

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**EVALUACIÓN COMPARATIVA ENTRE EL ÁCIDO SALICÍLICO COMO INDUCTOR DE RESISTENCIA SISTÉMICA ADQUIRIDA Y PRODUCTOS QUÍMICOS COMERCIALES, EN LA REDUCCIÓN DEL DAÑO DE *Alternaria solani* EN TOMATE *Solanum lycopersicum L.* EN LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA, BÁRCENAS, VILLA NUEVA, GUATEMALA**

**GERARDO MARCO TULIO LÓPEZ FUENTES**

**GUATEMALA, AGOSTO DE 2025**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVALUACIÓN COMPARATIVA ENTRE EL ÁCIDO SALICÍLICO COMO INDUCTOR DE RESISTENCIA SISTÉMICA ADQUIRIDA Y PRODUCTOS QUÍMICOS COMERCIALES, EN LA REDUCCIÓN DEL DAÑO DE *Alternaria solani* EN TOMATE *Solanum lycopersicum L.* EN LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA, BÁRCENAS, VILLA NUEVA, GUATEMALA 2024.**

PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

**GERARDO MARCO TULIO LÓPEZ FUENTES**

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO

EN

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

**LICENCIATURA**

GUATEMALA, AGOSTO DE 2025

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**RECTOR**

**M. A. WALTER RAMIRO MAZARIEGOS BIOLIS**

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

<b>DECANO</b>	Dr. Marvin Roberto Salguero Barahona
<b>VOCAL II</b>	Dra. Gricelda Lily Gutiérrez Álvarez
<b>VOCAL III</b>	Ing. Agr. M.A. Jorge Cabrera Madrid
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Agr. Edi Noe Quan Barrios

GUATEMALA, AGOSTO DE 2025.

Guatemala, agosto de 2025

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el trabajo de graduación titulado: **EVALUACIÓN COMPARATIVA ENTRE EL ÁCIDO SALICÍLICO COMO INDUCTOR DE RESISTENCIA SISTÉMICA ADQUIRIDA Y PRODUCTOS QUÍMICOS COMERCIALES, EN LA REDUCCIÓN DEL DAÑO DE *Alternaria solani* EN TOMATE *Solanum lycopersicum L.* EN LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA, BÁRCENAS, VILLA NUEVA, GUATEMALA 2024**, como requisito previo a optar al título de **Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola** en el grado académico de **Licenciatura**.

Dicho trabajo de graduación se presenta con los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**



---

Gerardo Marco Tulio López Fuentes

## TRABAJO QUE DEDICO

**A:**

**DIOS**

Por el privilegio de la vida y por brindarme la sabiduría y perseverancia para llegar hasta este momento. Cada situación presentada en mi camino, por difícil que haya sido, formó parte del proceso que me permitió crecer, aprender y alcanzar la meta de culminar mi carrera. A Él todo honor y gloria.

**MI PADRE**

Marco Tulio López, porque este logro en gran parte es suyo. Su apoyo incondicional fue parte fundamental de este proceso. Gracias por estar siempre presente y por ser mi ejemplo, mi guía y mi fuente de inspiración.

**MI MADRE**

Gilda Fuentes, por todo su amor y apoyo, no solo durante mi carrera universitaria, sino a lo largo de toda mi vida. Gracias por ser ese pilar constante, por su paciencia, sus palabras de aliento y su confianza en mí. Su presencia ha sido esencial en cada paso que he dado.

**MIS HERMANOS**

Lester, Diego y Thania López, por hacer de la vida una experiencia más interesante y llena de sentido. Su compañía y sus ocurrencias han sido una fuente constante de alegría y motivación.

**MI ABUELITA**

Paula Hermitania López, por heredarme ese gusto y pasión por la naturaleza.

**MIS TÍOS**

Estoy seguro de que, desde algún lugar del cielo, ella está orgullosa de este logro. En especial a mi tía Carolina Fuentes y mis tíos Hugo y Baldemiro López por su apoyo constante y por compartir momentos valiosos que siempre llevaré en el corazón. Su presencia ha sido importante en mi vida y en este proceso.

**MIS PRIMOS**

En especial a Antony, Samuel, Bryan y Sintia López, así también a Delmy, Porfirio y Ángel Fuentes, por compartir momentos tan amenos y apoyarme cuando fue necesario. Mi total cariño para ustedes.

**MIS AMIGOS**

Por su apoyo incondicional, las risas en todo momento, cada anécdota y vivencia durante este camino, fueron y serán una parte fundamental en mi vida.

## AGRADECIMIENTOS

**A:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala** Mi casa de estudios, por brindarme la oportunidad de completar mi formación académica y desarrollarme como profesional dentro de sus aulas.

**Facultad de Agronomía** Por formarme no solo como profesional, sino también como persona. En ella viví experiencias que marcaron mi vida, y me llevo recuerdos invaluableles que guardaré conmigo por siempre.

**Escuela Nacional Central de Agricultura** Por permitirme realizar mi Ejercicio Profesional Supervisado en sus instalaciones. Fueron ocho meses de mucho aprendizaje, retos y crecimiento que recordaré con gratitud siempre.

**Ingenieros Félix Martínez y José Calderon** Por su guía y acompañamiento durante mi EPS. Su experiencia, paciencia y compromiso fueron fundamentales para culminar de forma satisfactoria este proceso.

**Pedro Solís** Por facilitarme los materiales necesarios para llevar a cabo esta investigación, brindarme el espacio adecuado y todo lo necesario para su realización. Asimismo, valoro sus consejos, su apoyo y su disposición para acompañarme en este proceso.

**Ing. Claudia Toledo** Por su valioso apoyo durante la fase de laboratorio de la investigación. Gracias por guiarme en la identificación del

**Luis Ramírez y José Claro**

patógeno, por su paciencia, dedicación y admirable vocación.

Por compartir sus conocimientos y experiencia a lo largo del EPS. Sin duda alguna, su acompañamiento de mucho provecho para mi aprendizaje y crecimiento profesional durante este proceso.

**Ing. Agr. Josué Monroy**

Por su orientación en el planteamiento de mi investigación. Sus consejos fueron de gran utilidad y contribuyeron significativamente al desarrollo de este trabajo.

**José Osorio, Eduardo Reyes, Sergio Palacios, Izabela Rosales, Carlos Arana, Ana Paula Ramírez, Benjamin Cujcuj, Jennifer Sazo, Víctor Mendoza, Kevyn Alonzo, Álvaro Salazar.**

Por su amistad sincera y constante. Gracias por compartir conmigo no solo esta etapa, sino la vida misma, con sus altos y bajos. Su presencia ha sido y seguirá siendo una de las bendiciones más valiosas de mi camino; los llevo siempre en mi corazón.

**Esthib Santos, Pablo Ramírez, Dulce Morales**

Por su apoyo y amistad durante el Ejercicio Profesional Supervisado. Hicieron que esta etapa fuera más amena y significativa, y su compañía fue fundamental para superar los retos del proceso.

## ÍNDICE DE CONTENIDO GENERAL

CONTENIDO	PÁGINA
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xii
ÍNDICE DE TABLAS .....	xvi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xviii
GLOSARIO .....	xix
INTRODUCCIÓN .....	2
PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA .....	2
Problemáticas a nivel general de la institución. ....	2
Ausencia de temas de importancia agrícola, forestal y agroindustrial en la agenda de investigación de la ENCA:.....	2
Ineficiente uso de las carboneras del área forestal.....	3
Mal aprovechamiento y administración del agua en los diferentes cultivos. ....	3
Pérdidas en el rendimiento de cultivos, provocado por la infestación de nematodos en el suelo.....	3
Mal aprovechamiento y manejo de desechos de cosechas de los cultivos.....	3
Mal establecimiento y manejo de huertos medicinales. ....	3
Problemáticas correspondientes al área de producción de hortalizas .....	4
Carencia de registro de aplicaciones de fertilizantes, plaguicidas y riego en los cultivos. ....	4
Falta de capacitación de los trabajadores para elaboración de registros de aplicaciones de productos químicos. ....	4
Malas prácticas agrícolas.....	4
Plagas y enfermedades en los cultivos. ....	4
MARCO REFERENCIAL.....	5
Ubicación geográfica y vías de acceso.....	5

CONTENIDO	PÁGINA
Características edafo-climáticas (suelos, clima, zona de vida, etc.).....	6
Uso de suelos.....	6
Estructura interna de la Escuela Nacional Central de Agricultura.....	6
OBJETIVOS.....	8
Objetivo general:.....	8
Objetivos específicos:.....	8
METODOLOGÍA.....	9
Recursos.....	10
Materiales:.....	10
Recursos humanos:.....	10
RESULTADOS.....	11
Diagrama de Ishikawa de las problemáticas identificadas en el área de hortalizas de la ENCA.....	11
Explicación de las problemáticas identificadas.....	11
Fertilidad de Cultivos.....	11
Fitosanidad.....	12
Riegos.....	12
Control de plagas.....	12
Capacitación de personal.....	12
Malas prácticas agrícolas.....	12
Ponderación de las problemáticas.....	13
CONCLUSIONES.....	15
RECOMENDACIONES.....	15
Planteamiento de servicios para mitigar las problemáticas identificadas.....	16
REFERENCIAS.....	16

CONTENIDO	PÁGINA
APÉNDICE DE FIGURAS .....	18
RESUMEN .....	29
INTRODUCCIÓN .....	30
DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	32
JUSTIFICACIÓN .....	34
MARCO TEÓRICO.....	35
Marco conceptual .....	35
Clasificación taxonómica del tomate .....	35
Anatomía y Morfología .....	35
Requerimientos y fenología de la planta .....	36
Plagas y enfermedades .....	37
Alternaria solani .....	37
Marco referencial.....	42
Ubicación geográfica y vías de acceso .....	42
Características climáticas .....	44
Tipo de suelo.....	44
Uso de suelos .....	46
HIPÓTESIS .....	47
OBJETIVOS .....	47
Objetivo general.....	47
Objetivos específicos.....	47
METODOLOGÍA .....	48
Metodología experimental .....	48
Modelo estadístico .....	48

CONTENIDO	PÁGINA
Factor o factores .....	48
Niveles .....	48
Supuestos .....	48
Tratamientos .....	49
Hipótesis estadística .....	49
Variables de respuesta .....	49
Diseño experimental .....	50
Metodología de análisis .....	51
Manejo de la investigación .....	51
Lugar y época .....	52
Preparación del ácido salicílico .....	52
Aleatorización (Repeticiones y unidades experimentales) .....	56
Croquis de campo .....	56
Materiales y equipo .....	57
CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN .....	58
RESULTADOS .....	59
Análisis de incidencia y severidad .....	59
Incidencia .....	59
Severidad .....	61
Área bajo la curva .....	66
Comparación del efecto de las tres concentraciones de ácido salicílico y el control químico .....	69
CONCLUSIONES .....	78
RECOMENDACIONES .....	79
REFERENCIAS .....	80

CONTENIDO	PÁGINA
APÉNDICE DE FIGURAS .....	84
APÉNDICE DE TABLAS .....	91
INTRODUCCIÓN .....	96
OBJETIVO GENERAL .....	96
METODOLOGÍA GENERAL .....	96
SERVICIOS EJECUTADOS.....	97
Servicio 1: Establecimiento y manejo de registro de las aplicaciones de fertilizante por cultivo en el área de hortalizas de la Escuela Nacional de Agricultura, Bárcena, Villa Nueva. ....	97
Antecedentes .....	97
Objetivos específicos .....	97
Metodología .....	97
Resultados y Discusión.....	98
Conclusiones.....	98
Recomendaciones .....	98
Servicio 2: Establecimiento y control de registro de las aplicaciones fitosanitarias por cultivo en el área de hortalizas de la Escuela Nacional de Agricultura, Bárcena, Villa Nueva. ....	99
Antecedentes .....	99
Objetivos específicos .....	99
Metodología .....	99
Resultados y Discusión.....	100
Conclusiones.....	100
Recomendaciones .....	101

CONTENIDO	PÁGINA
Servicio 3: Establecimiento y control de registro del riego aplicado a los lotes por cultivo en el área de hortalizas de la Escuela Nacional de Agricultura, Bárcena, Villa Nueva. ....	101
Antecedentes .....	101
Objetivos específicos .....	101
Metodología .....	101
Resultados y Discusión.....	102
Conclusiones.....	102
Recomendaciones .....	102
BIBLIOGRAFÍA .....	103
ÁPENDICE DE FIGURAS .....	104

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PÁGINA
<b>Figura 1</b> Ubicación de la Escuela Nacional Central de Agricultura -ENCA- .....	5
<b>Figura 2</b> Organigrama de Dirección de la Escuela nacional Central de Agricultura .....	7
<b>Figura 3</b> Organigrama estructural de la Coordinación de Producción .....	8
<b>Figura 4</b> Diagrama de Ishikawa de las problemáticas del área de hortalizas de la ENCA.....	11
<b>Figura 5A</b> Cultivo de frijol ejotero infestado por mosca blanca Bemisia tabaci .....	18
<b>Figura 6A</b> Cultivo de frijol ejotero afectado por el BGMC .....	18
<b>Figura 7A</b> Visita al área designada al asocio tripartito entre ENCA-MAGA-MASAHV .....	19
<b>Figura 8A</b> Producción de pilones de hortalizas .....	19
<b>Figura 9A</b> Sistema de fertirriego presurizado en el área experimental de MASHAV .....	20
<b>Figura 10A</b> Carbonera perteneciente al área forestal de la ENCA.....	20
<b>Figura 11A</b> Plantación de musa paradisiaca contaminada por restos vegetales y plásticos .....	21
<b>Figura 12A</b> Plantación de Carica papaya contaminada con restos vegetales y plásticos .....	21
<b>Figura 13A</b> Reservorio de agua contaminado .....	22
<b>Figura 14A</b> Área de hortalizas contaminada por plásticos, restos vegetales y malezas.....	22
<b>Figura 15A</b> Invernadero designado a la sección de investigación.....	23
<b>Figura 16A</b> Interior del invernadero designado a la sección de investigación .....	23
<b>Figura 17A</b> Plantación experimental de Prunus persica contaminada por plástico y restos vegetales .....	24
<b>Figura 18A</b> Cultivo de tomate Solanum lycopersicum L. infectado por Alternaria solani .....	25
<b>Figura 19A</b> Cultivo de tomate Solanum lycopersicum L. con incidencia de mosca blanca Bemisia tabaci.....	25
<b>Figura 20A</b> Centro de acopio de envases de pesticidas del área de hortalizas .....	26

FIGURA	PÁGINA
<b>Figura 21A</b> Huerto medicinal establecido en el área de hortalizas de la ENCA .....	26
<b>Figura 22A</b> Abonera destinada a los desperdicios del área de hortalizas de la ENCA .....	27
<b>Figura 23A</b> Cama biológica establecida en el área de producción de hortalizas .....	27
<b>Figura 24</b> Partes de la flor y frutos de <i>Solanum lycopersicum</i> L.....	36
<b>Figura 25</b> Conidios de <i>Alternaria</i> spp. ....	38
<b>Figura 26</b> Ciclo de vida y síntomas causados por <i>Alternaria</i> .....	40
<b>Figura 27</b> Mapa de ubicación de la Escuela Nacional Central de Agricultura .....	43
<b>Figura 28</b> Análisis químico del suelo del área delimitada para la investigación, megatunel 3, área de producción de la ENCA. ....	45
<b>Figura 29</b> Croquis de distribución aleatorizada de tratamientos .....	56
<b>Figura 30</b> Distribución de las plantas por unidad experimental .....	56
<b>Figura 31</b> Cronograma de ejecución de actividades de un cultivo de tomate en la Escuela Nacional Central de Agricultura ENCA .....	58
<b>Figura 32</b> Curvas de progreso de la incidencia de <i>Alternaria solani</i> en tomate cultivado bajo el efecto de diferentes métodos de control del patógeno .....	66
<b>Figura 33</b> Curvas de progreso de la severidad de <i>Alternaria solani</i> en tomate cultivado bajo el efecto de diferentes métodos de control del patógeno. ....	68
<b>Figura 34</b> Prueba de gráfico QQ-Plot correspondiente a la variable de incidencia .....	74
<b>Figura 35</b> Prueba de gráfico QQ-Plot correspondiente a la variable de severidad.....	74
<b>Figura 36</b> Gráfico de dispersión de residuos y predichos de la variable incidencia.....	75
<b>Figura 37</b> Gráfico de dispersión de residuos y predichos de la variable severidad .....	75
<b>Figura 38</b> Gráfica de las curvas del progreso de la incidencia de <i>Alternaria solani</i> en tres tratamientos en plantas de tomate .....	76
<b>Figura 39</b> Gráfica de las curvas del progreso de la severidad del daño de <i>Alternaria</i> <i>solani</i> en tres tratamientos en plantas de tomate .....	77
<b>Figura 40B</b> Ciclo productivo 2023 Coordinación de Producción, área de hortalizas de la ENCA .....	84
<b>Figura 41B</b> Síntoma de <i>Alternaria solani</i> diagnosticado en planta de tomate, con un nivel de severidad de grado 1 .....	85

FIGURA	PÁGINA
<b>Figura 42B</b> Síntoma de <i>Alternaria solani</i> diagnosticado en planta de tomate, con un nivel de severidad de grado 2.....	85
<b>Figura 43B</b> Síntoma de <i>Alternaria solani</i> diagnosticado en planta de tomate, con un nivel de severidad de grado 3.....	86
<b>Figura 44B</b> Muestra foliar de una hoja de <i>Solanum lycopersicum</i> L. infectada por <i>Alternaria solani</i> observada bajo estereoscopio.....	86
<b>Figura 45B</b> Análisis foliar para determinación de <i>Alternaria solani</i> en planta de tomate, laboratorio de fitopatología de la Escuela Nacional Central de Agricultura.....	87
<b>Figura 46B</b> Estructuras de <i>Alternaria solani</i> observadas bajo microscopio. Aumento 10 X .....	87
<b>Figura 47B</b> Conidias de <i>Alternaria solani</i> observadas bajo microscopio. Aumento 40 X .....	88
<b>Figura 48B</b> Conidias de <i>Alternaria solani</i> observadas bajo microscopio. Aumento 40 X .....	88
<b>Figura 49B</b> Conidia de <i>Alternaria solani</i> germinada, observada bajo microscopio. Aumento 40 X .....	89
<b>Figura 50B</b> Preparación del ácido salicílico para las diferentes aplicaciones de los tres tratamientos correspondientes.....	89
<b>Figura 51B</b> Preparación del ácido salicílico para las diferentes aplicaciones de los tres tratamientos correspondientes.....	90
<b>Figura 52C</b> Formato establecido para registro de riego del área de hortalizas de la Escuela Nacional Central de Agricultura .....	104
<b>Figura 53C</b> Formato establecido para registro de fertilización del área de hortalizas de la Escuela nacional Central de Agricultura .....	105
<b>Figura 54C</b> Formato establecido para el registro de fitosanidad del área de hortalizas de la Escuela Nacional Central de Agricultura.....	106
<b>Figura 55C</b> Ejemplo de registro y control de riego del área de hortalizas .....	107
<b>Figura 56C</b> Ejemplo del registro y control de aplicaciones de fertilizante del área de hortalizas.....	108

FIGURA	PÁGINA
<b>Figura 57C</b> Ejemplo del registro y control fitosanitario del área de hortalizas .....	109
<b>Figura 58C</b> Formato establecido para el registro de entradas y salidas de productos de la bodega del área de hortalizas.....	110
<b>Figura 59C</b> Ejemplo de registro y control de entradas y salidas de los productos de bodega del área de hortalizas.....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	PÁGINA
<b>Tabla 1</b> Parámetros establecidos para las ponderaciones de la Matriz de priorización de problemas.....	13
<b>Tabla 2</b> Matriz de priorización de problemas aplicado a las problemáticas identificadas en el área de producción de hortalizas .....	14
<b>Tabla 3</b> Propuestas de servicios a realizar durante el EPS en el periodo de marzo a octubre de 2024.....	16
<b>Tabla 4</b> Descripción de los tratamientos y su código correspondiente .....	49
<b>Tabla 5</b> Escala de severidad para las plantas afectadas por <i>Alternaria solani</i> .....	50
<b>Tabla 6</b> Promedios de porcentajes de incidencia de <i>Alternaria solani</i> por tratamiento en cada muestreo .....	59
<b>Tabla 7</b> Promedios de porcentajes de severidad de <i>Alternaria solani</i> por tratamiento en cada muestreo .....	62
<b>Tabla 8</b> Cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad <i>Alternaria solani</i> , variable de incidencia .....	67
<b>Tabla 9</b> Cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad <i>Alternaria solani</i> , variable de severidad .....	69
<b>Tabla 10</b> Análisis de varianza de los porcentajes de incidencia de <i>Alternaria</i> por tratamiento .....	70
<b>Tabla 11</b> Comparación múltiple de medias de Tukey de la incidencia de <i>Alternaria</i> por tratamiento .....	70
<b>Tabla 12</b> Análisis de varianza de los porcentajes de severidad de <i>Alternaria</i> por tratamiento .....	71
<b>Tabla 13</b> Comparación múltiple de medias de Tukey de la severidad de <i>Alternaria</i> por tratamiento .....	71
<b>Tabla 14</b> Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) correspondiente a la variable de incidencia. ....	73
<b>Tabla 15</b> Prueba de Shapiro-Wilks (modificado) correspondiente a la variable de severidad.....	73
<b>Tabla 16B</b> Porcentaje de incidencia, residuos y valores predichos por tratamiento ....	91

<b>Tabla 17B</b> Porcentajes de severidad, residuos y valores predichos por tratamiento...	92
<b>Tabla 18B</b> Promedios de los porcentajes de incidencia determinados por repetición en cada muestreo .....	93
<b>Tabla 19B</b> Promedios de porcentajes de severidad determinados por repetición en cada muestreo .....	94

**LISTA DE SÍMBOLOS**

<b>%</b>	Porcentaje
<b>CIC</b>	Capacidad de Intercambio Catiónico
<b>G</b>	Gramo
<b>Ha</b>	Hectárea
<b>Km</b>	Kilómetro
<b>L</b>	Litro
<b>M</b>	Molar
<b>MI</b>	Mililitro
<b>Mm</b>	Milímetro
<b>°C</b>	Grados Celsius
<b>pH</b>	Potencial de hidrógeno

## GLOSARIO

### ***Alternaria solani***

Hongo fitopatógono responsable responsable de causar la enfermedad conocida como “tizón temprano” en tomate y otras solanáceas. Es caracterizado por generar manchas oscuras en hojas, tallos y frutos.

