 2007) se utilizaron para determinar las relaciones rendimiento y severidad de la enfermedad foliar por años y ambientes. Los fungicidas fueron eficaces en el control de las enfermedades foliares y proporcionaron gradientes de la gravedad de las enfermedades foliares para el modelado de enfermedades. A medida que se demostró en este estudio, las aplicaciones tempranas (E.V. 39 – E.V. 45) fueron efectivas en el control de las enfermedades foliares y en la protección del rendimiento mejor que las aplicaciones antesis y post-antesis en el patosistema del trigo de invierno.

Se utilizaron modelos de puntos críticos y AUDPC para interpretar la pérdida de rendimiento en parcelas de campo de trigo con niveles diferenciales de enfermedad creados artificialmente utilizando fungicidas. En el año 1, el punto crítico para la evaluación de la severidad de la enfermedad foliar fue en la etapa de floración o antesis hasta pocos días después (E.V. 60 – 65). Este enfoque también mostró que las mediciones de la severidad de la enfermedad foliar al principio del desarrollo del crecimiento (E.V. 37 - 39) fueron muy variables y poco relacionadas con el rendimiento. Estos resultados concuerdan con Wegulo et al (2009) quienes demostraron que la severidad de la mancha bronceada y la mancha manchada en trigo de invierno estaban fuertemente relacionadas con el rendimiento cuando se evaluó la severidad en la etapa de floración (E.V. 60).

La aplicación de Triazol al principio de la temporada de crecimiento redujo significativamente la gravedad de las enfermedades foliares. El efecto protector-curativo de la aplicación de triazol-fungicida en E.V. 39 y E.V. 45 impactaron positivamente en el rendimiento en las dos temporadas de crecimiento y en

ambos ambientes. Con respecto al cultivar, las parcelas tratadas con Triazol en E.V. 45 mostraron una reducción del 78% en el AUDPC en comparación con las parcelas de control no tratadas. Estrobilurina y Triazol aplicados en la antesis no difirieron en el AUDPC ni en la temporada de crecimiento ni en el ambiente. Los fungicidas aplicados en la antesis mostraron igual eficacia en el control de enfermedades fúngicas foliares y en la protección del rendimiento. Sin embargo, los rendimientos ligeramente más altos fueron detectados en las parcelas tratadas con Estrobilurina que en las parcelas tratadas con Triazol en la antesis. Este hecho se evidenció al comparar los valores de AUDPC para ambas moléculas fungicidas frente a los controles no tratados en cada combinación de años por medio ambiente. En un estudio similar, la aplicación de un triazol solo y un triazol combinado con un fungicida de estrobilurina en la antesis retrasó significativamente el verdor de la hoja bandera; Sin embargo, este aumento en el área foliar verde durante la maduración no se correlacionó con mayores rendimientos (Blandino y Reyneri, 2009). Por el contrario, este estudio mostró que las aplicaciones de cualquiera de las dos clases químicas fungicidas en la antesis aumentaron los rendimientos en comparación con los testigos no tratados. Por el contrario, las aplicaciones post-antesis (6 y 12 DPA) de Triazol y Estrobilurina no mejoraron el control de las enfermedades fúngicas foliares. Las aplicaciones post-antesis de ambas clases químicas fueron tan pobres como las parcelas de control no tratadas que controlan las enfermedades fúngicas foliares.

El AUDPC se correlacionó significativa y negativamente con el rendimiento en ambas temporadas de crecimiento. Estos resultados son indicativos de que la severidad de la enfermedad foliar afectó el rendimiento en ambos años. Además, las correlaciones sugirieron una mayor relación entre la severidad de la enfermedad foliar y la pérdida de rendimiento en la temporada de crecimiento del año 2, ya que las correlaciones fueron más robustas ( $r \leq -0.90$ ) y confiables ( $P < .0001$ ). El análisis de regresión lineal para el rendimiento de AUDPC mostró relaciones más fuertes en el ambiente de regadío que en el ambiente de secano en ambas temporadas de crecimiento. Por lo tanto, los resultados de este estudio indican que las condiciones ambientales pueden afectar no solo la estimación de la severidad de las enfermedades foliares y sus relaciones con la pérdida de rendimiento, sino también la efectividad del control de las enfermedades foliares en el trigo de invierno.