### **AS**

Siglas para referirse a *Ácido salicílico*, fitohormona involucrada en distintos procesos fisiológicos de las plantas, como la respuesta al estrés tanto biótico como abiótico, además está involucrado en la activación de la resistencia sistémica adquirida de las plantas.

### **Conidio**

Espora asexual producida por ciertos hongos, incluyendo *Alternaria solani*. Es la estructura de dispersión responsable de la propagación del patógeno en condiciones favorables.

### **Fitohormona**

Compuesto químico producido de forma natural por las plantas en pequeñas cantidades, que actúa como regulador de distintos procesos fisiológicos. Intervienen en procesos como germinación, floración, maduración de frutos, respuesta frente a condiciones de estrés, entre otros.

### **Fitopatógono**

Organismo que causa enfermedades en las plantas. Un fitopatógono altera funciones fisiológicas normales, afectando su desarrollo, crecimiento o calidad.

<b>Hortaliza</b>	Planta cultivada en huertos o jardines con fines de consumo humano, ya sea en forma de hojas, raíces, frutos, tallos o flores.
<b>Incidencia</b>	Porcentaje de unidades afectadas por un patógeno dentro de una población determinada.
<b>Modo de acción sistémico</b>	Forma de actuar de ciertas moléculas (como fungicidas), que son absorbidas por la planta y distribuidas internamente a través de sus tejidos, protegiendo tanto las zonas tratadas como las no tratadas.
<b>RAS</b>	Respuesta inducida en las plantas que activa mecanismos de defensa en todo el organismo, incluso en partes no infectadas, tras el reconocimiento de un patógeno o la aplicación de ciertos compuestos como el ácido salicílico.
<b>Severidad</b>	Grado de daño o afección que presenta un individuo infectado por un patógeno.
<b>Tizón temprano</b>	Enfermedad que afecta principalmente los cultivos de tomate y papa, afecta el tejido foliar y es provocada por el hongo <i>Alternaria solani</i> . Se caracteriza por la aparición de manchas circulares oscuras con anillos concéntricos en hojas, tallos y frutos.

Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Agronomía  
Área Integrada  
Ejercicio Profesional Supervisado



## INFORME

Diagnóstico del área de hortalizas, de la Coordinación de producción de la Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), marzo de 2024.

Gerardo Marco Tulio López Fuentes  
Carnet 201905799

Institución: Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA)

Agosto de 2025

Supervisor: Ing. Agr. Félix Martínez

Cohorte: Marzo a octubre de 2024.

## INTRODUCCIÓN

La Escuela Nacional Central de Agricultura (ENCA), es una unidad académica y de producción dedicada al campo agronómico, esta se especializa en tres distintas ramas de la agronomía que son la agrícola, forestal y agroindustrial. Tanto en las tres ramas mencionadas como en la sección de investigación la Escuela cuenta con distintas problemáticas y los estudiantes del EPS de la facultad de agronomía, tienen la tarea de aportar en base a sus conocimientos, soluciones a las posibles problemáticas a través de los servicios y la investigación correspondiente.

Para poder plantear los servicios y definir el tema de investigación, que serán de utilidad tanto para la institución como para el estudiante, es necesario identificar de forma puntual las problemáticas que se encuentran en el lugar y analizar la factibilidad de llevar dichas actividades a cabo durante el tiempo estipulado para el EPS. Por tanto, surge la necesidad de realizar un diagnóstico como punto de partida para realizar las actividades del EPS.

Este diagnóstico en específico se realizó en compañía del ingeniero a cargo de la sección de investigación, recorriendo las distintas áreas de la institución, la fase de campo se llevó a cabo entre los días 1 y 6 de marzo de 2024, y posteriormente se procedió a la etapa de gabinete.

## PLANTEAMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

Durante el recorrido se identificaron distintas problemáticas a nivel general en la Escuela, posteriormente el estudiante fue asignado a la coordinación de producción, específicamente al área de hortalizas y en esta se identificaron las dificultades a las que se enfrentan en la misma.

### **Problemáticas a nivel general de la institución.**

#### ***Ausencia de temas de importancia agrícola, forestal y agroindustrial en la agenda de investigación de la ENCA:***

Al revisar la agenda de investigación de la ENCA para el año 2024, se observó que temas de mucha importancia para el sector agronómico no fueron tomados en cuenta, tales como la agroecología, el uso de asocio y rotación de cultivos, el uso de

biotecnología, aprovechamiento de recursos forestales, BPO y seguridad en el uso de maquinaria agroindustrial, entre otros.

### ***Ineficiente uso de las carboneras del área forestal.***

El área forestal cuenta con dos carboneras artesanales (Figura 10A), estas si bien no manejan una tecnología muy alta, están siendo utilizadas de forma ineficiente ya que con un manejo más adecuado se podría obtener un mejor aprovechamiento de las mismas.

### ***Mal aprovechamiento y administración del agua en los diferentes cultivos.***

En cuanto al recurso hídrico las diferentes áreas, a excepción de la destinada a MASHAV, no tienen un control estricto del mismo o un registro de su uso, por lo que se está utilizando de forma no controlada tan valioso recurso, además de que algunos de los reservorios están contaminados (Figura 13A).

### ***Pérdidas en el rendimiento de cultivos, provocado por la infestación de nematodos en el suelo.***

Retomando el tema de MASHAV, al realiza la visita a esta área (Figura 7A) el ingeniero a cargo mencionó que un problema muy abundante en los suelos de la Escuela es la presencia de nematodos, que disminuye los rendimientos en la producción, motivo por el que estaban cultivando plantas brásicas que posteriormente se aplicarían al suelo como un método orgánico de control de esta plaga.

### ***Mal aprovechamiento y manejo de desechos de cosechas de los cultivos.***

Como parte del recorrido se visitaron las aboneras, estas eran muy deficientes ya que los desperdicios solamente se apilaban y no se les brindaba ningún manejo o procesamiento para poder descomponer los residuos y aprovechar las aboneras como tales (Figura 22A).

### ***Mal establecimiento y manejo de huertos medicinales.***

La ENCA cuenta con dos huertos medicinales, ambos se encontraron en malas condiciones, infestados de malezas, sin manejo alguno, prácticamente abandonados (Figura 21A).

## **Problemáticas correspondientes al área de producción de hortalizas**

### ***Carencia de registro de aplicaciones de fertilizantes, plaguicidas y riego en los cultivos.***

La Escuela no cuenta con registros de las aplicaciones tanto de fertilizantes como de plaguicidas y riego que se realizan en los cultivos, estos son de mucha importancia ya que la institución requiere de un registro de dichos datos para llevar un control del inventario de insumos y así poder realizar y justificar las compras necesarias, además, al momento de aspirar a certificaciones tanto nacionales como internacionales es un requisito indispensable el contar con un meticuloso control de los insumos y aplicaciones que se destinan a cada cultivo.

### ***Falta de capacitación de los trabajadores para elaboración de registros de aplicaciones de productos químicos.***

Para poder realizar los registros, en algunos casos es necesario utilizar factores de conversión, realizar mediciones, determinar dosis, entre otras actividades, que son meramente teóricas y los trabajadores en su mayoría, carecen de la habilidad para llevarlas a cabo debido a la falta de capacitación.

### ***Malas prácticas agrícolas.***

Durante el recorrido por los diferentes sectores de la Escuela, se pudieron observar restos de plásticos de antiguas cosechas (Figuras 11A, 12A, 14A Y 17A), centros de acopio de envases de productos químicos en muy malas condiciones (Figura 20A), camas biológicas abandonadas (Figura 23A), entre otros aspectos que denotaban un claro caso de malas prácticas agrícolas en la institución.

### ***Plagas y enfermedades en los cultivos.***

Finalmente, en el área de hortalizas existen diversos problemas con plagas y enfermedades, especialmente durante la época lluviosa. En el cultivo de tomate, por ejemplo, se presentan problemas ocasionados por mosca blanca (Figura 19A), *Alternaria solani* (Figura 18A), en el cultivo de frijol ejotero se presentan problemas por mosca blanca (Figura 5A), virus dorado del frijol (Figura 6A), entre otros, por mencionar algunos ejemplos.

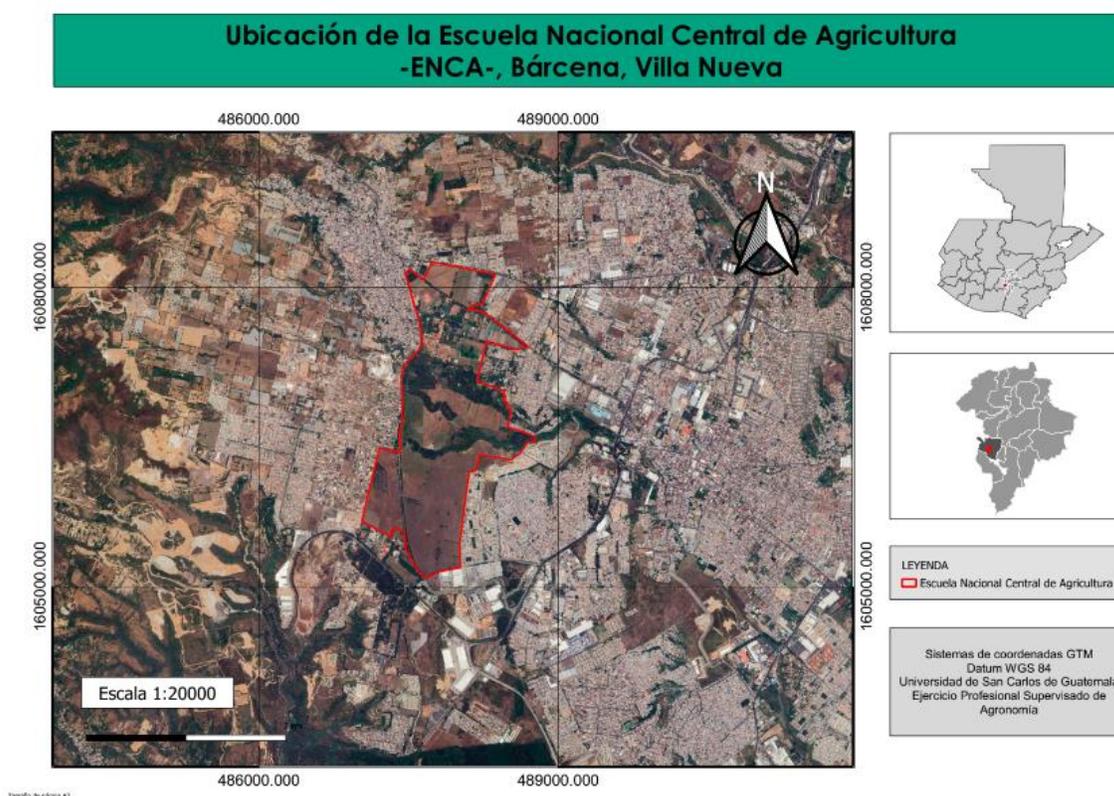
## MARCO REFERENCIAL

### Ubicación geográfica y vías de acceso

La Escuela Nacional Central de Agricultura se encuentra ubicada en el kilómetro 17.5, finca Bárcena, Villa Nueva del departamento de Guatemala (Escuela Nacional Central de Agricultura, 2024) y sus coordenadas geográficas se encuentran entre los 14°31'15" y 14°32'18" latitud Norte; y los 90°38'35" de longitud Oeste, a una altitud de 1400 m s.n.m. (Hernández & Reyes, 2005).

### Figura 1

*Ubicación de la Escuela Nacional Central de Agricultura -ENCA-*



*Nota.* Realizado con Qgis.

Cuenta con diferentes vías de acceso, entre ellas se encuentra la carretera asfaltada que conecta con la CA-4 y la interconexión Bárcenas-Antigua Guatemala. Se sitúa a 3 km de la cabecera municipal de Villa Nueva y a 17 km de la ciudad capital. Su localización le permite tener acceso directo a las zonas de producción agrícola que se sitúan en el altiplano central, además de las principales zonas de mayoreo y distribución agrícola de la ciudad (Herrera Herrera, 2009).

### **Características edafo-climáticas (suelos, clima, zona de vida, etc.)**

El clima en el área de la ENCA se determinó como templado, con una precipitación pluvial anual en un rango entre 760 a 1130 mm, la zona de vida según la clasificación de Holdrige se determinó como bosque subtropical templado y la temperatura media anual se encuentra entre los 14 y 16 °C (Herrera Herrera, 2009). En cuanto a los suelos, se puede mencionar que estos tienen una profundidad efectiva mayor a 90 cm (Hernández & Reyes, 2005), los suelos de la Escuela cuentan con pendientes entre el 4 y 55 %, con una textura arena franca, franco arenoso, franco arcillo-arenoso y arenoso, son suelos procedentes de materiales aluviales que se formaron de fragmentos de roca volcánica en una matriz piroclástica (Herrera Herrera, 2009).

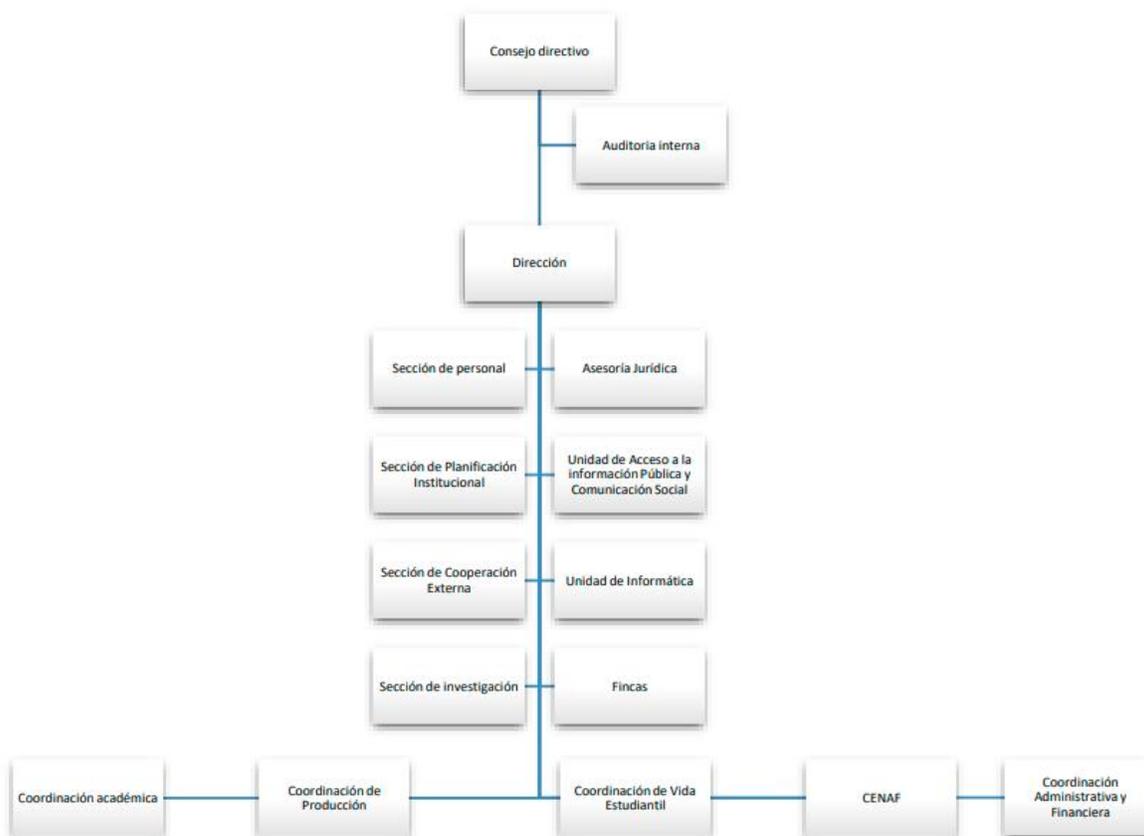
### **Uso de suelos**

La ENCA, cuenta con una extensión territorial de 184 hectáreas (4.116 caballerías), esta extensión está dividida en las áreas de producción agrícola (hortalizas, frutales, ornamentales, pilones, granos básicos), forestal (vivero, bosques de coníferas, áreas experimentales en asocio con INAB), agroindustrial (procesamiento de cárnicos, lácteos, post-cosechas), pecuaria (establos, galpones, apiarios) (Herrera Herrera, 2009) e incluso en la actualidad cuenta con un área experimental en asocio tripartito con el INAB, MASHAV y la Escuela. El área designada a hortalizas tradicionales es de 12.86 ha y para cultivos extensivos y granos básicos de 39.39 ha (Hernández & Reyes, 2005).

### **Estructura interna de la Escuela Nacional Central de Agricultura.**

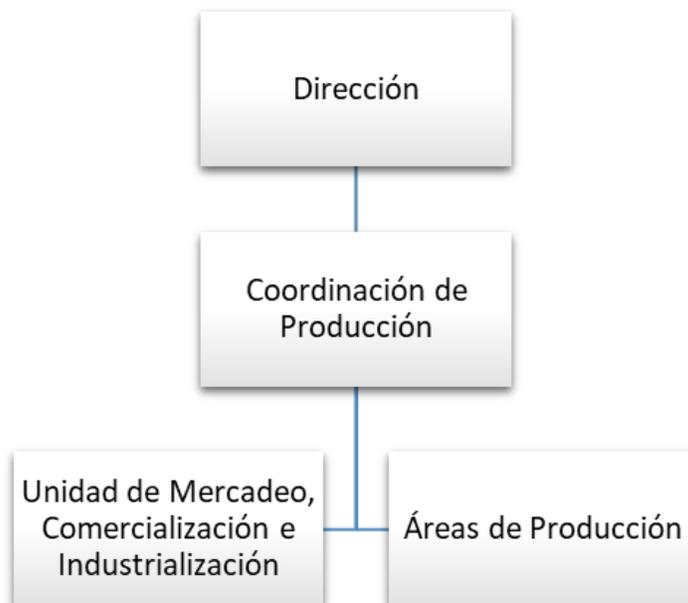
La estructura orgánica de la Escuela Nacional Central de Agricultura tiene a la cabeza al Consejo directivo, seguido de este se encuentra la Dirección de la Escuela y de forma descendente se encuentran las diferentes Secciones, Coordinaciones, Unidades y Áreas. En las figuras 1 y 2 se representan por medio de organigramas, las estructuras tanto de la Escuela en general como de la Coordinación de Producción, respectivamente, según la última actualización brindada por la ENCA (2022).

**Figura 2**  
*Organigrama de Dirección de la Escuela nacional Central de Agricultura*



*Nota.* Adaptado de Escuela Nacional Central de Agricultura. (2022). *Organigrama de la Escuela Nacional Central de Agricultura -ENCA- 2022.*

(<https://www.enca.edu.gt/wp-content/uploads/2023/06/ORGANIGRAMAS-GENERALES-DE-ENCA-2022.pdf>)

**Figura 3****Organigrama estructural de la Coordinación de Producción**

*Nota.* Adaptado de Escuela Nacional Central de Agricultura. (2022). *Organigrama de la Escuela Nacional Central de Agricultura -ENCA- 2022.*

(<https://www.enca.edu.gt/wp-content/uploads/2023/06/ORGANIGRAMAS-GENERALES-DE-ENCA-2022.pdf>)

## OBJETIVOS

**Objetivo general:**

Realizar un diagnóstico de las problemáticas principales que afectan en el área de producción de hortalizas de la Escuela Nacional Central de Agricultura.

**Objetivos específicos:**

- Identificar las problemáticas generales y específicas por cada departamento del área de producción de hortalizas.
- Realizar una ponderación de las problemáticas identificadas, en base a una matriz de priorización de problemas.
- Proponer servicios que ayuden a reducir las problemáticas identificadas en el área de producción de hortalizas.