Las diferencias significativas de los tratamientos fungicidas en el AUDPC y el rendimiento en comparación con las parcelas testigo no tratadas implicaron que la aplicación de fungicidas era necesario durante ambas temporadas

de crecimiento. El efecto protector del rendimiento del fungicida triazol aplicado al principio de la temporada de crecimiento se demostró en ambos años en ambos ambientes. Resultados similares fueron encontrados por Wegulo et al (2009), y Wegulo et al (2012) al evaluar el impacto económico del control de enfermedades foliares en el trigo de invierno y la respuesta del rendimiento a la aplicación de fungicidas foliares en el trigo de invierno, respectivamente. Se encontró que las aplicaciones de fungicidas a E.V. 39 o posteriores tuvieron el mayor beneficio de rendimiento y rendimiento neto. Las aplicaciones anteriores (E.V. 31) pueden ser contraproducentes (Wegulo et al., 2012), por lo que se enfatiza la importancia de las aplicaciones oportunas de fungicidas en este patosistema. En el cultivar Overland, las aplicaciones de Triazol en E.V. 39 y E.V. 45 controlaron eficazmente las enfermedades foliares. Reducciones del 56% y 48% en el desarrollo de enfermedades foliares fueron detectados en las parcelas tratadas con Triazol a E.V. 45 en comparación con las parcelas testigo no tratadas en condiciones de secano y regadío, respectivamente.

La pérdida de rendimiento se puede estimar restando el rendimiento de las parcelas testigo no tratadas del rendimiento alcanzable de las parcelas tratadas con fungicida. En año 2, en condiciones de secano, el mayor rendimiento se registró en las parcelas tratadas con Triazol a E.V. 45 (arranque tardío) en ambos cultivares. En estos escenarios, se detectaron pérdidas de rendimiento del 29% y 34% en Overley y Overland, respectivamente. Nuestros resultados son similares a los reportados en el patosistema de mancha amarilla de trigo y mancha *de Septoria nodorum*, en Australia Occidental, donde bajo un desarrollo favorable y continuo de la enfermedad ambas enfermedades se asociaron con pérdidas de alrededor del 30% de pérdida en el rendimiento de grano (Bhathal et al., 2003).

Las curvas de progreso de la enfermedad permitieron detectar patrones de desarrollo epidémico tanto en años como en ambientes. Sin embargo, las curvas de progreso de la enfermedad mostraron resultados inconsistentes de la gravedad de la enfermedad foliar con varios puntos de intersección entre las líneas de progresión. La progresión de la enfermedad foliar alcanzó un pico después de los días del año 150 (año 1) y 160 (año 2) en ambientes de secano y regadío. Estos resultados son similares a las epidemias de roya de la cebada en Nueva Zelanda, donde la epidemia mostró una gravedad baja al principio de la temporada y se hizo más grave a medida que avanzaba la temporada (Whelan et al., 1997). Los resultados de este estudio mostraron una alta variabilidad al final de la temporada de crecimiento (mediados de junio en año 1 y finales de junio en año 2) expresada como altos coeficientes de

variación en las evaluaciones tardías de la severidad de la enfermedad foliar (datos no mostrados). Resultados similares fueron reportados por Wegulo et al (2009) quienes encontraron que la evaluación de la severidad de la enfermedad realizada después de E.V. 71 (maduro acuoso) en el día del año 176 tenía una relación débil con el rendimiento (Wegulo et al., 2009).

Los modelos para la evaluación de la pérdida de cultivos son herramientas que se utilizan para comprender las relaciones que ocurren en un patosistema de enfermedades foliares y plantas. Sin embargo, existen algunas limitaciones en el uso de estos modelos para interpretar los resultados biológicos. El pronóstico de la enfermedad y la predicción de la gravedad de la enfermedad foliar en un sistema patológico implican varias interacciones entre el huésped, el patógeno y el medio ambiente, incluidas las intervenciones humanas que tienen como objetivo controlar el patógeno. Los tiempos de aplicación de fungicidas mostraron resultados inconsistentes por cultivar y año. Aunque los fungicidas aplicados en E.V. 39 y E.V. 45 fueron efectivos para controlar las enfermedades foliares y proteger el rendimiento, su eficacia dependió del cultivar. Overland mostró un mayor rendimiento con fungicidas aplicados a E.V.45 que a E.V.39, mientras que la relación inversa fue cierta en Overley.

En ausencia de enfermedades, Overley es un mayor rendimiento que Overland. El menor rendimiento en Overley en este estudio se debió a las graves epidemias de año 1 de tizón de la espiga por *Fusarium* y roya rayada, ambas enfermedades a las que Overley es muy susceptible.