## METODOLOGÍA

El diagnóstico dio inicio el día 01 de marzo de 2024 con la revisión de la agenda de investigación de la institución (ENCA), en este punto se identificaron los temas de importancia agronómica que se encontraban ausentes y se propusieron en una exposición realizada por los grupos de estudiantes de EPS. Posteriormente se realizó un recorrido por las áreas pertenecientes a la sección de investigación de la escuela, en este se observó el invernadero designado para esta sección y sus respectivos experimentos. También se dio un recorrido por el área administrativa y los estudiantes fueron presentados ante las autoridades del lugar.

El 04 de marzo de 2024 se continuó con el recorrido por las instalaciones, pero esta vez por la coordinación de producción. La primera parada fue en el área forestal, en esta se encontraban experimentos tanto de la escuela como de otras instituciones (INAB), también se pudo observar el área de producción de carbón y la plantación de pino, entre otros. El recorrido continuó en parte del área de frutales de la Escuela, se pudo observar un cultivo de aguacates que presentaban una poda reciente; posteriormente se visitó el área experimental del asocio tripartito entre ENCA-MAGA-MASHAV, en esta se observaron cultivos de hortalizas bajo condiciones protegidas y fue proporcionado un recorrido por parte del personal del MAGA en el cual se explicó el funcionamiento y la tecnología con la que ellos trabajan, especialmente en el riego.

Al continuar con el recorrido, se visitó otra parte del área de frutales, en esta se encontraron cultivos de papaya, aguacate, banano y un cultivo experimental de durazno; luego se visitó el área de hortalizas, esta cuenta con una alta variedad de cultivos ubicados tanto bajo condiciones controladas como a campo abierto.

El 05 de marzo de 2024 se concluyó el recorrido general en la institución visitando el área de procesamiento forestal, posterior a esto se dio la asignación de cada estudiante al área específica en la que llevaría a cabo su EPS y en este caso en particular el estudiante fue asignado a la de producción de hortalizas. Una vez asignado, el estudiante tuvo la primera charla con el ingeniero a cargo, en esta charla se contextualizó

más acerca de la situación y las problemáticas específicas del área de hortalizas y se realizó un diagnóstico visual en ella.

Finalmente, el 06 de marzo de 2024 se realizó un recorrido más profundo en el área de hortalizas, en este recorrido se tomó nota de todos los cultivos producidos y de las prácticas agrícolas implementadas en los mismos. Con ayuda del ingeniero a cargo se identificaron las problemáticas de mayor relevancia, también se realizaron entrevistas al personal de campo para recabar la información necesaria de los diferentes escenarios del área y se procedió a la fase de escritorio para dar inicio a la elaboración del informe.

### **Recursos**

#### ***Materiales:***

- Libreta de campo.
- Bolígrafo.
- Cámara fotográfica.

#### ***Recursos humanos:***

- Ing. Adrián Marroquín (encargado del recorrido).
- Personal administrativo, catedráticos de la Escuela, personal de MASHAV
- Personal del área de hortalizas.

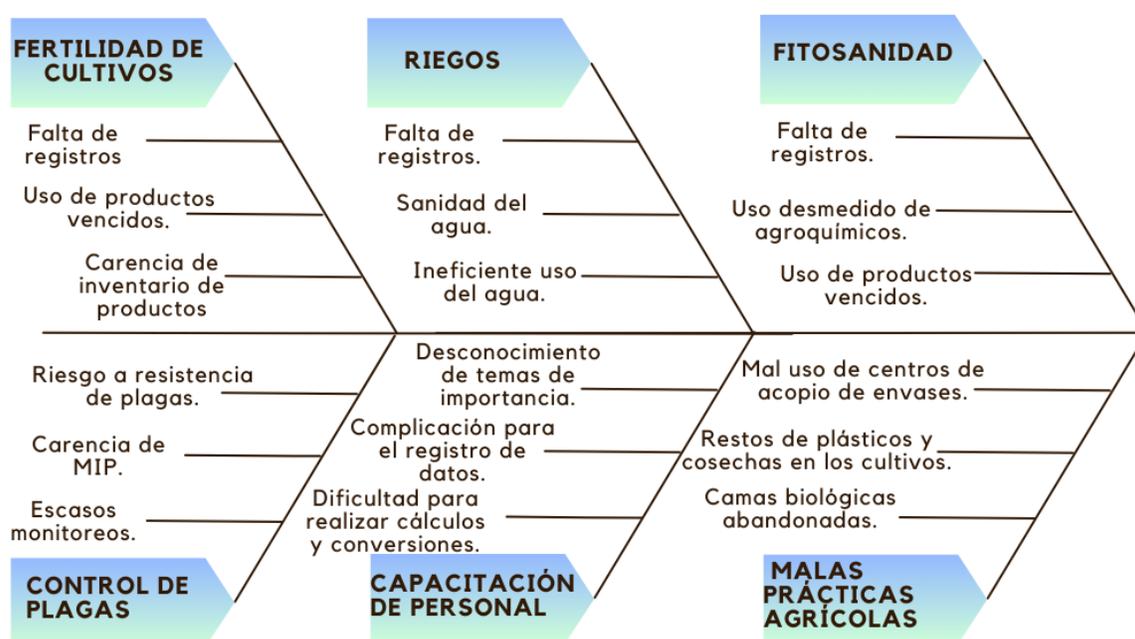
## RESULTADOS

### Diagrama de Ishikawa de las problemáticas identificadas en el área de hortalizas de la ENCA.

Con base en el recorrido realizado y la información recopilada, se identificaron las principales problemáticas presentes en el área de hortalizas. Estas fueron desglosadas junto con sus posibles causas, y para facilitar su interpretación y análisis, se utilizó el método gráfico del diagrama de Ishikawa, el cual se presenta en la Figura 4.

**Figura 4**

*Diagrama de Ishikawa de las problemáticas del área de hortalizas de la ENCA*



*Nota.* Elaborado con Canva.

### Explicación de las problemáticas identificadas.

#### **Fertilidad de Cultivos**

En la fertilidad de cultivos, la principal problemática es la falta de registros, se carece de un inventario de los productos con los que se cuentan y así mismo se carece de un registro de las aplicaciones de fertilizante que se realizan, esto provoca que no se lleve un control de los insumos y se aumenta el riesgo de un exceso o déficit en la nutrición de los cultivos.

### ***Fitosanidad***

En este apartado nuevamente la falta de registros es muy importante, no se cuenta con un historial de las aplicaciones de pesticidas que se realizan y tampoco se cuenta con un inventario de productos, sumado a que no se respetan las dosis recomendadas por los fabricantes, se produce un uso indiscriminado de agroquímicos. Esto tienen un impacto negativo ecológicamente hablando y además, perjudica a la institución al momento de querer certificar los cultivos con los que cuenta.

### ***Riegos***

En cuanto al riego de los cultivos, no existe un registro del tiempo de riego por cultivo, así como tampoco del caudal de riego aplicado, sin estos datos la lámina de riego por cultivo es empírica y puede existir tanto un exceso como una deficiencia en el agua que se proporciona a las plantas. Además, se cuenta con reservorios de agua contaminados, no se proporciona un mantenimiento adecuado a las bombas y tuberías, esto contribuye a que las aplicaciones de riego sean ineficientes y de mala calidad.

### ***Control de plagas***

No existe un manejo integrado de plagas (MIP) para cada cultivo, por ende, no se realizan aplicaciones preventivas y tampoco se planifican rotaciones de ingredientes activos, esto provoca que las plagas adquieran resistencia y su control sea más complicado. Derivado de lo anterior, las aplicaciones de agroquímicos aumentan en cantidad y volumen, a esto sumado que no se respetan las dosis recomendadas de productos por cultivo, se hace un uso indiscriminado de pesticidas y el impacto de estos a nivel ecológico es mayor del que debería.

### ***Capacitación de personal***

Las capacitaciones al personal de campo son poco frecuentes, esto provoca que muchas de las actividades se realicen de forma inadecuada, además que al momento de querer implementar nuevas actividades (Como el registro de datos) sea más dificultoso el proceso de adaptación de los empleados a estas.

### ***Malas prácticas agrícolas***

El uso indiscriminado de agroquímicos, el poco control del riego y la mala calidad del agua, los restos de cosechas y plásticos de cultivos anteriores en las parcelas, el abandono de las camas biológicas y centros de acopio de envases de pesticidas, son

ejemplo de las malas prácticas agrícolas que se tienen en el área de hortalizas y esto tiene un impacto que tanto a nivel ecológico como institucional es muy negativo.

### **Ponderación de las problemáticas.**

Con ayuda de la Matriz de priorización de problemas propuesta por la Agencia de Calidad de la Educación **Fuente especificada no válida.** se asignó una ponderación a cada problemática identificada en el área de hortalizas de la ENCA, con esto se estableció cuáles son las problemáticas prioritarias para realizar los servicios correspondientes el Ejercicio Profesional Supervisado.

Las problemáticas fueron ponderadas en un rango de 1-5, en las categorías de magnitud, gravedad, capacidad y beneficio; posteriormente se realizó la sumatoria de las ponderaciones de cada categoría para obtener el resultado de cuáles son las problemáticas prioritarias a resolver.

El parámetro de ponderación se describe en la Tabla 1 y la Matriz de priorización se encuentra en la Tabla 2.

### **Tabla 1**

*Parámetros establecidos para las ponderaciones de la Matriz de priorización de problemas*

Ponderación	1	2	3	4	5
Parámetro	Nulo	Bajo	Medio	Alto	Muy Alto

**Tabla 2**

*Matriz de priorización de problemas aplicado a las problemáticas identificadas en el área de producción de hortalizas*

Problemática\Criterio	Magnitud ¿Qué porcentaje de la producción afecta?	Gravedad ¿Cuánto afecta a ese porcentaje del área?	Capacidad ¿Qué posibilidad hay de solucionar el problema a corto plazo?	Beneficio ¿Cuánto beneficia a la producción de hortalizas?	Total
Fitosanidad	5	4	5	5	19
Fertilidad de cultivos	5	4	5	5	19
Riegos	5	4	5	5	19
Control de plagas	5	4	4	5	18
Capacitación de personal	3	3	3	3	12
Malas prácticas agrícolas	3	3	3	3	12

Como resultado, se obtuvo que las principales problemáticas son las correspondientes a los apartados de fitosanidad, fertilidad y riego de los cultivos. El patrón que se repite en las tres problemáticas definidas como prioritarias es la falta de registro de datos, ya que de esto se desencadenan los demás aspectos que afectan dichos apartados.

## **CONCLUSIONES**

De forma general se encontraron distintas problemáticas, entre las que destacan las malas prácticas agrícolas, uso ineficiente de agua, mal manejo de desechos, falta de personal y capacitación del mismo, entre otros. De forma específica se encontró la falta de registros por departamento, el uso desmedido de insumos y la falta de planificación en las aplicaciones, por mencionar algunos ejemplos.

Se determinó con ayuda de la Matriz de priorización de problemas que las problemáticas más importantes se encuentran en los apartados de fertilidad, fitosanidad y riego de los cultivos, en estos apartados el principal factor es la falta de registro de datos ya que de esto se desencadenan lo demás, por lo que fueron la falta de estos registros las problemáticas identificadas como prioritarias en el área de hortalizas.

Los temas de servicios propuestos son tres, esto se determinó considerando el impacto de las problemáticas en el área de hortalizas y la factibilidad de resolverlas durante el tiempo del EPS. Los servicios entonces se proponen como el establecimiento y manejo de registros de datos para fertilidad, fitosanidad y riegos de los cultivos, destinando un servicio para cada registro a realizar.

## **RECOMENDACIONES**

Se debe de establecer personal específico para la toma y registro de datos en el área de producción, ya que esto además de contribuir a un mejor manejo de recursos es fundamental al momento de aspirar a certificaciones para los cultivos.

Con ayuda del registro de datos de aplicaciones tanto de fertilidad como de fitosanidad, se deben de buscar alternativas para regular el uso de insumos químicos que tienen un impacto ecológicamente negativo, además de llevar un mejor control de los productos con los que se cuentan y las compras que se realizan para optimizar recursos y evitar que los productos caduquen.

Aumentar las capacitaciones al personal de campo, esto es necesario para que se realicen prácticas más adecuadas, se optimice el uso de recursos y se minimicen las problemáticas en el área productiva.

## **Planteamiento de servicios para mitigar las problemáticas identificadas**

En base a los resultados obtenidos en la Matriz de Priorización de problemas, se propusieron tres servicios, estos consisten en establecer y controlar los registros de las aplicaciones de riego, fertilizantes y productos fitosanitarios diarios en los cultivos.

De forma ordenada las propuestas de servicio se presentan en la Tabla 3.

### **Tabla 3**

*Propuestas de servicios a realizar durante el EPS en el periodo de marzo a octubre de 2024*

No.	Propuestas de Servicios
1	Establecimiento y control de registro de las aplicaciones de fertilizante por cultivo.
2	Establecimiento y control de registro de las aplicaciones de plaguicida por cultivo.
3	Establecimiento y control de registro del riego aplicado a los lotes por cultivo.

Los registros de datos, además de ser fundamentales para la administración de recursos son indispensables para la búsqueda de certificaciones en los cultivos, tanto a nivel nacional como internacional y, en el contexto actual de la ENCA la certificación de los cultivos y sus productos es una prioridad, lo que le suma valor a estas actividades.

Además de esto, respecto a las plagas y enfermedades que afectan los cultivos se ve una oportunidad para realizar la investigación y mitigar los daños provocados por estos de una forma más eficiente, utilizando productos biológicos o alternativos a los que convencionalmente se aplican en el área para disminuir el uso de productos químicos y el impacto ecológico negativo que estos producen.

## **REFERENCIAS**

Escuela Nacional Central de Agricultura . (2024). *Información Pública ENCA*. Obtenido

de Información Pública ENCA: [https://www.enca.edu.gt/?page\\_id=4904](https://www.enca.edu.gt/?page_id=4904)

- International Organization for Standardization (ISO). (15 de 09 de 2015). *Norma Internacional ISO 9001:2015*. Obtenido de Norma Internacional ISO 9001:2015: [https://sgc.inab.gob.gt/consultas/images/estrategicos/e2-gestion-de-calidad/normativa/Norma\\_ISO\\_9001-2015pdf.pdf](https://sgc.inab.gob.gt/consultas/images/estrategicos/e2-gestion-de-calidad/normativa/Norma_ISO_9001-2015pdf.pdf)
- Escuela Nacional Central de Agricultura. (2022). *Organigrama de la Escuela Nacional Central de Agricultura -ENCA- 2022*. <https://www.enca.edu.gt/wp-content/uploads/2023/06/ORGANIGRAMAS-GENERALES-DE-ENCA-2022.pdf>
- Hernández, B., & Reyes, E. (2005). *Al conferírseles el Título de Arquitecta Guatemala, Marzo de 2,005*.
- Herrera Herrera, W. G. (2009). *Evaluación de aspersiones foliares de extractos orgánicos (equinaza y vermicompost), en el rendimiento del cultivo de lechuga (Lactuca sativa L.) y servicios desarrollados en la Escuela Nacional Central de Agricultura –ENCA-, Bárcenas, Villa Nueva, Guatemala*. [Other, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10490/>

## APÉNDICE DE FIGURAS

**Figura 5A**

*Cultivo de frijol ejotero infestado por mosca blanca Bemisia tabaci*



**Figura 6A**

*Cultivo de frijol ejotero afectado por el BGMC*



**Figura 7A**

*Visita al área designada al asocio tripartito entre ENCA-MAGA-MASAHV*

**Figura 8A**

*Producción de pilones de hortalizas*



**Figura 9A**

*Sistema de fertirriego presurizado en el área experimental de MASHAV*

**Figura 10A**

*Carbonera perteneciente al área forestal de la ENCA*



**Figura 11A**

*Plantación de *musa paradisiaca* contaminada por restos vegetales y plásticos*

**Figura 12A**

*Plantación de *Carica papaya* contaminada con restos vegetales y plásticos*



**Figura 13A**  
*Reservorio de agua contaminado*



**Figura 14A**  
*Área de hortalizas contaminada por plásticos, restos vegetales y malezas*



**Figura 15A**  
*Invernadero designado a la sección de investigación*



**Figura 16A**  
*Interior del invernadero designado a la sección de investigación*



**Figura 17A**

*Plantación experimental de Prunus persica contaminada por plástico y restos vegetales*



**Figura 18A**

*Cultivo de tomate Solanum lycopersicum L. infectado por Alternaria solani*

**Figura 19A**

*Cultivo de tomate Solanum lycopersicum L. con incidencia de mosca blanca Bemisia tabaci*



**Figura 20A**

*Centro de acopio de envases de pesticidas del área de hortalizas*

**Figura 21A**

*Huerto medicinal establecido en el área de hortalizas de la ENCA*



**Figura 22A**

*Abonera destinada a los desperdicios del área de hortalizas de la ENCA*

**Figura 23A**

*Cama biológica establecida en el área de producción de hortalizas*



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES



**EVALUACIÓN COMPARATIVA ENTRE EL ÁCIDO SALICÍLICO COMO INDUCTOR DE RESISTENCIA SISTÉMICA ADQUIRIDA Y PRODUCTOS QUÍMICOS COMERCIALES, EN LA REDUCCIÓN DEL DAÑO DE *Alternaria solani* EN TOMATE *Solanum lycopersicum* L. EN LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA, BÁRCENAS, VILLA NUEVA, GUATEMALA**

**GERARDO MARCO TULIO LÓPEZ FUENTES**

**GUATEMALA, AGOSTO DE 2025**

## RESUMEN

*Alternaria solani* es uno de los principales patógenos que afectan al tomate cultivado *Solanum lycopersicum L.*, capaz de causar pérdidas de hasta el 80 % en la producción. El ácido salicílico es una fitohormona involucrada en diversos procesos fisiológicos de las plantas, entre ellos la inducción de la resistencia sistémica adquirida (RSA). Esta hormona activa mecanismos de defensa en zonas no infectadas de la planta, incrementando su capacidad para resistir patógenos.

El ácido salicílico puede aplicarse de diferentes formas, incluyendo aplicación foliar, al suelo o sustrato e incluso en tratamiento de semillas antes de su germinación. En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación foliar de ácido salicílico como inductor de RSA en plantas de tomate, con el objetivo de reducir el daño causado por *Alternaria solani*. Se probaron tres concentraciones diferentes de ácido salicílico durante los primeros 28 días después de trasplante, y se compararon sus efectos con tres fungicidas comerciales de acción sistémica y un testigo absoluto.

Para evaluar la reducción del daño, se midieron los porcentajes de severidad e incidencia del patógeno en las unidades experimentales. Los resultados indicaron que la concentración de  $10^{-5}$  M de ácido salicílico redujo significativamente la severidad del daño causado por *Alternaria solani* en la variedad de tomate Retana F1. Además, no se encontraron diferencias significativas en incidencia ni severidad entre los tratamientos con ácido salicílico y los fungicidas comerciales.

**Palabras clave:** Ácido salicílico, *Alternaria solani*, resistencia sistémica adquirida, fitohormona.

## INTRODUCCIÓN

El tomate es la hortaliza de mayor importancia a nivel mundial en la actualidad (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], 2014) y para Guatemala es de gran relevancia debido a su alta demanda y producción, esta última ha ido en aumento hasta llegar al punto de satisfacer la demanda interna del país e incluso exportar a países vecinos (Solís & Pinto, 2020). La producción del país se encuentra distribuida en un 72.1 % en siete departamentos, uno de ellos es el departamento de Guatemala con el 7 % (Solís & Pinto, 2020). La ENCA, ubicada en Bárcena, Villa Nueva, cuenta con un área productora de hortalizas en la que la más producida es el tomate y para el año 2023 registró una producción de 148,916 libras (de León, 2024). Además, la importancia de este cultivo no solo consiste en su comercialización, sino también involucra la alimentación interna de estudiantes y trabajadores de la institución.

Las plantas de tomate son susceptibles al ataque de distintas plagas y enfermedades, la mayor parte de las enfermedades que lo atacan son causadas por agentes fúngicos (Quijano & Dubon, 2002) y entre estos, *Alternaria solani*, es muy importante ya que puede llegar a provocar hasta un 80 % de pérdidas en el rendimiento de la producción. Las aplicaciones de fungicidas químicos, además de aumentar los costos de producción, generan un impacto negativo en el medio ambiente.

Por lo que surge la necesidad de encontrar alternativas para controlar las enfermedades sin perjudicar la producción, pero reduciendo los impactos negativos que las aplicaciones de estos productos generan. Una alternativa para mitigar estas problemáticas es el aprovechamiento de la resistencia sistémica adquirida de las plantas, esta resistencia es un mecanismo de defensa que tras el ataque de un patógeno produce moléculas de señales que activan las defensas de la planta en zonas no infectadas, de forma similar al modo de acción de las vacunas (García, 2002). Una de estas moléculas de señal es el ácido salicílico y este puede ser inducido a la planta tras una aplicación exógena del mismo, para activar la RSA previo al ataque de los patógenos (Khan et al., 2010).

Esta investigación, plantea evaluar el efecto del ácido salicílico de forma aislada en un cultivo de tomate, variedad Retana F1, como un activador de la resistencia

sistémica adquirida contra el ataque del tizón temprano *Alternaria solani*, para implementarlo en el manejo integrado de fitosanidad del mismo.

## DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El tomate es actualmente la hortaliza de mayor importancia a nivel mundial (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación [MAGA], 2014) y en Guatemala, su producción ha ido en aumento al punto de abastecer la demanda interna del país y exportar a países como Estados Unidos y El Salvador (Solís & Pinto, 2020). Solís & Pinto (2020) también mencionan que la distribución del 72.1 % de superficie de tomate cosechada en el país se concentra en 7 departamentos, uno de ellos es Guatemala con el 7.1 %. La ENCA, ubicada en el municipio de Villa Nueva, Guatemala, cuenta con una extensión de 4 caballerías (Hernández & Reyes, 2005) y dentro de ella cuenta con un área de producción de hortalizas entre las que destaca el tomate (Herrera, 2009).

Sin embargo, entre los factores que disminuyen el rendimiento del cultivo de tomate y aumentan los costos de producción se encuentran las enfermedades, como el tizón temprano provocado por el patógeno *Alternaria solani* (Castro et al., 2002). El tizón temprano (*Alternaria solani*) puede afectar las plantas de tomate durante cualquier época del año, sin embargo, lo hace con mayor relevancia durante la época lluviosa (Ayala et al., 2016).

El ácido salicílico es una hormona que está relacionada con la activación de la resistencia sistémica adquirida (RSA) en las plantas, este tipo de resistencia consiste en la producción de señales móviles en la planta que activan mecanismos de resistencia en tejidos no infectados de la misma (Pineda et al., 2010). García (2002) realizó una investigación en Universidad Zamorano, en la que comparó el efecto del ácido salicílico de forma individual, contra el efecto de otros activadores de RSA e insecticidas convencionales como *imidacloprid* y *bifentrina*, y, no se encontraron diferencias significativas tanto en incidencia como en severidad de daño de los patógenos evaluados.

Por lo que se plantea la evaluación del efecto del ácido salicílico como método de control del patógeno fúngico *Alternaria solani*, comparado con métodos de control químico del mismo, durante la época lluviosa, que según él (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala [INSIVUMEH], 2023) en el altiplano central esta dio inicio a finales de abril e de mayo en el año anterior.

El estudio realizado por (García & Pire, 2008) determinó que la madurez fisiológica en las plantas de tomate para cinco cultivares se presentó entre los 61 y 71 días después de trasplante, si bien esto puede variar dependiendo de la variedad y las condiciones en que se encuentren, este dato sirve como referencia para conocer el ciclo fenológico de las plantas y estimar el tiempo para la investigación. Sumado a esto, (Paz et al., 2013) determinó que *Alternaria solani* en tomate, presenta sus primeros síntomas antes de los 30 días después de trasplante, mayormente entre los 14 y 21 días, por lo que se determinó para la investigación un periodo de tres meses, correspondientes a los meses de mayo a julio del 2024.

## JUSTIFICACIÓN

*Alternaria solani* cuenta con una alta capacidad de supervivencia, por lo que puede afectar a sus hospederos tanto en la época seca como lluviosa y provocar pérdidas de hasta un 80 % en el rendimiento de los cultivos (Castro et al., 2002). Según, (Quiroga et al., 2007) el 60 % de los fungicidas que se utilizan en el la producción de tomate, son para contrarrestar el ataque de *Alternaria solani*, lo que contribuye al uso indiscriminado de agroquímicos en las plantaciones; esto significa un aumento en los costos de producción y en el impacto ecológico por la aplicación de los productos.

En la ENCA una extensión de aproximadamente 9 manzanas se destina a la producción de hortalizas, estas se distribuyen en 17 cultivos y, es el cultivo de tomate el que mayor extensión posee con 11830 m<sup>2</sup> (Herrera, 2009). Es de mencionar, que la importancia de la producción de tomate en la Escuela radica en que este es utilizado tanto para la alimentación de estudiantes y trabajadores, como para su comercialización (Herrera, 2009). Para el año 2023 la producción esperada de tomate fue de 140,000 libras (Figura 17) y esta fue superada en un 106.37 % (de León, 2024), dicho dato suena alentador, sin embargo, el uso de productos químicos sintéticos para el manejo de enfermedades en este cultivo es proporcional al rendimiento obtenido y tomando en cuenta lo que las aplicaciones de estos productos implican, es necesario buscar alternativas para reducir uso, sin afectar la producción y los rendimientos del área.

## MARCO TEÓRICO

### Marco conceptual

#### ***Clasificación taxonómica del tomate***

(Shukla et al., 2013) El tomate fue clasificado por Linneo, en 1753 en el género *Solanum*, confiriéndole el nombre de *Solanum lycopersicum L.* su clasificación detallada es la siguiente:

Reino: Plantae

Phylum: Angiosperma

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

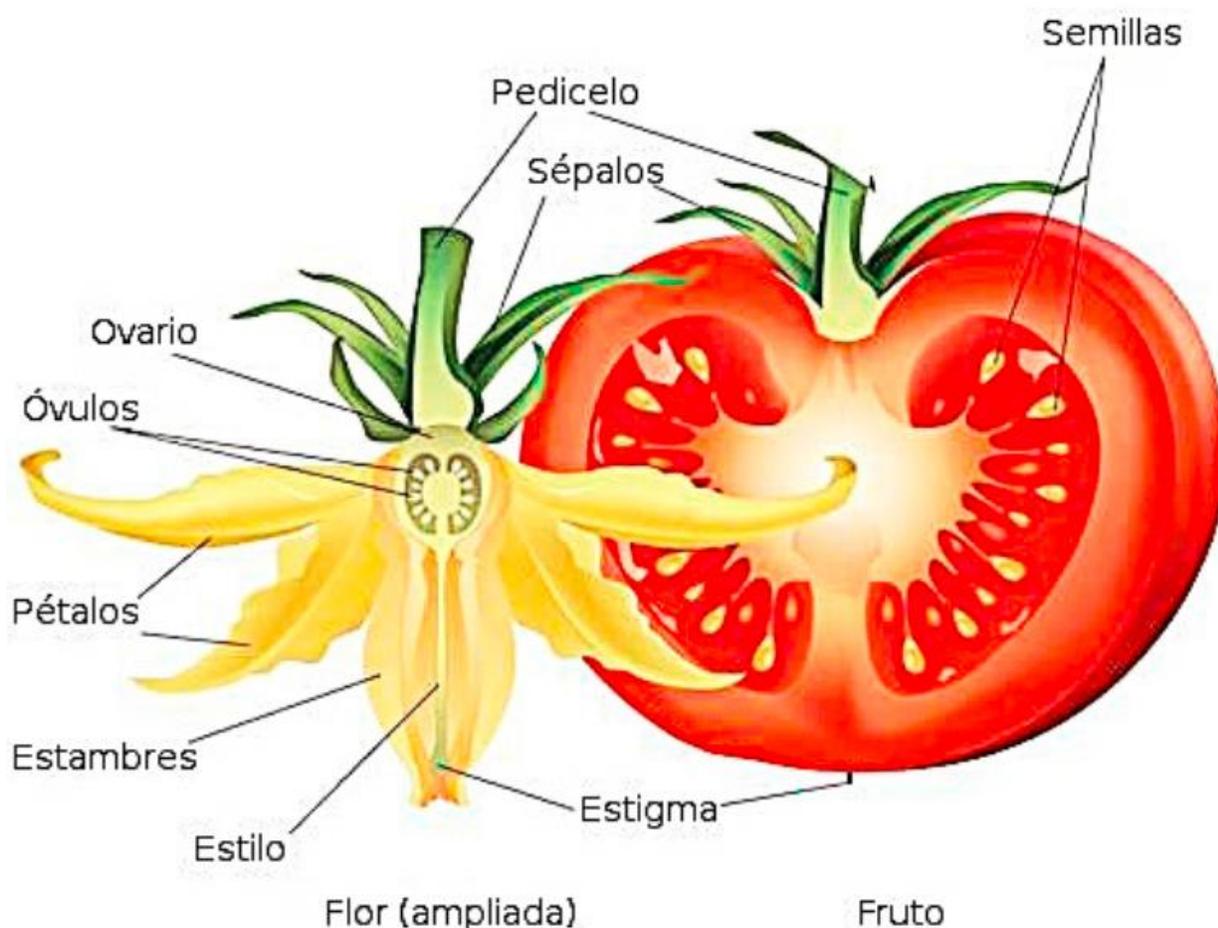
Especie: *Lycopersicum*

#### ***Anatomía y Morfología***

*Solanum lycopersicum L.* es una planta dicotiledónea, su raíz es principalmente pivotante cuando se reproduce de forma sexual y fibrosa cuando se reproduce de forma asexual; su tallo es de textura suave y está cubierto por tricomas, además este puede presentar raíces adventicias (Quezada, s. f.).

(Saavedra et al., 2019) describe que su crecimiento puede ser determinado o indeterminado, sus hojas son compuestas y se encuentran en filotaxia alterna, además su parénquima de empalizada es rico en cloroplastos y está cubierto por una epidermis inferior y superior que carece de ellos *S. lycopersicum* cuenta con flores perfectas, que pueden tener 5 o más sépalos e igual cantidad de pétalos y estambres, estas se agrupan en inflorescencias de hasta 50 flores y su fruto es una baya que puede tener dos o más lóculos, las anteras se encuentran a una mayor longitud que el estigma, esto contribuye a su autopolinización, el color del fruto es predominantemente rojo por la presencia de carotenoides licopenos y sus semillas se encuentran cubiertas con material gelatinoso (Figura 24).

**Figura 24**  
Partes de la flor y frutos de *Solanum lycopersicum* L



Nota. Adaptado de Saavedra G., Jana C., Kehr E. (2019) *Hortalizas para procesamiento agroindustrial* (<https://biblioteca.inia.cl/items/76789844-e641-4d08-bbc4-72f852b23132>).

### **Requerimientos y fenología de la planta**

La temperatura óptima para la germinación de las semillas ronda los 20 y 30°C, una humedad relativa del 60 % es considerada óptima para el crecimiento de tomate en cualquiera de sus etapas fenológicas, en cuanto a luz se refiere necesita de una integral de luz diaria de entre 15 y 30 mol/m<sup>2</sup>/día (Quezada, s. f.)

Según (García & Pire, 2008) el tiempo promedio en días después de trasplante para llegar a la floración en las plantas de tomate va de 25 a 32 y hasta

llegar a la madurez fisiológica entre 61 a 71 días. Cabe mencionar que esto puede variar dependiendo de la variedad.

### **Plagas y enfermedades**

El tomate durante todo su ciclo fenológico, se ve perjudicado por ataques de insectos y enfermedades, entre los insectos que lo afectan destacan la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) distintos hemípteros, larvas como *Spodoptera spp*, entre otros. Por otra parte, entre las enfermedades que afectan a esta hortaliza, se encuentran *Alternaria solani*, *Phytophthora infestans*, *Ralstonia solanacearum*, *Erwinia spp*, los virus *ToMV*, *TMV*, *TSWV*, entre otros. (García, 2002)

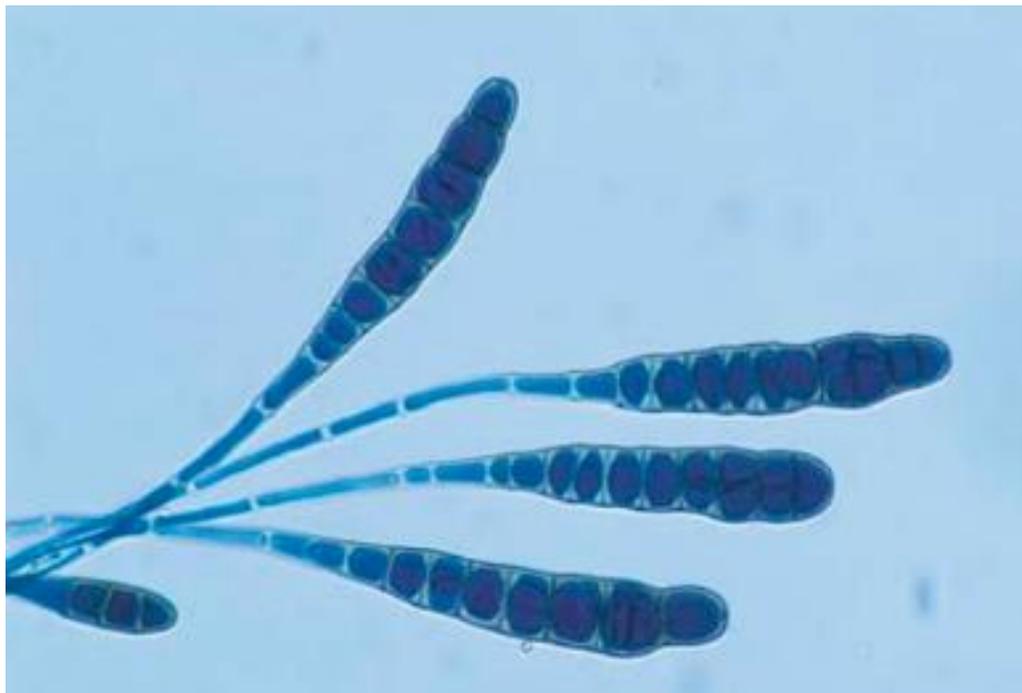
Las distintas enfermedades a las que se enfrenta la producción de tomate pueden ser provocadas por bacterias, virus y hongos; estos últimos son considerados los más abundantes y entre ellos, *Alternaria solani*, provoca la enfermedad del tizón temprano, que puede reducir hasta en un 80% el rendimiento la producción. (Quijano & Dubon, 2002)

### **Alternaria solani**

**Taxonomía.** La enfermedad conocida como tizón temprano, que afecta las plantas de tomate, papa y berenjena, por mencionar algunos ejemplos, es causada por un hongo fitopatógeno cuya clasificación taxonómica según (Spletzer & Enyedi, 1999) es la siguiente:

- Subdivisión: Deuteromycotina
- Clase: Hyphomycetes
- Orden: Hyphales
- Género: Alternaria
- Especie: Solani

**Anatomía.** Sus conidios son alargados, en forma de pera, con “cortes” transversales y longitudinales (Agrios, 2005). En cuanto al micelio del hongo, este es “tabicado y ramificado” y conforme el pasar del tiempo se oscurece, los conidióforos que se presentan en el tejido infectado son cortos y también de coloración oscura (Quijano & Dubon, 2002).

**Figura 25***Conidios de Alternaria spp.*

*Nota.* Adaptado de Agrios G. (2005) *Plant Pathology*  
 (<https://drive.google.com/file/d/15aH1KEgsMcdX3GuPjGfYrX74Zqkxhay/view>).

**Síntomas y signos.** Una de las características de *Alternaria solani* es que sus síntomas se presentan tanto en hojas, tallos y frutos.

Los síntomas iniciales de *Alternaria solani* en el follaje, se presentan en las hojas “bajeras” o senescentes de la planta y son manchas pequeñas de color entre café y negro, en su contorno presentan un halo amarillo y en su interior anillos concéntricos que asemejan una “tabla de tiro al blanco”. (Molina, 2010)

Los tallos de las plantas presentan lesiones alargadas de color negro, con anillos concéntricos en su interior, mientras que los frutos presentan lesiones deprimidas cubiertas por una alta densidad de esporas, principalmente en la región del pedúnculo (Tandazo et al., 2018).

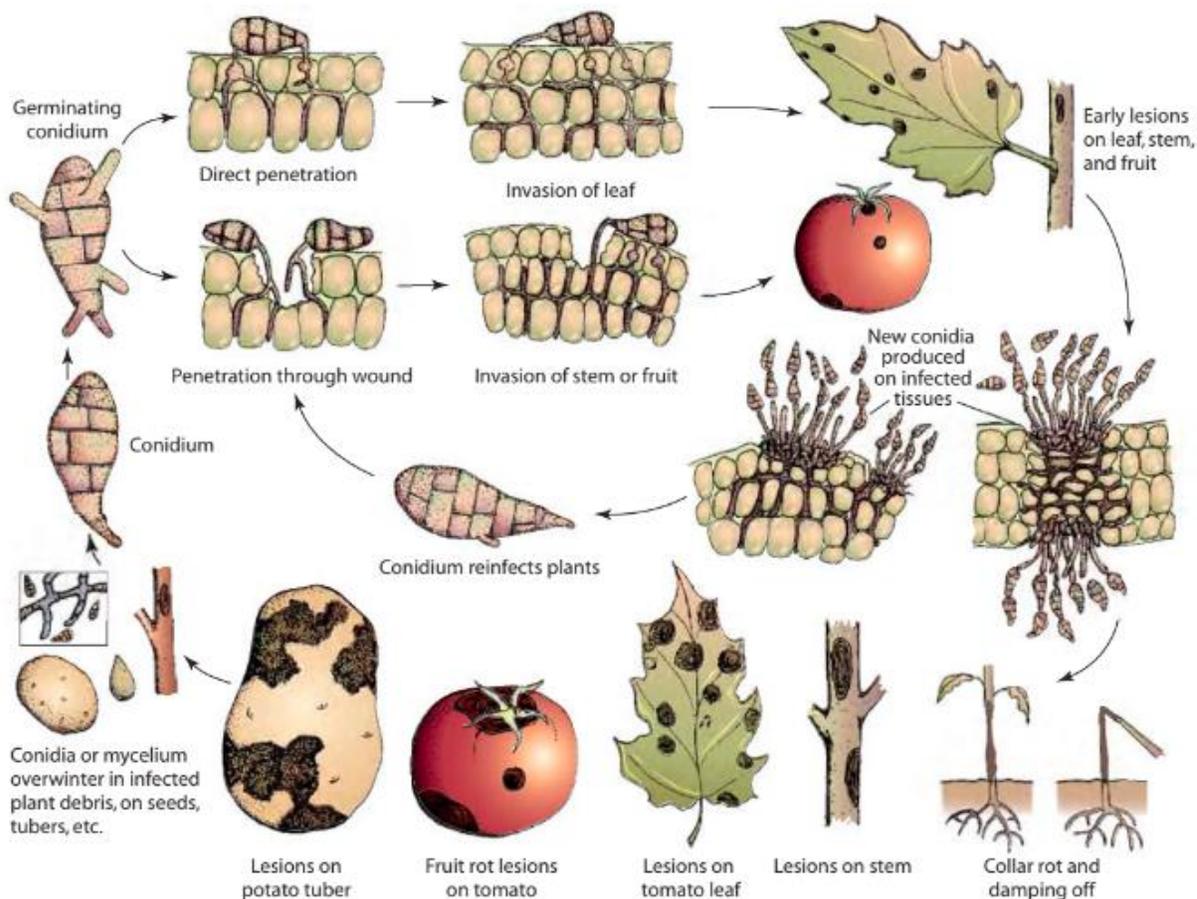
Cuando la infección es avanzada, el tejido tiende a contraerse y rodearse por una cubierta vellosa de esporas y, cuando se presenta un pequeño signo en la superficie del tejido este puede representar una extensa pudrición en la planta (Quijano & Dubon, 2002).

**Ciclo del patógeno.** *A. solani* tiene la capacidad de invernarse y sobrevivir tanto como micelio o conidias en restos de cosechas hasta por más de un año, el tiempo de germinación de las conidias al entrar en contacto con el agua va de una a dos horas, a una temperatura de 6 a 34°C. Cuando las condiciones son óptimas (28-30°C) el tiempo de germinación disminuye hasta 35 a 45 minutos. (Quijano & Dubon, 2002).

Posteriormente se da la incubación del hongo en la planta, cuando este penetra de forma directa la cutícula de la misma o a través de heridas físicas que esta pueda tener (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 1990).

Una vez incubado el patógeno dentro de la planta, este genera más conidios que son nuevamente dispersados por el viento o la lluvia, cabe mencionar que este patógeno también puede dispersarse por medio de semillas, aunque de manera menos frecuente, atacando a la plántula luego de la emergencia y provocando el conocido “damping-off” (Agrios, 2005). En la Figura 26 se ejemplifica a detalle el ciclo de vida de *Alternaria* y los síntomas que estos patógenos producen.

**Figura 26**  
Ciclo de vida y síntomas causados por *Alternaria*



*Nota.* Adaptado de Agrios G. (2005) *Plant Pathology*  
(<https://drive.google.com/file/d/15aH1KEgsMcdX3GuPjGfYrX74Zqkxhay/view>).

**Importancia económica.** El tizón temprano es una enfermedad de importancia económica a nivel mundial y el área de Centroamérica no es la excepción, esto debido a que disminuye la producción, aumenta los costos debido a su control y posee una alta diseminación (Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza [CATIE], 1990). Según (Quiroga et al., 2007) en el cultivo de tomate, el 60% de los costos de producción se destinan a la compra de fungicidas, para controlar el tizón causado por *Alternaria solani*.