La inconsistencia de los resultados de los tiempos de aplicación fue reportada por Cromey et al (2004) en el *Didymella exitialis* – Patosistema del trigo, donde encontraron que el tebuconazol y la azoxistrobina aplicados en diferentes etapas de crecimiento no proporcionaron un efecto consistente en la retención del área foliar verde. Además, el efecto de los tiempos de aplicación de Triazol sobre el rendimiento se relacionó con polinomios lineales y cuadráticos según el año y el entorno. Bockus et al (1997) habían propuesto un modelo cuadrático para relacionar las epidemias moderadamente severas de manchas bronceadas y el aumento de los rendimientos de semilla. De acuerdo con este modelo, un punto de inflexión entre la bota y el cabezal completo constituye el momento óptimo en el que la efectividad de la aplicación de fungicidas es máxima. Sin embargo, ni los modelos lineales ni los cuadráticos se ajustan a los datos de los tiempos de aplicación bajo alta presión de la enfermedad (Bockus et al. 1997).

## Conclusión

El análisis económico mostró que las aplicaciones anteriores de triazol en el cultivar moderadamente resistente tuvieron el mayor retorno económico que superó los 200 USD/ha. Nuestras estimaciones son superiores a las reportadas por Bhatta et al (2018), quienes estudiando el retorno económico de los tratamientos fungicidas foliares en genotipos modernos de trigo de invierno estimaron un retorno económico de 190 USD/ha para Overland en año 1. No obstante, estos resultados concuerdan con la estimación para el cultivar Settler CL donde encontraron un retorno económico superior a los 200 USD/ha en el mismo año. El análisis económico se realizó solo para las parcelas de secano porque no había una estimación del costo del riego, y el riego se realizó para proporcionar un entorno propicio para las epidemias de enfermedades foliares y no con la intención de compensar un déficit de agua relacionado con el rendimiento. Este estudio demostró que las aplicaciones tempranas de fungicidas en las etapas de crecimiento E.V.39 y E.V. 45 controlaron de manera más efectiva la enfermedad fúngica foliar en el trigo de invierno que las aplicaciones posteriores. El análisis de los modelos de puntos críticos mostró una relación más fuerte entre las enfermedades fúngicas foliares y el rendimiento cuando la gravedad de la enfermedad se clasificó cerca de la floración en condiciones climáticas cálidas y húmedas, mientras que la mejor relación para predecir la pérdida de rendimiento por enfermedades foliares se obtuvo utilizando lecturas de gravedad de la enfermedad alrededor de la etapa de crecimiento de la leche en condiciones más secas.

## Referencias bibliográficas

- Bhatta M, Regassa T, Wegulo SN, Baenziger PS. (2018) Foliar fungicide effects on disease severity, yield, and agronomic characteristics of modern winter wheat genotypes. *Agronomy Journal* 110: 602-610.
- Bishwajit, G., Ghosh, S., & Peneluppi Jr, J. R. (2017). Dynamics of grain security in south asia: Promoting sustainability through self-sufficiency. *Sustainability Challenges in the Agrofood Sector*, 103-118.
- Bockus, W.W., Bowden, R.L., Claassen, M.M., Gordon, W.B., Heer, W.F., and Shroyer, J.P. (1997). Time of application and winter wheat genotype affect production of large seed after fungicide application. *Can. J. Plant Sci.* 77 4:567-572.
- Bordin, L.C., Casa, R.T., Marcuzzo, L.L., Reis, E.M., Gheller, A., Zancan, R.L., and Fingstag, M.D. (2016). Critical-point models to relate yield and disease intensity of the multiple pathosystem in rice leaf spots disease. *Ciencia Rural* 46 1:7-12.
- Borrill, P., Fahy, B., Smith, A.M., and Uauy, C. (2015). Wheat grain filling is limited by grain filling capacity rather than the duration of flag leaf photosynthesis: a case study using NAM RNAi plants. *PLoS one* 10 8: e0134947.
- Campbell, C.G., and Madden, L. V. (1990). Temporal analysis of epidemics. I. Description and comparison of disease progress curves. In: Campbell CG and Madden LV (eds) *Introduction to Plant Disease Epidemiology*, Wiley, New York
- Caubel, J., Launay, M., Ripoche, D., Gouache, D., Buis, S., Huard, F., Huber, L., Brun, F., & Bancal, M. O. (2017). Climate change effects on leaf rust of wheat: Implementing a coupled crop-disease model in a french regional application. *European Journal of Agronomy*, 90, 53-66.
- Chrispeels, M.J., and Sadava, D.E. (2003). *Plants, genes, and crop biotechnology*. 2nd ed. Jones & Bartlett Learning. Burlington, MA.
- Cromey, M.G., Butler, R.C., Mace, M.A., and Cole, A. (2004). Effects of the fungicides azoxystrobin and tebuconazole on *Didymella exitialis*, leaf senescence and grain yield in wheat. *Crop Protection* 23 11:1019-1030
- Eslahi, M.R., and Mojerlou, S. (2016). Modeling of crop loss caused by *Puccinia striiformis* f. sp. *tritici* in three common wheat cultivars in southern *Iranian Journal of Crop Protection*. 5 3:389-395.