**Resistencia Sistémica Adquirida (RSA).** Dentro de su evolución, las plantas han desarrollado distintos mecanismos de defensa ante el ataque de microorganismos o diferentes condiciones en las que se ven amenazadas, una de

ellas es la resistencia sistémica adquirida (*RSA*), esta puede ser inducida a la planta por los genes de diferentes patógenos o ya sea por compuestos químicos denominados “inductores”. (Esmailzadeh et al., 2008)

Cuando la planta es atacada por un agente externo, su respuesta es generar una necrosis en el área afectada y con esto bloquear el desarrollo del patógeno, posteriormente genera una molécula de activación de los sistemas de defensa en las zonas no infectadas de la planta, este mecanismo de acción es el conocido como resistencia sistémica adquirida. (García, 2002)

Las principales respuestas generadas por la *RSA* en tejidos no infectados son la síntesis de proteínas *PR* (Pathogenesis Related), quitinasas, inhibidores de amilasa, proteinasas y otras enzimas; sin embargo, estos mecanismos de defensa también pueden inducirse en la planta tras la aplicación exógena de ácido salicílico. Cabe mencionar que, se ha observado que la *RSA* se desplaza en la planta en sentido apical, en base a esto se infiere que las señales para que esta se exprese se traslocan a través de la planta (Camarena, 2007).

**Ácido salicílico.** Las plantas sintetizan distintos compuestos fenólicos, el ácido salicílico es uno de ellos y este se ve involucrado en distintos procesos dentro de las mismas, entre estos destacan la formación y germinación de semillas, respiración y crecimiento celular, cierre de estomas, además es de mucha importancia en la regulación de la termogénesis y la resistencia a patógenos. La función del ácido salicílico en la *RSA* se observa de forma más clara en plantas dicotiledóneas. (Vlot et al., 2009)

El AS es una fitohormona que influencia de forma importante el crecimiento y la tolerancia al estrés tanto biótico como abiótico de las plantas, este participa en las señales de activación de defensa contra patógenos. Cabe mencionar que las aplicaciones exógenas de ácido salicílico, además de inducir tolerancia en las plantas, aumentan las concentraciones de nutrientes como N, P, K, enzimas antioxidantes y otros metabolitos. (Khan et al., 2010)

(Delaney et al., 1994) en su investigación en plantas transgénicas de tabaco que integraban el gen de la salicilato hidroxilasa bacteriana (nahG) demostraron que sin la acumulación de AS en la planta, esta es incapaz de presentar el mecanismo de RSA.

En la universidad Zamorano se llevó a cabo una investigación en la que se evaluó el efecto del ácido salicílico y otros activadores de la RSA en plantas de tomate, comparándolo con el efecto de un control químico, en estos tratamientos no se encontraron diferencias estadísticas significativas en distintas variables, entre las que destacan incidencia y severidad; además fue el ácido salicílico el tratamiento que obtuvo mejores resultados en las distintas variables evaluadas y en el análisis económico, respecto a los demás activadores. (García, 2002)

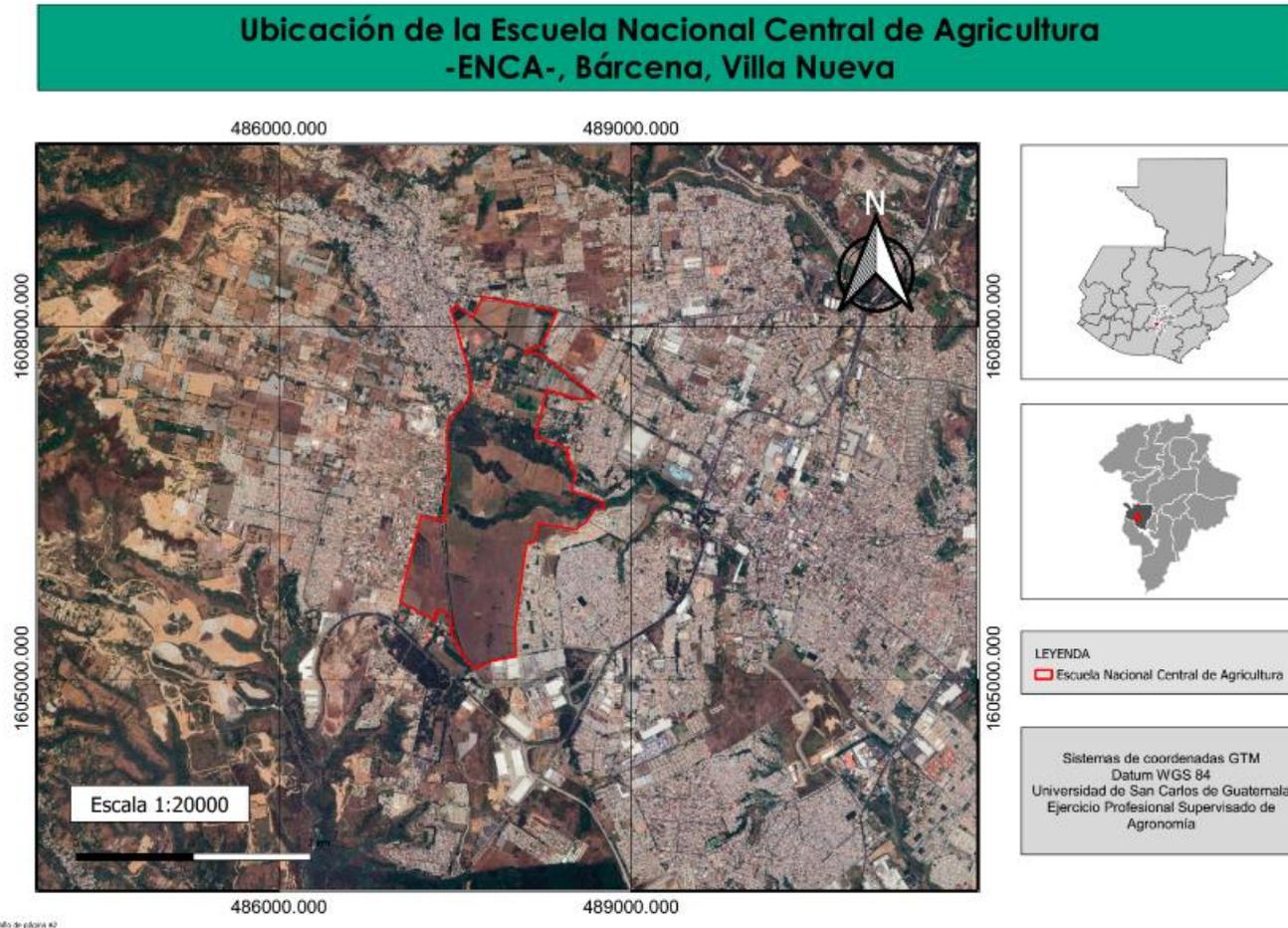
En cuanto a la aplicación exógena del AS, el estudio llevado a cabo por (Guzmán et al., 2014) demuestra que, las concentraciones de AS en la planta de tomate alcanzan su máxima concentración tras 24 horas después del estímulo provocado por un patógeno y recomienda que las aplicaciones exógenas de dicha hormona se realicen con un intervalo de ocho días.

## **Marco referencial**

### ***Ubicación geográfica y vías de acceso***

La Escuela Nacional Central de Agricultura se ubica en la finca Bárcena, sobre el kilómetro 17.5 del municipio de Villa Nueva, Guatemala, Guatemala (Escuela Nacional Central de Agricultura [ENCA] , 2024) como se puede apreciar en la Figura 27. Sus coordenadas geográficas se encuentran entre los 14°31'15" y 14°32'18" latitud Norte; y los 90°38'35" de longitud Oeste, a una altitud de 1400 m s.n.m. (Hernández & Reyes, 2005).

**Figura 27**  
*Mapa de ubicación de la Escuela Nacional Central de Agricultura*



Nota. Realizado con Qgis.

Entre sus diferentes vías de acceso, se encuentra la carretera asfaltada que conecta con la CA-4 y la interconexión Bárcenas-Antigua Guatemala. Situada a 3 km de la cabecera municipal de Villa Nueva y a 17.5 km de la ciudad capital, su localización le permite tener acceso directo a las zonas de producción agrícola que se sitúan en el altiplano central, además de las principales zonas de mayoreo de la ciudad (Herrera, 2009).

### ***Características climáticas***

El clima en el área de la ENCA está determinado como templado, con una precipitación pluvial anual que oscila los 760 a 1130 mm, su zona de vida según la clasificación de Holdrige corresponde a “bosque subtropical templado” y la temperatura media anual se encuentra entre los 14 y 16 °C (Herrera, 2009).

### ***Tipo de suelo***

Para conocer el tipo de suelos específico del área asignada para la investigación, se realizó un muestreo para análisis en laboratorio de este. Los resultados del análisis revelaron que el tiempo de suelo del megatunel es franco arcilloso arenoso, con un pH y una CIC óptimos, un porcentaje de materia orgánica un poco bajo y un exceso en elementos como Fe, Mn, Zn, y P. Los resultados del análisis se presentan en la Figura 28.

Figura 28

Análisis químico del suelo del área delimitada para la investigación, megatunel 3, área de producción de la ENCA.



***Uso de suelos***

La ENCA, cuenta con una extensión territorial de 184 hectáreas (4.116 caballerías), esta extensión está dividida en las áreas de producción agrícola (hortalizas, frutales, ornamentales, pilones, granos básicos), forestal (vivero, bosques de coníferas, áreas experimentales en asocio con INAB), agroindustrial (procesamiento de cárnicos, lácteos, post-cosechas), pecuaria (establos, galpones, apiarios) (Herrera, 2009) e incluso en la actualidad cuenta con un área experimental en asocio tripartito con el INAB, MASHAV y la Escuela.

El área designada a hortalizas tradicionales es de 12.86 ha y para cultivos extensivos y granos básicos de 39.39 ha (Hernández & Reyes, 2005)

## HIPÓTESIS

La aplicación exógena del ácido salicílico reduce la incidencia y severidad del daño que causa el tizón temprano *Alternaria solani* en tomate *Solanum lycopersicum L.*

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Evaluar el efecto del ácido salicílico como método de control preventivo del ataque del tizón temprano *Alternaria solani* en tomate *Solanum lycopersicum L.*

### Objetivos específicos

- Analizar la incidencia y severidad del ataque de *Alternaria solani* en tomate *Solanum lycopersicum L.* tras las diferentes aplicaciones de ácido salicílico.
- Evaluar el área bajo la curva del progreso de la enfermedad en los distintos tratamientos.
- Comparar el efecto del ácido salicílico y el control químico, contra el ataque del tizón temprano *Alternaria solani* en tomate *Solanum lycopersicum L.* variedad *Retana F1*.

## METODOLOGÍA

### Metodología experimental

#### Modelo estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Siendo:

- $Y_{ijk}$ = Incidencia y porcentaje de severidad/planta del i-ésimo tratamiento.
- $\mu$ =Media general de la incidencia y porcentaje de severidad/planta.
- $\tau_i$ = efecto de la i-ésimo método de control.
- $\varepsilon_{ij}$ = error asociado a la ij-ésima unidad experimental.

#### Factor o factores

- Método de control del patógeno *Alternaria solani*.

#### Niveles

- *Nativo (Trifloxystrobin y Tebuconazol)*
- *Bellis (Boscalid y Pyraclostrobin)*
- *Amistar (Azoxystrobin)*
- *Ácido salicílico*

#### Supuestos

- Los errores son independientes.
- Los errores se encuentran normalmente distribuidos
- Existe homogeneidad de varianzas.

### **Tratamientos**

En la Tabla 4 se presentan los tratamientos a evaluar en la investigación, con el código de identificación y los ingredientes activos correspondientes a cada uno.

**Tabla 4**

*Descripción de los tratamientos y su código correspondiente*

<b>CÓDIGO</b>	<b>TRATAMIENTO</b>
TT	Testigo
T1	Ácido salicílico a $10^{-5}$ M
T2	Ácido salicílico a $10^{-6}$ M
T3	Ácido salicílico a $10^{-7}$ M
T4	Tebuconazole y Trifloxystrobin
T5	Boscalid y Pyraclostrobin
T6	Azoxistrobin

### **Hipótesis estadística**

**Hipótesis alterna.** Al menos el efecto de uno de los tratamientos presenta una diferencia significativa respecto al resto, en la reducción de las variables de incidencia y porcentaje de severidad/planta.

**Hipótesis nula.** Ninguno de los tratamientos presenta diferencia significativa respecto al resto, en la reducción de las variables de incidencia y porcentaje de severidad/ planta.

### **Variables de respuesta**

**Porcentaje de incidencia.** Se cuantificó el porcentaje de incidencia por tratamiento. Para ello, se seleccionaron al azar cinco plantas por cada unidad experimental y fueron evaluadas para determinar la presencia o ausencia del patógeno. Luego, se contó el número de plantas infectadas y se calculó el porcentaje de incidencia por tratamiento, dividiendo esta cantidad entre el total de plantas evaluadas y multiplicando el resultado por 100.

$$\% \text{ de incidencia} = \frac{n \text{ plantas infectadas}}{n \text{ plantas evaluadas}} * 100$$

El porcentaje se calculó para cada repetición y, finalmente, se promediaron los valores obtenidos en las cuatro repeticiones para determinar el porcentaje promedio de incidencia por tratamiento.

**Porcentaje de severidad.** Se determinó el porcentaje de severidad del daño causado por *Alternaria solani* en las plantas previamente identificadas con incidencia del patógeno. Para cuantificar este porcentaje, se empleó la metodología descrita por (Teni et al., 2018), en donde primero se estableció una escala de severidad (Tabla 5) y aplicar la fórmula de VanderPlank descrita a continuación.

$$Severidad = \frac{\sum \varepsilon_i}{N(VM)} * 100$$

En donde:

$\sum \varepsilon_i$  = Sumatoria de los valores observados.

**N** = Número de plantas muestreadas.

**VM** = Valor máximo de la escala.

**Tabla 5**

*Escala de severidad para las plantas afectadas por Alternaria solani*

GRADO	DESCRIPCIÓN
0	No hay síntoma del patógeno.
1	Manchas amarillas en hojas senescentes.
2	Manchas necróticas rodeadas por un halo de color amarillo.
3	Lesiones en el tallo de la planta.
4	Esporulación en el tejido afectado.

### **Diseño experimental**

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, dado que la investigación se llevó a cabo en condiciones controladas dentro de un mega túnel de 17 metros de ancho por 50 metros de largo. Con lo que se redujo la posibilidad de sesgos debidos a gradientes entre tratamientos.

### **Metodología de análisis**

A los 28 DDT se realizaría el muestreo final del que se obtendrían los porcentajes de incidencia y severidad por tratamiento. Con los datos de los porcentajes obtenidos, se elaborará un análisis de varianza (ANOVA) y se determinará si existe al menos una diferencia significativa entre tratamientos, con esto se aceptará la hipótesis alterna.

De encontrarse una diferencia significativa entre tratamientos, se necesita saber cuáles de los tratamientos presentaron dicha diferencia, para esto se definió la realización de un análisis de comparación múltiple de medias de rango estandarizado, mejor conocido como prueba de la diferencia significativa honesta, propuesta por Tukey (López & González, 2016) con un valor de significancia del 5 %. El análisis de comparación múltiple de medias propuesto por Tukey, es válido en cualquier comparación de medias que se realice “dos a dos”, es preciso para comparar la mayor diferencia entre dos medias y es exacto cuando los tratamientos están balanceados, por lo que se adapta perfectamente para la investigación

### **Manejo de la investigación**

La primera aplicación de los tratamientos se realizó el día de trasplante, este fue el día 0 de la investigación. En el día 0, también se realizó el primer muestreo de incidencia y severidad, con el afán de corroborar que todas las plantas estuvieran en igualdad de condiciones.

A partir del día 0, las aplicaciones se realizaron a cada 7 días, hasta el día 28 después de trasplante (DDT). De igual manera, cada día de aplicación se realizó un muestreo de incidencia y severidad, con esto se obtuvieron los datos para elaborar la curva del progreso de la enfermedad para cada variable y para el análisis estadístico.

El manejo de fertilidad y plagas fue uniforme en todos los tratamientos, este se detalla en la Figura 31. Se realizó un análisis de suelo (Figura 28) para tener una referencia de las condiciones en donde se desarrollaron las plantas y tras el último muestreo, se realizó un análisis foliar en las plantas que se determinaron con incidencia,

para corroborar la presencia del patógeno, este análisis fue avalado por la ingeniera Claudia Toledo y las imágenes se encuentran de la Figura 46B a la Figura 49B.

### ***Lugar y época***

El estudio se llevó a cabo en el área de hortalizas de la Escuela Nacional Central de Agricultura, ubicada en el kilómetro 17.5, finca Bárcena del municipio de Villa Nueva, Guatemala (Hernández & Reyes, 2005); entre los meses de mayo y julio del 2024, correspondientes a la época lluviosa del país.

### ***Preparación del ácido salicílico***

Las concentraciones para los tratamientos de ácido salicílico se determinaron en base a las recomendaciones de (González & Hernández, 2018) en la investigación realizada para el ICTA, en donde utilizaron las concentraciones de  $10^{-5}$  M,  $10^{-6}$  M,  $10^{-7}$  M y  $10^{-8}$  M. Sin embargo, en dicha investigación evaluaron un manejo integrado del ácido, combinándolo con otros productos químicos y en esta investigación se planteó evaluar el efecto aislado del ácido salicílico, por lo que no se utilizaron fungicidas comerciales ni cualquier otro producto que influyera en los resultados.

La metodología de preparación del ácido salicílico para su aplicación se obtuvo de la investigación de (González & Hernández, 2018) y como primer paso se pesó una cantidad de 0.138 g de ácido salicílico al 99 %. Los 0.138 g de AS fueron diluidos en 2 ml de alcohol al 98 % y luego esta dilución se aforó a 100 ml agregándole 98 ml de agua destilada, con lo que se obtuvo una solución de AS en concentración de  $10^{-2}$  M, esta fue la solución madre.

En este caso, se utilizó ácido salicílico en estado sólido con una pureza del “mayor o igual al 99 %” según la etiqueta del producto. Para calcular la molaridad de la solución madre se realizó el procedimiento que se describe a continuación.

$$molaridad = \frac{n}{v}$$

En donde

- n= cantidad de moles.

- $n$  = volumen de la solución.

Para calcular el valor de “ $n$ ” se utilizó la ecuación:

$$n = \frac{\textit{masa}}{\textit{Peso molecular}}$$

Se utilizó una masa de 0.138 gramos de ácido salicílico, debido a que en las especificaciones del producto se indica que la concentración es de mayor o igual al 99 %, esta se aproximó al 100% para la realización de los cálculos. Por tanto, se obtuvo el siguiente valor para  $n$ .

$$n = \frac{0.138 \textit{ g}}{138.12 \frac{\textit{g}}{\textit{mol}}} = 0.001 \textit{ mol}$$

Se utilizaron 2 ml de alcohol al 98%, sin embargo, la solución se aforó con 98 ml de agua destilada para lograr un volumen de 100 ml. En la molaridad, el volumen se mide en litros, por lo que la solución contuvo 0.1 L. Con esto se completaron los datos para calcular la molaridad y se obtuvo el siguiente resultado.

$$\textit{molaridad} = \frac{0.001 \textit{ mol}}{0.1 \textit{ L}} = 0.01 \textit{ molar}$$

Se tomaron 10 ml de la solución madre y se diluyeron en 990 ml de agua destilada, con esto se logró reducir la concentración a  $10^{-4}$  M. Para obtener el volumen de agua necesario se realizó el siguiente cálculo.

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

En donde:

- C= Concentración
- V= Volumen

$C1$  y  $V1$  representan las cantidades de la solución madre y, al despejar la ecuación, se obtuvo el siguiente resultado.

$$V2 = \frac{C1 * V1}{C2}$$

$$V_2 = \frac{(10^{-2} \text{ molar}) * 0.01 \text{ L}}{10^{-4} \text{ molar}} = 1 \text{ L}$$

El volumen necesario para la concentración deseada es de 1 Litro, por lo que se agregaron 990 ml de agua destilada a los 10 ml de la solución madre, para lograr la concentración de  $10^{-4}$  molar. Esta solución posteriormente se utilizó para obtener una concentración más baja del AS.

Para obtener la solución en concentración de  $10^{-5}$  M, se tomó 1 ml de la solución madre y se diluyó en 999 ml de agua destilada. El cálculo realizado para obtener dicha concentración fue el siguiente.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

En donde:

- C= Concentración
- V= Volumen

$C_1$  y  $V_1$  representan las cantidades de la solución madre y, al despejar la ecuación, se obtuvo el siguiente resultado.

$$V_2 = \frac{C_1 * V_1}{C_2}$$

$$V_2 = \frac{(10^{-2} \text{ molar}) * 0.001 \text{ L}}{10^{-5} \text{ molar}} = 1 \text{ L}$$

Se requería de un volumen de 1 litro para obtener la concentración de  $10^{-5}$  molar utilizando 1 ml de la solución madre, por lo que se agregaron 999 ml de agua destilada para obtener la molaridad planeada.