- Francl LJ, Madden LV, Rowe RC, Riedel RM. (1987) Potato yield loss prediction and discrimination using preplant population densities of *Verticillium dahliae* and *Pratylenchus penetrans* *Phytopathology* 77:579-584.
- Huerta-Espino, J., Singh, R.P., German, S., McCallum, B.D., Park, R.F., Chen, W.Q., Bhardwaj, S.C., and Goyeau, H. (2011). Global status of wheat leaf rust caused by *Puccinia triticina*. *Euphytica* 179 1:143-160.
- Jackson, L. (2006). Small Grain Production Pt 2: Growth and Development of Small Grains. UCANR Publications.
- James, W.C. (1974). Assessment of plant diseases and losses. *Annual Review Phytopathology*. 12 1:27-48.
- Jesus-Junior, W. C., Júnior, T. J., Lehner, M. S., & Hau, B. (2014). Interactions between foliar diseases: Concepts and epidemiological approaches. *Tropical Plant Pathology*, 39, 1-18.
- Johnson KB, Radcliffe EB, Teng PS. (1986) Effect of interacting populations of *Alternaria solani*, *Verticillium dahliae*, and the potato leafhopper (*Empoasca fabae*) on potato yield. *Phytopathology* 76:1046-1052.
- Luck, J., Spackman, M., Freeman, A., Tre, bicki, P., Griffiths, W., Finlay, K., & Chakraborty, S. (2011). Climate change and diseases of food crops. *Plant Pathology*, 60(1), 113-121.
- Madden, L.V., Hughes, G., and Bosch, F. (2007). The study of plant disease epidemics. American Phytopathological Society (APS Press) St. Paul, MN.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. 2015. FAOSTAT statistics database Available online: <http://faostat3.fao.org/home/E>.
- Robert, C., Bancal, M.O., Nicolas, P., Lannou, C., and Ney, B. (2004). Analysis and modelling of effects of leaf rust and *Septoria tritici* blotch on wheat growth. *Journal of Experimental Botany*. 55 399:1079-1094.
- Rowlandson, T., Gleason, M., Sentelhas, P., Gillespie, T., Thomas, C., & Hornbuckle, B. (2015). Reconsidering leaf wetness duration determination for plant disease management. *Plant disease*, 99(3), 310-319.
- Savary S, and Zadoks JC (1992) Analysis of crop loss in the multiple pathosystem groundnut-rust-late leaf spot. III: Correspondence analyses. *Crop Protection* 11:229-239.

- Savary S, Willocquet L, Elazegui FA, Castilla NP, Teng PS (2000) Rice pest constraints in tropical Asia: Quantification of yield losses due to rice pests in a range of production situations. *Plant Disease* 84:357-369.
- Shabber, A., and Bockus, W.W. (1988). Tan spot effects on yield and yield components relative to growth stage in winter-wheat. *Plant Disease*. 72 7:599-602.
- Schierenbeck, M., Constanza Fleitas, M., Julio Miralles, D., and Rosa Simon, M. (2016). Does radiation interception or radiation use efficiency limit the growth of wheat inoculated with tan spot or leaf rust? *Field Crops Research*. 199:65-76.
- Singh, R.P., Hodson, D.P., Jin, Y., Lagudah, E.S., Ayliffe, M.A., Bhavani, S., Rouse, M.N., Pretorius, Z.A., Szabo, L.J., Huerta-Espino, J., Basnet, B.R., Lan, C., and Hovmoller, M.S. (2015). Emergence and Spread of New Races of Wheat Stem Rust Fungus: Continued Threat to Food Security and Prospects of Genetic Control. *Phytopathology* 105 7:872-884.
- Stoy, V. (1963). The Translocation of C14-Labelled Photosynthetic Products from the Leaf to the Ear in Wheat. *Physiologia Plantarum* 16 4:851-866.
- Teng, P.S., Close, R.C., and Blackie, M.J. (1979). Comparison of models for estimating yield loss caused by leaf rust (*Puccinia hordei*) on Zephyr barley in New Zealand. *Phytopathology* 69 12:123944.
- Whelan, H.G., Gaunt, R.E., and Scott, W.R. (1997). The effect of leaf rust (*Puccinia hordei*) on yield response in barley (*Hordeum vulgare* L.) crops with different yield potentials. *Plant Pathology*. 46 3:397-406.
- Wegulo, S.N., Breathnach, J.A., and Baenziger, P.S. (2009). Effect of growth stage on the relationship between tan spot and spot blotch severity and yield in winter wheat. *Crop Protection*. 28 8:696-702.
- Wegulo, S.N. (2010). Foliar diseases of winter wheat: Management with fungicides. NebGuide G1979. In: <http://extensionpublications.unl.edu/assets/pdf/g1979.pdf>
- Wegulo, S.N., Zwingman, M.V., Breathnach, J.A., and Baenziger, P.S. (2011). Economic returns from fungicide application to control foliar fungal diseases in winter wheat. *Crop Protection*. 30 6:685-692.
- Wegulo, S., Stevens, J., Zwingman, M., and Baenziger, P.S. (2012). Yield response to foliar fungicide application in winter wheat. in: Fungicides for Plant and Animal Diseases. InTech.