Para la concentración de  $10^{-6}$  M, se tomaron 10 ml de la solución de  $10^{-4}$  M previamente preparada, luego se diluyeron en 990 ml de agua destilada. El cálculo realizado para obtener el volumen utilizado fue el siguiente.

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

En donde:

- C= Concentración

- V= Volumen

C1 y V1 representan las cantidades de la solución con concentración de  $10^{-4}$  molar y, al despejar la ecuación, se obtuvo el siguiente resultado.

$$V2 = \frac{C1 * V1}{C2}$$

$$V2 = \frac{(10^{-4} \text{ molar}) * 0.01 \text{ L}}{10^{-6}} = 1L$$

Al utilizar 10 ml de solución a  $10^{-4}$  molar, se agregaron 990 ml de agua destilada para lograr el volumen y la concentración calculada.

Finalmente, con la concentración de  $10^{-7}$  M, se tomaron 10 ml de la solución a  $10^{-5}$  M y se diluyeron en 990 ml de agua destilada. Para definir las cantidades mencionadas, se realizó el cálculo que se presenta a continuación.

$$C1 * V1 = C2 * V2$$

En donde:

- C= Concentración
- V= Volumen

C1 y V1 representan las cantidades de la solución con concentración de  $10^{-5}$  molar y, al despejar la ecuación, se obtuvo el siguiente resultado.

$$V2 = \frac{C1 * V1}{C2}$$

$$V2 = \frac{(10^{-5} \text{ molar}) * 0.01 \text{ L}}{10^{-7}} = 1L$$

Se definió utilizar 10 ml de solución a  $10^{-5}$  molar, por tanto, para alcanzar el volumen de 1L necesitado para la concentración de  $10^{-7}$  molar, se agregaron 990 ml de agua destilada a la disolución.

Este proceso se realizó un día antes de cada aplicación. Las soluciones se almacenaron en un lugar protegido de la luz, ya que esta puede afectar la estabilidad del



En la Figura 30 se presenta la distribución de las 40 plantas por unidad experimental, esto con la finalidad de muestrear las plantas del interior de la misma y con ello evitar el efecto borde proporcionado por los demás tratamientos.

### ***Materiales y equipo***

- 1 Mega-túnel.
- 1250 pilones de tomate variedad Retana F1.
- Plástico tipo molch.
- Lazos para tutores de plantas.
- Estacas para tutores de plantas.
- Fertilizante:
  - 15-15-15
  - 12-24-12
  - 13-40-13
  - Calcio-boro
  - Zinc-boro
  - 10-10-40
  - Bayfolan
- Insecticidas
  - *Benzoato de emamectina*
  - *Tiametoxam*
  - *Lambda-cialotrina*
- Ácido salicílico 99 %.
- Fungicidas químicos
  - Amistar (Azoxistrobin)
  - Nativo (Tebuconazole y Trifloxystrobin)
  - Bellis (Boscalid y Pyraclostrobin)
- Bomba de mochila.
- Equipo para mezcla y trasvase.
- Equipo de protección personal.

## CRONOGRAMA DE EJECUCIÓN

**Figura 31**

*Cronograma de ejecución de actividades de un cultivo de tomate en la Escuela Nacional Central de Agricultura ENCA*

ACTIVIDAD/FECHA DE EJECUCIÓN	Junio				Julio			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Trasplante								
Muestreos								
Aplicaciones								
Aplicación de oxamil								
Aplicación de 15-15-15								
Aplicación de 13-40-13								
Aplicación de K								
Aplicación de benzoato de emamectina								
Aplicación de dicloruro de paraquat								
Aplicación de lambda-cialotrina y el clorantraniliprol								
Aplicación de sulfato de gentamicina								
Aplicación de tiametoxam								
Aplicación de metalaxil-M y mancozeb								
Aplicación de 12-24-12								
Aplicación de Ca								

## RESULTADOS

### Análisis de incidencia y severidad

#### *Incidencia*

Los promedios del porcentaje de incidencia determinados por tratamiento en cada muestreo se presentan en la Tabla 6. En esta Tabla se observa que los primeros síntomas de la enfermedad se presentaron en el muestreo 2, a los 7 días después de trasplante, los tratamientos en presentar estos síntomas fueron los números 3 y 4, equivalentes a las concentraciones más bajas de ácido salicílico y un tratamiento químico comercial. En el tercer muestreo, a los 14 días después de trasplante, se registraron síntomas en todos los tratamientos, el porcentaje de incidencia se mantuvo en el T4 y los T1, T2 y T6 presentaron los valores más altos. Del muestreo 3 al muestreo 4 se vio un salto exponencial en la incidencia del tratamiento testigo, que finalmente en el muestreo 5, fue quien presentó el mayor valor con un 95 %.

#### **Tabla 6**

*Promedios de porcentajes de incidencia de Alternaria solani por tratamiento en cada muestreo*

PROMEDIOS DE PORCENTAJE DE INCIDENCIA POR TRATAMIENTO					
Tratamiento/Muestreo	Muestreo 1 (Día 0)	Muestreo 2 (Día 7)	Muestreo 3 (Día 14)	Muestreo 4 (Día 21)	Muestreo 5 (Día 28)
TT	0	0	15	80	95
T1	0	0	20	45	65
T2	0	0	20	50	70
T3	0	5	10	50	65
T4	0	5	5	25	60
T5	0	0	10	40	55
T6	0	0	20	45	70

Los síntomas se registraron en la totalidad de los tratamientos hasta el tercer muestreo, 14 días después del trasplante, esto coincide con lo descrito por (Paz et al., 2013) quien en su investigación determinó que *Alternaria solani* se presenta en las plantas de tomate principalmente entre los 14 y 21 días después de trasplante.

A los 7 días después de trasplante, se observaron síntomas en los T3 y T4, sin embargo, la primera aplicación de los tratamientos se realizó ese mismo día, por lo que aún no había efecto de los productos aplicados.

Entre los 14 y 21 días después de trasplante, se presentó un crecimiento exponencial en la incidencia de *Alternaria* en todos los tratamientos. Sin embargo, fue en el tratamiento testigo en donde se presentó un mayor incremento, pasó de un 15 % a un 80 % de incidencia. Y en el último muestreo la incidencia aumentó en un 15 %, alcanzando el valor de 95 % que fue el más alto de los tratamientos evaluados.

El T1, correspondiente a la mayor concentración de ácido salicílico presentó incidencia de la enfermedad hasta el tercer muestreo con un 20 % de plantas infectadas. Entre el tercer y cuarto muestreo la incidencia para este tratamiento se incrementó más del doble, alcanzó el valor de 45 %. Finalmente, en el último muestreo, la incidencia fue del 65 %, este valor fue el más bajo registrado en los tratamientos de ácido salicílico y el tercero más alto entre todos los tratamientos evaluados.

En el T2 la incidencia de *Alternaria* se presentó hasta el tercer muestreo, con un valor de 20 %. Su crecimiento durante los siguientes dos muestreos fue bastante similar, entre el tercer y cuarto muestreo la incidencia aumentó un 30 %, alcanzando un valor del 50 %. Finalmente, en el quinto muestreo, el valor de incidencia alcanzó el 70 %, el segundo valor de incidencia más alto, empatado con el T6 y solamente por debajo del tratamiento testigo.

El T3 fue el primer tratamiento en presentar incidencia, junto con el T4, en el segundo muestreo. Es importante resaltar que la primera aplicación de los productos se realizó la misma fecha del segundo muestreo, por lo que los tratamientos no habían comenzado a hacer efecto. Entre el segundo y tercer muestreo, la incidencia aumentó al 10 %, pero del tercer al cuarto muestreo se registró un salto significativo en el porcentaje de incidencia, que alcanzó el 50%. Finalmente, en el último muestreo la incidencia aumentó un 15 % y alcanzó el valor de 65 %, mismo valor que el T1.

El T4 mostró una incidencia constante del 5 % durante el segundo y tercer muestreo. En el cuarto muestreo, la incidencia aumentó al 25 %. Durante los muestreos

3 y 4 presentó los valores más bajos de incidencia entre los tratamientos de fungicidas químicos. Sin embargo, en el quinto muestreo, la incidencia aumentó 60 %, superando en un 5% al T5.

En el T5 la incidencia de *Alternaria* se presentó hasta el tercer muestreo, comenzando con un 10 %. Posteriormente, para el cuarto muestreo la incidencia aumentó hasta el 40 %. En el quinto muestreo el valor de la incidencia fue de 55 %, siendo este el tratamiento con el valor más bajo de incidencia en el muestreo final.

El T6 presentó incidencia de *Alternaria* hasta el tercer muestreo, con un valor del 20 %. Entre el tercer y cuarto muestreo se observó un aumento considerable en la incidencia, que pasó del 20 % al 40 %. Sin embargo, entre el cuarto y el quinto muestreo, el crecimiento de la incidencia fue aún más pronunciado y alcanzó el 70 %. Cabe destacar que este tratamiento registró la mayor incidencia entre los tratamientos químicos convencionales y el segundo valor más alto de los tratamientos evaluados, junto con el T2.

### **Severidad**

En la Tabla 7, se presentan los promedios del porcentaje de severidad por tratamiento en cada muestreo, el valor más alto se observó en el tratamiento testigo, mientras que el más bajo en el T5. En el segundo muestreo los valores de severidad fueron similares para los tratamientos 3 y 4, luego en el tercer muestreo los valores oscilaron en un rango de 2.5 a 7.5 %. Del tercer al cuarto muestreo se observó un aumento exponencial en el valor de los porcentajes, en todos los tratamientos; sin embargo, los tratamientos con un aumento más pronunciado en sus valores fueron el testigo y el T5. Finalmente, en el último muestreo el tratamiento testigo presentó el porcentaje de severidad más alto, mientras que el T5 el más bajo.

**Tabla 7**

*Promedios de porcentajes de severidad de Alternaria solani por tratamiento en cada muestreo*

PROMEDIOS DE PORCENTAJE DE SEVERIDAD POR TRATAMIENTO					
Tratamiento/Muestreo	Muestreo 1 (Día 0)	Muestreo 2 (Día 7)	Muestreo 3 (Día 14)	Muestreo 4 (Día 21)	Muestreo 5 (Día 28)
TT	0	0.00	5.00	37.50	52.50
T1	0	0.00	6.25	20.00	30.00
T2	0	0.00	7.50	27.50	33.75
T3	0	2.50	3.75	25.00	31.25
T4	0	2.50	2.50	11.25	25.00
T5	0	0.00	2.50	20.00	23.75
T6	0	0.00	7.50	22.50	32.50

El tratamiento testigo presentó síntomas hasta el tercer muestreo, con un porcentaje de severidad en las plantas afectadas por *A. solani* del 5%. Sin embargo, para el cuarto muestreo, este porcentaje aumentó al 37 %. Entre estos dos muestreos, se observó un incremento significativo en la severidad del daño y finalmente en el quinto muestreo el testigo alcanzó el valor más alto de todos los tratamientos, con un 52.5 % de severidad.

En cuanto a los tratamientos de ácido salicílico, el T1 presentó daños por *Alternaria* hasta el tercer muestreo, el porcentaje de este fue de 6.25 % y para el cuarto muestreo se elevó hasta el 20 %, un aumento significativo que luego aumentó de forma menos brusca para el quinto muestreo en donde el valor fue de 30 %.

El T2 presentó síntomas hasta el tercer muestreo, con un nivel de severidad de 7.5 %, este valor aumentó al 27.5 % en el cuarto muestreo. Finalmente, en el quinto muestreo alcanzó el 33.75 % que fue el segundo valor más alto, solamente por debajo del testigo, y de las concentraciones de ácido aplicadas fue el que tuvo un menor efecto.

El T3, correspondiente a la concentración más baja de ácido salicílico presentó una severidad del 2.5 % en el segundo muestreo, sin embargo, el ácido fue aplicado el día de la segunda toma de datos por lo que hasta ese momento no había efecto del

mismo. Entre el segundo y tercer muestreo aumentó únicamente un 1.25 %, pero del tercer al cuarto muestreo aumentó un 21.25 %. En el último muestreo su valor fue del 31.25 % y fue el segundo mejor tratamiento de las tres concentraciones de ácido aplicadas.

Al igual que con el T3, el T4 presentó incidencia y, por lo tanto, severidad desde el segundo muestreo, su valor fue de 2.5 %. En el tercer muestreo la severidad se mantuvo constante, y fue recién hasta el cuarto muestreo cuando se registró un aumento en el porcentaje de severidad, alcanzando un 11.25 %. Para el quinto muestreo el porcentaje de severidad fue de 25 %, el segundo valor más bajo de los tratamientos evaluados.

El T5 presentó síntomas hasta el tercer muestreo, con un porcentaje de severidad del 2.5 %. Entre el tercer y cuarto muestreo se registró un aumento significativo en la severidad, que pasó del 2.5 al 20%. Sin embargo, en el último muestreo la severidad solamente aumentó un 3.75 %, este fue el tratamiento con el porcentaje de severidad más bajo de los tratamientos evaluados con el 23.75 %.

En el T6 se observaron síntomas hasta el tercer muestreo, con una severidad del 7.5 %, que fue la más alta junto con la del T2. El mayor aumento en la severidad de este tratamiento se produjo entre el tercer y cuarto muestreo, alcanzando un 22.5 %. En el quinto muestreo la severidad aumentó en un 10 %, lo que el resultó en un valor final de 32.5 %, el tercer porcentaje más alto entre los tratamientos evaluados.

El primer muestreo se realizó el día del trasplante, que se consideró como el día 0. Este muestreo tuvo como objetivo verificar que las plantas estuvieran libres de *Alternaria* al momento del trasplante. El segundo muestreo se realizó al séptimo día después del trasplante, en esta fecha se realizó la primera aplicación de los tratamientos. En este muestreo los tratamientos 3 y 4, correspondientes a un tratamiento de ácido salicílico y uno químico comercial, presentaron incidencia del patógeno, sin embargo, al momento del muestreo los tratamientos se encontraban en igualdad de condiciones ya

que los tratamientos aún no comenzaban a mostrar efecto. Por lo que la incidencia registrada no presentaba una diferencia respecto al impacto de los tratamientos hasta ese momento.

Posteriormente en el tercer muestreo, a los 14 días después del trasplante, todos los tratamientos presentaron incidencia. Los tratamientos 1 y 2, correspondientes a diferentes concentraciones de ácido y el T6, correspondiente a un tratamiento químico comercial, presentaron el mayor valor de incidencia, con un 20 %. Así mismo, fueron estos tres tratamientos los que presentaron un mayor valor de severidad, los tratamientos 2 y 6 con un 7.5 % y el T1 con un 6.25 %. El T3 correspondiente a la concentración más baja del ácido, presentó un incremento bajo de la severidad respecto al segundo muestreo.

En el cuarto muestreo, de los tratamientos correspondientes al ácido, el T3 fue el que presentó un mayor incremento tanto en incidencia como en severidad, en comparación con el muestreo anterior. Por otro lado, el T1 presentó un aumento más moderado. Los tratamientos 2 y 3 presentaron el mismo valor de incidencia con un 50 %, pero en términos de severidad, el T2 registró un valor más alto, alcanzando un 27.5 %. El T1 por su parte, presentó el tercer porcentaje más bajo de incidencia en los tratamientos evaluados, solamente por detrás de los tratamientos 4 y 5; y el segundo porcentaje más bajo de severidad, por detrás del T4 y empatado con el T5.

En el quinto muestreo, el T2 fue el que presentó una mayor incidencia y severidad respecto a las tres concentraciones de ácido, además presentó el segundo valor más alto de incidencia y severidad respecto a los tratamientos evaluados. El T1 registró el tercer porcentaje de incidencia más bajo de los tratamientos evaluados, junto con el T3, con un 60 %. Mientras que, en la severidad, los tratamientos 1 y 3 presentaron el tercer y cuarto valor más bajo, respectivamente.

En resumen, entre las diferentes concentraciones de ácido salicílico evaluadas, la concentración de  $10^{-5}$  M fue la que mostró el mejor efecto tanto en incidencia como en severidad, seguida de la concentración de  $10^{-7}$  M. Por otro lado, el tratamiento

correspondiente a la concentración de  $10^{-6}$  M presentó los valores más altos tanto en incidencia como en severidad. En general, la concentración más alta y la más baja del ácido salicílico, tuvieron un efecto más favorable que la concentración intermedia, tanto en términos de incidencia como severidad.

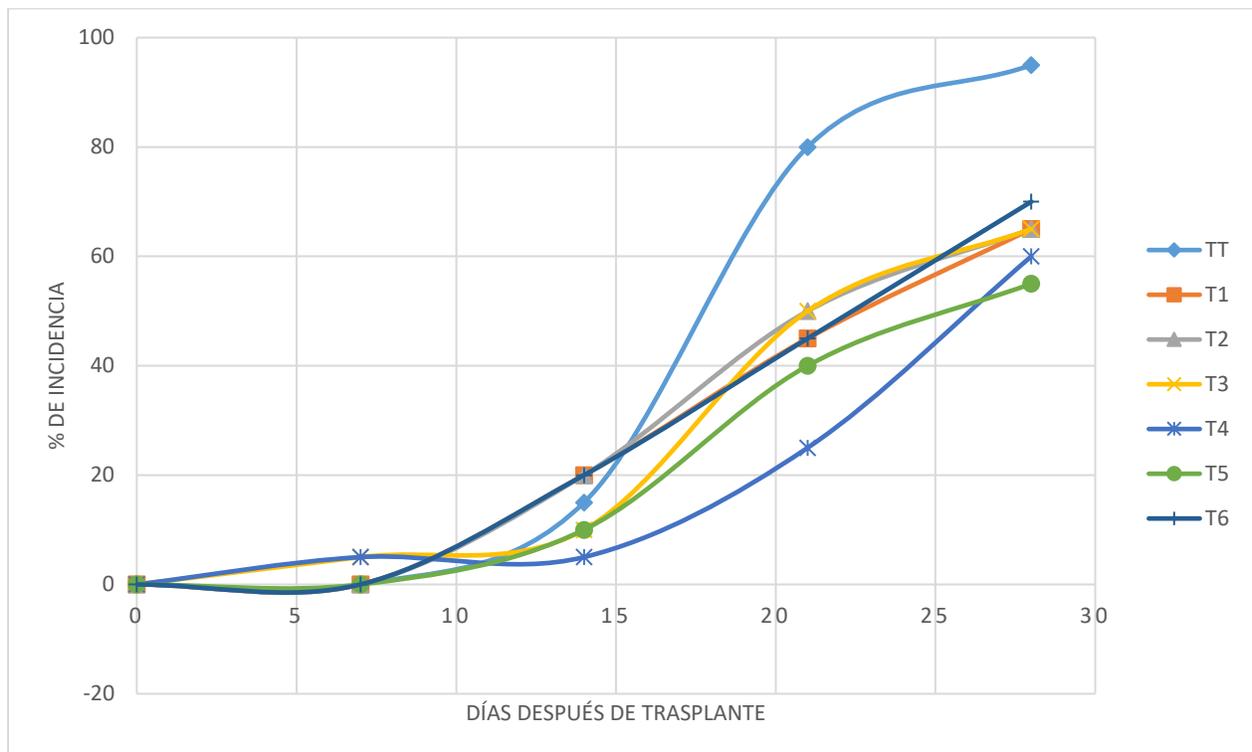
Estos resultados coinciden con los hallazgos de (González & Hernández, 2018) en su investigación sobre el efecto del ácido salicílico en tomate. En su estudio, se determinó que las concentraciones de  $10^{-5}$ M y  $10^{-7}$ M fueron las que ofrecieron los mejores resultados en dos ensayos realizados en diferentes localidades. Este hallazgo es de gran importancia, ya que las concentraciones recomendadas para evaluar en este estudio fueron tomadas de dicha investigación, y los resultados obtenidos coinciden con los reportados por los autores.

### Área bajo la curva

En la Figura 32 se presentan las curvas de progreso de la incidencia de *Alternaria solani* en los diferentes tratamientos, esto durante los cinco muestreos, realizados a partir del día 0 al día 28 después de trasplante. En esta gráfica se presentan los promedios de los porcentajes de incidencia de los tratamientos en cada muestreo.

### Figura 32

*Curvas de progreso de la incidencia de Alternaria solani en tomate cultivado bajo el efecto de diferentes métodos de control del patógeno*



Se pueden observar distintos tipos de curvas del progreso de la enfermedad en los tratamientos, algunas de tipo exponencial, otras lineales. Sin embargo, para simplificar la comprensión del comportamiento de la enfermedad a lo largo del tiempo, se calculó el área bajo la curva de progreso de la enfermedad (AUDPC). Según (Forbes et al., 2014) el AUDPC indica que, mientras más alto el valor calculado, más susceptible es la planta a la enfermedad evaluada, y, para estandarizar el AUDPC por lo general se calcula el AUDPC relativo o rAUDPC.

En la Tabla 8 se presenta el cálculo tanto de AUDPC, como de rAUDPC de la incidencia de *Alternaria solani* en los distintos tratamientos del cultivo de tomate. Para poder calcular estos datos, fue necesario utilizar los promedios del porcentaje de severidad por tratamiento, por muestreo, utilizando los días después de trasplante en que se realizó cada muestreo.

**Tabla 8**

*Cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad Alternaria solani, variable de incidencia*

DDT	0	7	14	21	28	AUDPC	rAUDPC
TT	0	0	15	80	95	998	0.356
T1	0	0	20	45	65	683	0.244
T2	0	0	20	50	70	735	0.263
T3	0	5	10	50	65	683	0.244
T4	0	5	5	25	60	455	0.163
T5	0	0	10	40	55	543	0.194
T6	0	0	20	45	70	700	0.250

El rAUDPC más alto fue correspondió al tratamiento testigo, con un valor de 0.356, mientras que el más bajo fue el del tratamiento número 4, con un valor de 0.163. Al observar el valor de los promedios, se puede ver el T5 presentó el porcentaje más bajo de incidencia en el último muestreo. Sin embargo, al examinar la gráfica, se nota que el T4 presentó una curva de progreso de la enfermedad con una menor área bajo la curva. Este hallazgo coincide con el rAUDPC calculado, lo que sugiere que, a lo largo del tiempo, el T4 fue el mejor controló la incidencia de la enfermedad.

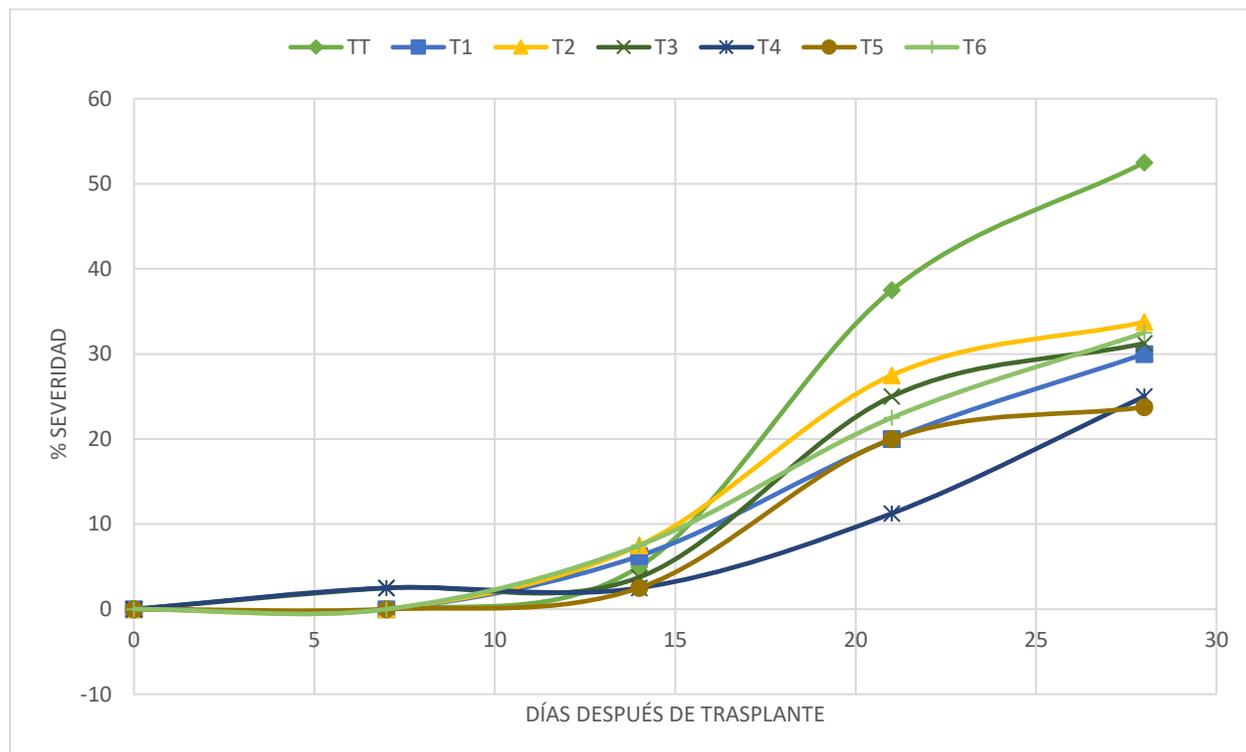
En cuanto a los tratamientos a base del ácido salicílico, tanto el T1 como el T3 presentaron el mismo valor de incidencia final, y su rAUDPC también fue idéntico, lo que indica que ambos tratamientos tuvieron un control similar sobre esta variable. En cambio, el T2 presentó un mayor porcentaje de severidad en el último muestreo, y su valor de rAUDPC fue mayor que los otros dos tratamientos, lo que sugiere que tuvo un control inferior en comparación a ellos.

La Figura 33 muestra las curvas que representan el progreso de la severidad de *Alternaria solani* a lo largo de los 5 muestreos, realizados del día 0 al día 28 después de

trasplante. La gráfica se construyó utilizando los promedios de los porcentajes de severidad determinados para cada tratamiento en cada uno de los muestreos.

### Figura 33

*Curvas de progreso de la severidad de *Alternaria solani* en tomate cultivado bajo el efecto de diferentes métodos de control del patógeno.*



En esta Figura se puede observar la diferencia en el aumento de severidad entre el tratamiento testigo y el resto de los tratamientos. Las curvas muestran distintos tipos de comportamiento, siendo un ejemplo destacable de esto los tratamientos 4 y 5. Aunque ambos alcanzaron valores finales similares, el patrón de crecimiento de sus curvas fue claramente diferente. Por otro lado, en los tratamientos del ácido salicílico, se aprecia que los tratamientos 2 y 3 presentaron crecimientos similares, mientras que el tratamiento mostró un comportamiento distinto.

En la Tabla 9, se presentan los valores calculados del AUDPC y el rAUDPC, determinado siguiendo la metodología descrita por (Forbes et al., 2014). Estos cálculos se realizaron utilizando los promedios de los porcentajes de severidad registrados para cada tratamiento durante los cinco muestreos, llevados a cabo entre el día 0 y 28 después del trasplante

**Tabla 9**

*Cálculo del área bajo la curva del progreso de la enfermedad Alternaria solani, variable de severidad*

DDT	0	7	14	21	28	AUDPC	rAUDPC
T1	0	0	6.25	20	30	289	0.103
T2	0	0	7.5	27.5	33.75	363	0.130
T3	0	2.5	3.75	25	31.25	328	0.117
T4	0	2.5	2.5	11.25	25	201	0.072
T5	0	0	2.5	20	23.75	241	0.086
T6	0	0	7.5	22.5	32.5	324	0.116
TT	0	0	5	37.5	52.5	481	0.172

El valor más alto de rAUDPC fue obtenido por el tratamiento testigo. Esto coincide con la Figura 33, en donde se observa una diferencia pronunciada entre el área bajo la curva del tratamiento testigo y los demás tratamientos. Por otro lado, el valor más bajo del rAUDPC correspondió al T4. Aunque el T5 presentó un menor porcentaje de severidad en el último muestreo, el patrón de crecimiento de la curva del T4 fue distinto, esta diferencia queda claramente ilustrada en la Figura 33, donde el área bajo las dos curvas es notoriamente diferente, lo que es confirmado por los valores de rAUDPC. Esto sugiere que el T4 fue el más efectivo para controlar la severidad del ataque de *Alternaria solani* en el cultivo de tomate variedad *Retana F1*.

En relación con los tratamientos de las distintas concentraciones de ácido salicílico, el tratamiento con el menor valor de rAUDPC fue el T1, seguido por el T3, y finalmente el T2. Las curvas de los tratamientos 2 y 3 mostraron un patrón similar, sin embargo, los porcentajes de severidad en el T3 fueron menores, lo que resultó en un área bajo la curva de crecimiento también menor. Por su parte, el T1 presentó un patrón de crecimiento diferente. Este comportamiento, junto con sus menores porcentajes de severidad, hizo que fuera el tratamiento con la menor área bajo la curva entre los tres, indicando que logró un mejor control en la severidad.

### **Comparación del efecto de las tres concentraciones de ácido salicílico y el control químico**

Para comparar los datos de incidencia obtenidos durante los cinco muestreos, se realizó un análisis de varianza y este determinó que al menos uno de los tratamientos

presentó una diferencia significativa respecto al resto. Esto se demuestra en la Tabla 7, ya que el p-valor es menor al nivel de significancia utilizado (0.05).

Una vez determinado que existen diferencias significativas entre tratamientos, se procedió a determinar cuál o cuáles tratamientos presentaron esa diferencia, esto mediante la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey.

Al realizar la prueba de comparación múltiple de medias (Tabla 11), fueron los tratamientos 4 y 5 quienes presentaron una diferencia significativa respecto al resto, sin embargo, aunque no de forma significativa, los tratamientos 1, 2, 3 y 6 presentaron una diferencia respecto al tratamiento testigo.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Incidencia	28	0.52	0.39	23.48

**Tabla 10**

*Análisis de varianza de los porcentajes de incidencia de Alternaria por tratamiento*

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	877.714286	6	146.285714	3.84	0.00965977
TRATAMIENTO	877.714286	6	146.285714	3.84	0.00965977
Error	800	21	38.0952381		
Total	1677.71429	27			

**Tabla 11**

*Comparación múltiple de medias de Tukey de la incidencia de Alternaria por tratamiento*

TRATAMIENTO	Medias	N	E.E.	Columna5	Columna6
T4	19	4	3.086067	A	
T5	21	4	3.086067	A	
T1	26	4	3.086067	A	B
T3	26	4	3.086067	A	B
T6	27	4	3.086067	A	B
T2	27	4	3.086067	A	B
TT	38	4	3.086067		B

Las aplicaciones de ácido salicílico presentaron una reducción en la incidencia del patógeno en las plantas, sin embargo, esta no fue significativa. El estudio realizado por (Esmailzadeh et al., 2008) reveló datos similares, en este se aplicó el AS en concentración de 200  $\mu$ M y se inocularon las conidias de *Alternaria*, como resultado se

obtuvo una reducción en las manchas necróticas por hoja, pero esta reducción no fue estadísticamente significativa. En este estudio también se menciona que (Spletzer & Enyedi, 1999) logró reducir de forma significativa las manchas necróticas por hoja y el área afectada en las plantas por *Alternaria*, aplicando la misma concentración, pero directo a la raíz por medio de un cultivo hidropónico.

En la Tabla 12 se presenta el análisis de varianza correspondiente a los datos de severidad calculada durante los cinco muestreos, el nivel de significancia para este análisis fue de 0.05 y el p-valor fue de 0.0052, al ser mayor el nivel de significancia se concluye que existe al menos una diferencia significativa entre tratamientos, con esto se procedió a realizar la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey (Tabla 13), que reveló que los tratamientos que presentaron dicha diferencia fueron el 4, 5 y 1.

Variable	N	R2	R2 Aj	CV
Severidad	28	0.55	0.43	27.19

**Tabla 12**

*Análisis de varianza de los porcentajes de severidad de Alternaria por tratamiento*

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	295.428571	6	49.2380952	4.3628692	0.00517838
TRATAMIENTO	295.428571	6	49.2380952	4.3628692	0.00517838
Error	237	21	11.2857143		
Total	532.428571	27			

**Tabla 13**

*Comparación múltiple de medias de Tukey de la severidad de Alternaria por tratamiento*

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	Columna5	Columna6
T4	8.25	4	1.67971086	A	
T5	9.25	4	1.67971086	A	
T1	11.25	4	1.67971086	A	
T3	12.5	4	1.67971086	A	B
T6	12.5	4	1.67971086	A	B
T2	13.75	4	1.67971086	A	B
TT	19	4	1.67971086		B

El ácido salicílico en concentración de  $10^{-5}$  M presentó una reducción significativa en la severidad en comparación con el tratamiento testigo. Por otro lado, los tratamientos 2 y 3 presentaron una reducción, sin embargo, esta no fue estadísticamente significativa.

Al comparar con los tratamientos químicos comerciales, el T1 mostró resultados estadísticamente equivalentes a los tratamientos 4 y 5, y superiores al T6. Cabe destacar que el T4 presentó la mayor reducción de severidad entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, en la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey, este tratamiento compartió la misma letra con el T1, lo que indicó que no existen diferencias significativas entre ambos.

El T1 mostró resultados estadísticamente equivalentes a los tratamientos 4 y 5, y resultados superiores al T6. Cabe destacar que tratamientos 4, 5 y 6 corresponden a productos químicos comerciales con modo de acción sistémico. Sin embargo, a diferencia del T6, los tratamientos 4 y 5 contienen dos ingredientes activos, lo que podría explicar la diferencia observada en los resultados.

Por otra parte, la reducción significativa de la severidad observada con el uso del ácido salicílico en concentración de  $10^{-5}$  M, coincide con lo reportado por (Esmailzadeh et al., 2008) quienes en su estudio, tras la aplicación del ácido salicílico, registraron una reducción estadísticamente significativa en la severidad del daño causado por *Alternaria*, más no en la incidencia. Autores como (Awadalla, 2015) reportaron resultados similares, ya que tras la aplicación exógena de ácido salicílico, lograron una reducción significativa en el desarrollo de *Alternaria solani* en tomate, aunque en este caso las semillas de las plantas fueron tratadas con el ácido.

Un estudio adicional que respalda estos hallazgos, es el realizado por (Matengu et al., 2021). Dicho estudio señala que la aplicación foliar de ácido salicílico, a una concentración de 2.5  $\mu$ M, reduce significativamente la severidad del daño causado por *Alternaria solani* en plantas de tomate. Además, se sugiere que un factor clave en esta reducción de severidad es el aumento en la concentración de las enzimas de defensa, como la PPO, PAL Y POD, tras la aplicación del ácido.

Por otro lado, el estudio realizado por (Coquoz, 1995) señala que la aplicación foliar de ácido salicílico en plantas de tomate, incrementa la acumulación de proteínas

PR1, las cuales están asociadas con la resistencia sistémica adquirida, que es clave en el sistema de defensa de las plantas.

Para verificar la normalidad de los datos recopilados y, por ende, la validez del análisis realizado, se llevaron a cabo tres pruebas. La primera de ellas fue la prueba de normalidad de Shapiro Wilk. En ambas variables, el valor de p resultó superior al nivel de significancia establecido, lo que permite aceptar la normalidad de los datos según esta prueba. Esta prueba se presenta en la Tabla 14 para la variable de incidencia y en la Tabla 15 para la variable de severidad.

**Tabla 14**

*Prueba de normalidad de Shapiro-Wilks (modificado) correspondiente a la variable de incidencia.*

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
<b>RDUO INCIDENCIA</b>	28	0.00	5.44	0.93	0.2444

**Tabla 15**

*Prueba de Shapiro-Wilks (modificado) correspondiente a la variable de severidad*

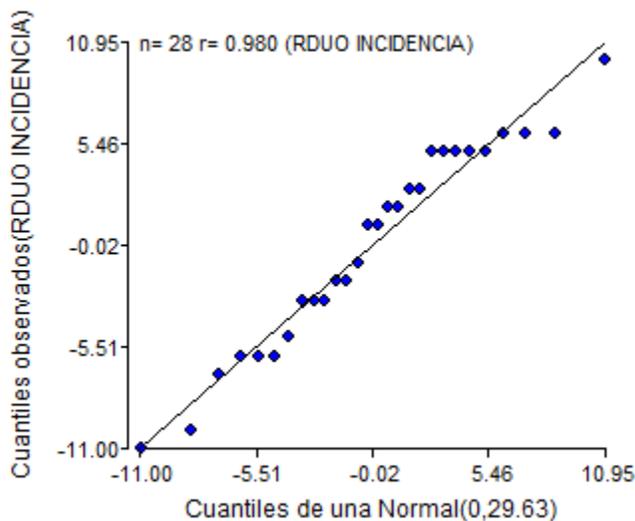
Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
<b>RDUO SEVERIDAD</b>	28	0	2.96	0.93	0.1983

Al realizar el análisis de varianza de ambas variables, se obtuvieron sus residuos y valores predichos, los cuales fueron utilizados en las pruebas posteriores. Con los residuos, se elaboró un diagrama QQ-Plot, en el que los puntos correspondientes se alinearon de manera satisfactoria sobre la recta trazada a 45°. Esto sugiere que los datos siguen una distribución normal, de acuerdo con esta representación gráfica.

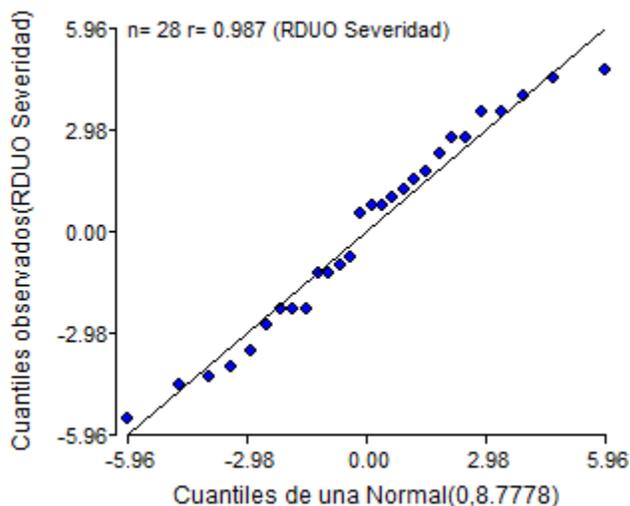
En la Figura 34 se presenta la gráfica correspondiente a la variable de incidencia y en la Figura 35 la gráfica correspondiente a severidad.

**Figura 34**

*Prueba de gráfico QQ-Plot correspondiente a la variable de incidencia*

**Figura 35**

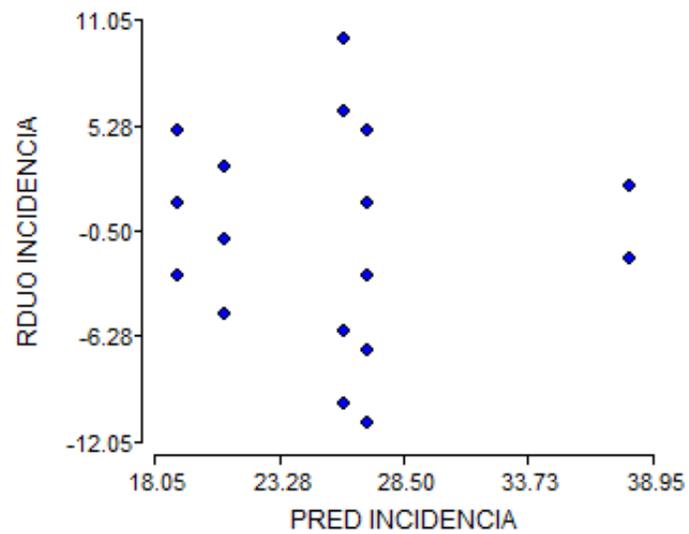
*Prueba de gráfico QQ-Plot correspondiente a la variable de severidad*



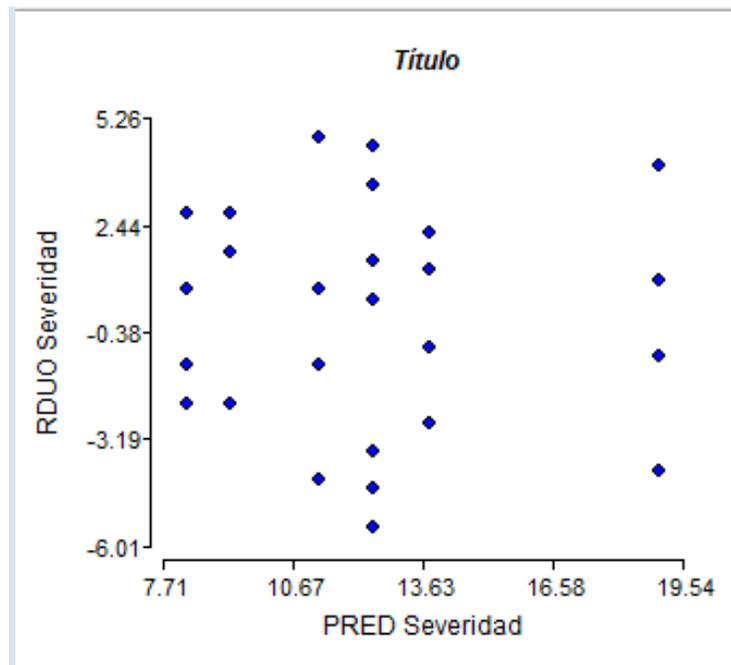
La tercera prueba se centró en verificar la homocedasticidad de los datos. Para ello, se elaboró un diagrama de dispersión utilizando los residuos y los valores predichos de las variables. En ambos gráficos no se identificaron patrones de crecimiento, lo que indica que los datos son homocedásticos. Estos gráficos se presentan en la Figura 36 para la variable de incidencia y en la Figura 37 para la variable de severidad.