Zadoks, J.C., Chang, T.T., and Konzak, C.F. (1974). A decimal code for the growth stages of cereals. *Weed Res.* 14 6:415-421.

Zadoks, J.C., and Schein, R.D. (1979). *Epidemiology and plant disease management*. Oxford University Press Inc. Oxford, UK.

## Conclusión

Este estudio ha proporcionado información valiosa sobre el papel de las plantas arvenses como hospederos de polinizadores y su capacidad para contribuir a la biodiversidad y al servicio ecosistémico de polinización en sistemas agroecológicos. La predominancia de insectos polinizadores del orden Himenoptera, así como la efectividad de las cepas de *Bacillus subtilis* en el crecimiento de las plantas de cáñamo, resalta la importancia de integrar agentes biológicos en las prácticas agrícolas para optimizar la producción y sostenibilidad de los cultivos.

Los resultados sobre el extracto de *Phytolacca bogotensis* muestran su efectividad en el control del ácaro *Tetranychus urticae*, reafirmando la necesidad de explorar alternativas orgánicas frente a plagas que afectan la floricultura. La reducción significativa en la población de adultos y ninfas de ácaros, junto con la identificación de saponinas y flavonoides en el extracto, sugiere que este enfoque puede ser complementado por un análisis más exhaustivo de sus principios activos, para así potencialmente desarrollar tratamientos más eficaces y sostenibles.

En el ámbito del manejo postcosecha de la tuna, se evidenció que el índice de cosecha y la técnica de limpieza utilizada tienen un impacto significativo en la conservación del fruto. La combinación del Índice Verde claro con limpieza mecánica demostró ser la más efectiva para prolongar la vida útil de la tuna en anaquel, además de presentar un costo directo favorable. Este hallazgo es crucial para ayudar a los agricultores a optimizar sus prácticas de cosecha y limpieza, minimizando daños y aumentando la rentabilidad.

Finalmente, en relación al cultivo de trigo, el análisis económico indica que las aplicaciones tempranas de fungicidas pueden proporcionar un retorno económico significativo, superando las expectativas en comparación con otros estudios. La capacidad de predecir la pérdida de rendimiento a través de la severidad de enfermedades en etapas críticas del crecimiento es una herramienta valiosa para mejorar la toma de decisiones en el manejo de cultivos.

En conclusión, los hallazgos de esta investigación subrayan la importancia de adoptar un enfoque holístico que incluya la utilización de prácticas agrícolas sostenibles, el uso de productos naturales para el control de plagas, y la optimización de los procesos de cosecha y postcosecha, con el fin de promover la rentabilidad y sostenibilidad de la producción agrícola en Ecuador. Esto no solo beneficiaría a los agricultores, sino que también contribuiría a la conservación de la biodiversidad y la salud del agroecosistema en general.

1era Edición

# CULTIVANDO EL FUTURO

Innovaciones en agricultura  
sostenible para un mundo en cambio



Publicado en Ecuador  
Febrero 2024

Edición realizada desde el mes de Diciembre del 2023 hasta  
Febrero de 2024, en los talleres Editoriales de MAWIL  
publicaciones impresas y digitales de la ciudad de Quito.

Quito – Ecuador

Tiraje 30, Ejemplares, A5, 4 colores; Offset MBO  
Tipografía: Helvetica LT Std; Bebas Neue; Times New Roman.  
Portada: Collage de figuras representadas y citadas en el libro.