**Figura 36**

*Gráfico de dispersión de residuos y predichos de la variable incidencia*

**Figura 37**

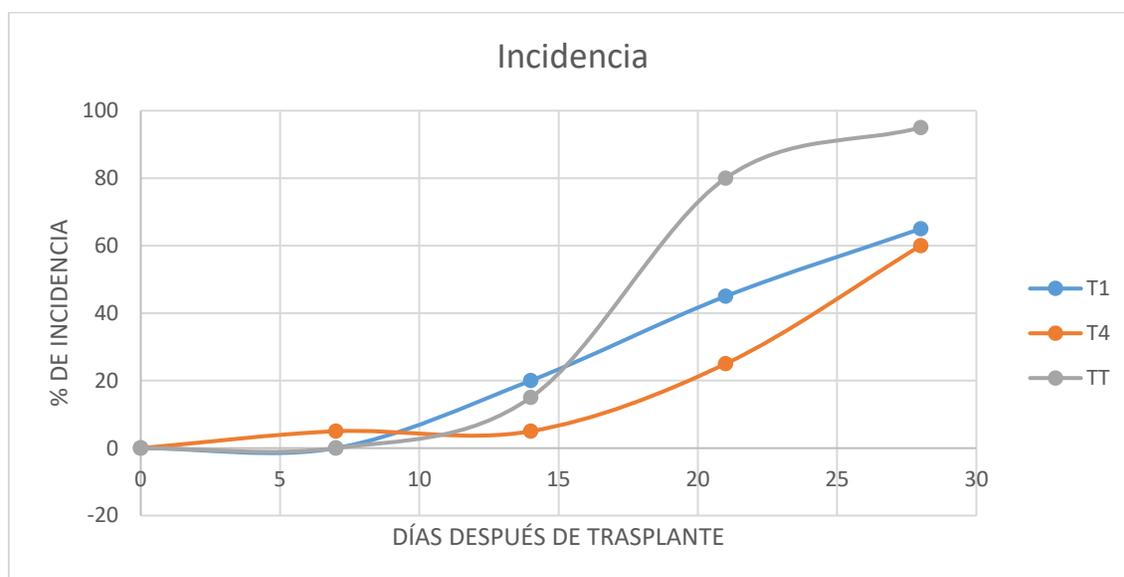
*Gráfico de dispersión de residuos y predichos de la variable severidad*



Para ilustrar de manera más clara la comparación entre el efecto del ácido salicílico y los fungicidas químicos comerciales, se elaboraron dos gráficas: una que muestra las curvas de progreso de la incidencia y otra con las curvas de progreso de la severidad. Se seleccionaron los mejores tratamientos de cada tipo, siendo el T1 el más efectivo para el ácido salicílico y T4 el mejor entre fungicidas comerciales. Además, se incluyó el tratamiento testigo en ambas Figuras para proporcionar un punto de referencia más preciso. Las gráficas se presentan en las Figuras 38 y 39.

### Figura 38

*Gráfica de las curvas del progreso de la incidencia de *Alternaria solani* en tres tratamientos en plantas de tomate*



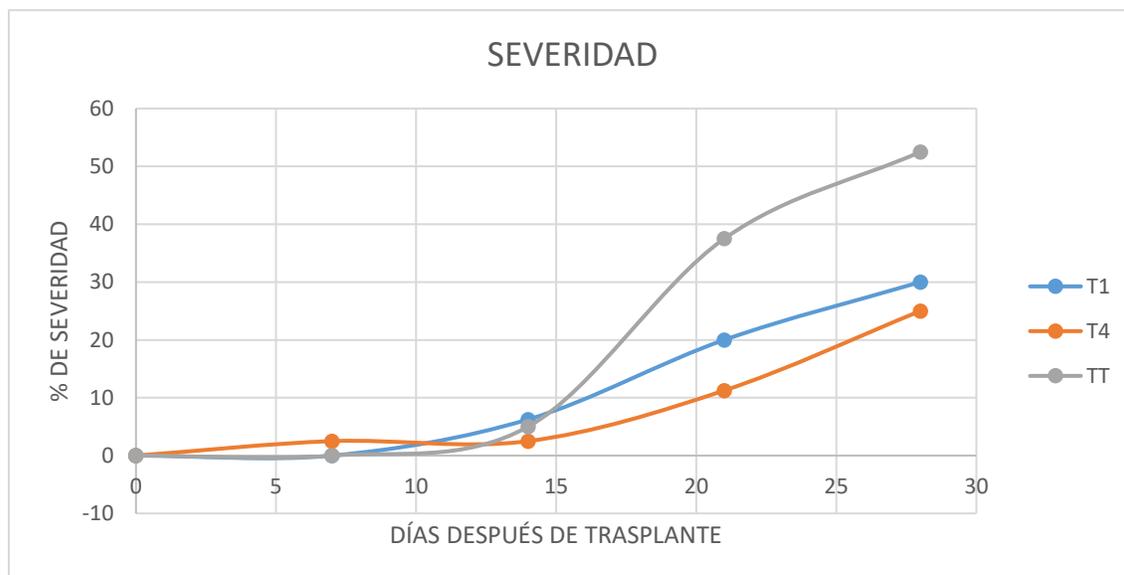
En la Figura 38 se observa cómo el tratamiento testigo experimentó un crecimiento acelerado en la incidencia de *Alternaria solani* a partir del tercer punto, alcanzando el mayor porcentaje al final del periodo evaluado, esto demuestra que, en ausencia de tratamiento, la enfermedad progresa rápidamente.

Por otro lado, el T1 muestra un crecimiento gradual y menos pronunciado que el testigo, aunque más marcado que el T4, lo que indica un efecto positivo en la reducción de la incidencia de la enfermedad.

El T4 presenta la curva con el menor incremento en la incidencia, evidenciando un crecimiento más controlado a lo largo del tiempo. En general, se observa que el T1 contribuye a reducir la incidencia de la enfermedad, aunque en menor medida que el T4, el cual demuestra una mayor eficacia.

### Figura 39

Gráfica de las curvas del progreso de la severidad del daño de *Alternaria solani* en tres tratamientos en plantas de tomate



En la Figura 39 se observa un crecimiento exponencial en el tratamiento testigo a partir del tercer muestreo, lo que evidencia el rápido desarrollo del patógeno en las plantas que carecen de tratamiento.

En contraste, el T1 muestra un crecimiento más controlado de la curva, con un porcentaje de severidad final más bajo y un crecimiento de la curva menos pronunciado.

El T4 presentó la curva con menor crecimiento de severidad, comportamiento similar al observado en la incidencia. Sin embargo, en este caso la diferencia entre T4 y T1 es menor.

En ambas Figuras se destaca que el T4 logró un mejor control de la enfermedad en ambas variables, aunque la diferencia con el T1 fue menor en cuanto a la severidad. A pesar de las variaciones, ambos tratamientos evidencian una reducción en el progreso de la enfermedad, en comparación con el tratamiento testigo.

## CONCLUSIONES

La incidencia como la severidad de *Alternaria solani* en tomate cultivado *Solanum lycopersicum L.* disminuyeron tras la aplicación foliar de ácido salicílico en las tres concentraciones evaluadas. Es importante destacar que la variable severidad fue la que mostró la mayor reducción, especialmente con la aplicación de ácido salicílico en una concentración de  $10^{-5}$  M.

El tratamiento 4 presentó la menor área bajo la curva, lo que indica un mejor control de la enfermedad a lo largo del tiempo. Entre los tratamientos de ácido salicílico, el tratamiento 1 mostró una menor área bajo la curva en ambas variables en comparación con las otras concentraciones. Al comparar las curvas de los tratamientos 4 y 1, se observa que, aunque el resultado final fue similar en ambas variables, su comportamiento a lo largo del tiempo difirió. En el tratamiento 1, la curva mostró incrementos considerables en la altura a partir del tercer muestreo, mientras que en el tratamiento 4 el aumento fue más gradual y comenzó en el cuarto muestreo. Esto resultó en una menor área bajo la curva para el tratamiento 4 en comparación con el tratamiento 1.

El ácido salicílico y los tratamientos de control químico mostraron efectos estadísticamente similares, sin diferencias significativas en ambas variables evaluadas. El ácido salicílico tuvo su mejor desempeño a una concentración de  $10^{-5}$  M, mientras que los tratamientos químicos fueron más efectivos cuando incluían dos ingredientes activos. Aunque los tratamientos químicos redujeron la incidencia al impedir la entrada y desarrollo del patógeno en la planta, el ácido salicílico no disminuyó la incidencia, pero sí limitó el desarrollo del patógeno en el interior de la planta. Como resultado, logró reducir la severidad del daño, pero no la incidencia de la enfermedad.

## RECOMENDACIONES

Evaluar el efecto del ácido salicílico en tomate tras diferentes formas de aplicación, además de la vía foliar. Estudios previos han demostrado su eficacia en la reducción de *Alternaria* bajo otros métodos de aplicación. Por ejemplo, Spletzer & Enyedi (1999) lograron una disminución significativa del desarrollo de *Alternaria* al aplicar ácido salicílico directamente a la raíz. Del mismo modo, Awadalla (2015) obtuvo resultados positivos al tratar las semillas de tomate con ácido salicílico, logrando una reducción considerable de la enfermedad.

A partir de los hallazgos de esta investigación, evaluar el plan de manejo óptimo, integrando un control químico y el AS. Para ello se sugiere realizar aplicaciones intercaladas de fungicidas químicos y AS en distintos intervalos de tiempo.

Los hallazgos de este estudio proporcionan información relevante sobre el efecto de la aplicación foliar del AS en plantas de tomate. Sin embargo, debido a la diversidad de cultivares que podrían beneficiarse de este regulador de crecimiento, se recomienda explorar su impacto en otras especies productivas. Además, sería valioso analizar no solo su influencia en el mecanismo de defensa de las plantas, sino también en otros procesos fisiológicos en los que esta molécula desempeña un papel clave.

## REFERENCIAS

- Awadalla, O. A. (2015). Induction of systemic acquired resistance in tomato plants against early blight disease. *The Egyptian Journal of Experimental Biology. Botany*, 4(0), 53-53.
- Ayala, J. E., Godinez, R., & Doñan, M. de. (2016). Efecto del asocio tomate-maíz para el control de (*Alternaria solani*) y *Phytophthora infestans* en el valle de Zapotitan. *Agronomía Mesoamericana*, 3, 66-69. <https://doi.org/10.15517/am.v3i0.25209>
- Camarena, G. (2007). Resistencia sistémica adquirida en plantas: estado actual. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(2), 157-162.
- Castro, S., Cortéz, R., & Martínez, C. (2002). *Inducción de resistencia sistemática en tomate (Lycopersicon esculentum) (Miller), hacia Alternaria solani (Ellis y Martín), con agentes químicos y biológicos*. <https://hdl.handle.net/20.500.14492/2186>
- Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (1990). *Guía para el manejo integrado de plagas del cultivo de tomate*. CATIE. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/2264>
- Coquoz, J. (1995). Arachidonic Acid Induces Local but not Systemic Synthesis of Salicylic Acid and Confers Systemic Resistance in Potato Plants to *Phytophthora infestans* and *Alternaria solani*. *Phytopathology*, 85(10), 1219. <https://doi.org/10.1094/Phyto-85-1219>
- Delaney, T., Uknes, S., Vernooij, B., Friedrich, L., Weymann, K., Negrotto, D., Gaffney, T., Gut-Rella, M., Kessmann, H., Ward, E., & Ryals, J. (1994). A Central Role of Salicylic Acid in Plant Disease Resistance. *Science*, 266(5188), 1247-1250. <https://doi.org/10.1126/science.266.5188.1247>
- López, E. & González, B. (2016). *Diseño y Análisis de Experimentos: Fundamentos y aplicaciones en Agronomía*. [http://cete.fausac.gt/wp-content/uploads/2020/11/Diseno\\_y\\_Analisis\\_de\\_Experimentos\\_2016a.pdf](http://cete.fausac.gt/wp-content/uploads/2020/11/Diseno_y_Analisis_de_Experimentos_2016a.pdf)
- Forbes, G., Pérez, W., & Andrade-Piedra, J. (2014). *Evaluación de la resistencia en genotipos de papa a Phytophthora infestans bajo condiciones de campo: Guía para colaboradores internacionales*. International Potato Center. <https://hdl.handle.net/10568/65181>
- García, F., & Pire, R. (2008). Estudio fenológico de cinco cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en Tarabana, estado Lara, Venezuela. *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.*, 52, 61-64.
- García, A. (2002). *Evaluación agro-económica de cinco activadores de las plantas en la Resistencia Sistémica Adquirida (SAR) en el cultivo del tomate (Lycopersicon esculentum, Mill)* [Tesis de grado, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/handle/11036/2356>

- Agrios, G. (2005). *Plant Pathology* (5).  
<https://drive.google.com/file/d/15aH1lKEgsmcdX3GuPjGfYrX74Zqkxhay/view>
- González, P. & Hernández, E. (2018). “Efecto de aplicaciones de ácido salicílico en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo invernadero en dos localidades del altiplano del Departamento de San Marcos, Guatemala”.  
<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/8%20TOMATE%20OCCIDENTE/AcidoSalicilico-CUSAM-Emanuel%20Morales/Efecto%20de%20aplicaciones%20de%20%20C3%A1cido%20salic%20C3%ADlico%20en%20tomate.pdf>
- Guzmán, E., Díaz, D., & Benavides, A. (2014). Concentration of Salicylic Acid in Tomato Leaves after Foliar Aspersions of This Compound. *American Journal of Plant Sciences*, 05. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.513220>
- Hernández, B., & Reyes, E. (2005). *Análisis del estado actual y valorización de los edificios del casco central de la Escuela Nacional Central de Agricultura, ENCA-Bárceñas, marzo de 2,005*. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala].  
<https://biblos.usac.edu.gt/opac/record/384349?&query=@autor=HERNANDEZ%20RODRIGUEZ,%20BHETSY%20ALELI&recnum=1>
- Herrera, W. (2009). *Evaluación de aspersiones foliares de extractos orgánicos (equinaza y vermicompost), en el rendimiento del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y servicios desarrollados en la Escuela Nacional Central de Agricultura –ENCA-, Bárceñas, Villa Nueva, Guatemala*. [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10490/>
- Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (Guatemala). *Boletín Especial- Inicio de Época Lluviosa Marzo 2023*.  
[https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2023/03/202303\\_BoletinEspecial\\_IELL\\_insivumeh.pdf](https://insivumeh.gob.gt/wp-content/uploads/2023/03/202303_BoletinEspecial_IELL_insivumeh.pdf)
- de León, J. (2024). *Memoria de labores -ENCA-2023*. <https://www.enca.edu.gt/wp-content/uploads/2024/03/MEMORIA-DE-LABORES-2023.pdf>
- Khan, N., Syeed, S., Masood, A., Nazar, R., & Iqbal, N. (2010). Application of salicylic acid increases contents of nutrients and antioxidative metabolism in mungbean and alleviates adverse effects of salinity stress. *International Journal of Plant Biology*, 1(1), Artículo 1. <https://doi.org/10.4081/pb.2010.e1>
- Esmailzadeh, M., Soleimani, M., & Rouhani, H. (2008). Exogenous Applications of Salicylic Acid for Inducing Systemic Acquired Resistance Against Tomato Stem Canker Disease. *Journal of Biological Sciences*, 8, 1039-1044.  
<https://doi.org/10.3923/jbs.2008.1039.1044>
- Matengu, T., Makaza, W., Ngadze, E., Rugare, T. J., Mazarura, U., & Gasura, E. (2021). Role of salicylic acid in disease resistance against *Alternaria* spp in

- tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.). *Journal of Current Opinion in Crop Science*, 2(4), Artículo 4. <https://doi.org/10.62773/jcocs.v2i4.121>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (Guatemala). (2014, septiembre). *Perfil Comercial Tomate*. <https://www.maga.gob.gt/download/Perfil%20tomate.pdf>
- Molina Yaure, M. R. (2010). *Identificación y evaluación de antagonista del tizón temprano Alternaria Soleni en tomate Lycopersicon esculentum mill*. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/8205>
- Paz, N., Aballe, Á., & Gómez, S. (2013). *Comportamiento del tizón temprano del tomate (Alternaria solani) en las condiciones del municipio de Holguín, Cuba*. <https://catalogosiidca.csuca.org/Record/UNANI.065732/Details>
- Pineda, E., Sánchez, G., Mercado, E., Peña, E. & Cruz, H. (2010). Vista de El ácido salicílico y su participación en la resistencia a patógenos en plantas. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo* 12(2), 90-95. <https://www.biologicas.umich.mx/index.php?journal=biologicas&page=article&op=view&path%5B%5D=83&path%5B%5D=83>
- Quezada, T. (s. f.). *Basic Tomato (Lycopersicon esculentum) Physiology and Morphology*. <https://www.pubs.ext.vt.edu/SPES/spes-508/spes-508.html>
- Quijano, S., & Dubon, R.. (2002). *Agentes químicos y biológicos* [Tesis de grado, Universidad de El Salvador]. <https://repositorio.ues.edu.sv/server/api/core/bitstreams/f5c0552c-9bb7-469a-944a-c0ea53dc378f/content>
- Quiroga, R., Rosales, M., Rincón, P., Hernández, E., & Garrido, E. (2007). Enfermedades Causadas por Hongos y Nematodos en el Cultivo de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en el Municipio de Villaflores, Chiapas, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 25(2), 114-119.
- Saavedra, G., Jana, C., & Kehr, E. (eds ). (2019). *Hortalizas para procesamiento agroindustrial*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6818>
- Shukla, P., Bajpai, K., Tripathi, S., Kumar, S., & Gautam, G. K. (2013). A Review on the Taxonomy, Ethnobotany, Chemistry and Pharmacology of Solanum Lycopersicum Linn. *International Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences*, 1(8), 521-527. [https://www.researchgate.net/publication/340573929\\_A\\_Review\\_on\\_the\\_Taxonomy\\_Ethnobotany\\_Chemistry\\_and\\_Pharmacology\\_of\\_Solanum\\_Lycopersicum\\_Linn?enrichId=rgreq-1a388b454d6fd5e0f4dc048e6131ef21-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM0M0MDU3MzkyOTtBUzo4NzkwMzQ1OTQ1MTI4OTZAMTU4NjU4OTU4NzE1NA%3D%3D&el=1\\_x\\_3&\\_esc=publicationCoverPdf](https://www.researchgate.net/publication/340573929_A_Review_on_the_Taxonomy_Ethnobotany_Chemistry_and_Pharmacology_of_Solanum_Lycopersicum_Linn?enrichId=rgreq-1a388b454d6fd5e0f4dc048e6131ef21-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM0M0MDU3MzkyOTtBUzo4NzkwMzQ1OTQ1MTI4OTZAMTU4NjU4OTU4NzE1NA%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf)

- Solís, E., & Pinto, A. D. (2020, noviembre). *Evaluación de Rendimiento y Calidad Organoléptica de 5 Cultivares de Tomate para pasta*.  
<https://online.fliphtml5.com/riws/oqhj/#p=38>
- Spletzer, M., & Enyedi, A. (1999). Salicylic Acid Induces Resistance to *Alternaria solani* in Hydroponically Grown Tomato. *Phytopathology*®, 89(9), 722-727.  
<https://doi.org/10.1094/PHTO.1999.89.9.722>
- Tandazo, N., Peralta, R., Gutiérrez, M., & Bermudez, F. (2018). Efecto de *Hypocrea lixii* sobre el tizón temprano del tomate *Alternaria solani* en condiciones de invernadero, Guayas 2014-2015. *Espirales Revista Multidisciplinaria de investigación*, 2(14), Artículo 14. <https://doi.org/10.31876/re.v2i14.189>
- Teni, R., Pérez, R., & Vargas, A. (2018). *Evaluación de seis cultivares de tomate resistentes a Begomovirus, en tres localidades del departamento de Chiquimula, Guatemala. 2017*.  
<https://www.icta.gob.gt/publicaciones/Informes%20Finales%20IICA-CRIA%202020/5%20TOMATE%20ORIENTE/Cultivares%20Virosis-%20Rudy%20Teny%20-ICTA%20CIOR/Informe%20final%20cultivares%20de%20tomate.pdf>
- Vlot, A., Dempsey, D., & Klessig, D. (2009). Salicylic Acid, a multifaceted hormone to combat disease. *Annual Review of Phytopathology*, 47, 177-206.  
<https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.050908.135202>

## APÉNDICE DE FIGURAS

**Figura 40B**

*Ciclo productivo 2023 Coordinación de Producción, área de hortalizas de la ENCA*

Sub-Área	Unidad de Medida	Meta Física Anual (POA 2023)	Resultado	% de Ejecución
Producción de Hortalizas (Central y Consulados)	Acelga (manejo)	6,000.00	5,365.00	89.42%
	Apio (manejo)	3,500.00	2,921.00	83.46%
	Brócoli (unidad)	3,500.00	4,162.00	118.91%
	Cebolla (libra)	25,000.00	24,722.00	98.89%
	Chile Jalapeño (libra)	10,000.00	17,047.00	170.47%
	Chile Pimiento (libra)	13,000.00	41,539.00	319.53%
	Cilantro (manejo)	8,000.00	15,933.00	199.16%
	Coliflor (unidad)	1,000.00	409.00	40.90%
	Ejote (libra)	10,000.00	16,633.00	166.33%
	Elote Dulce (unidad)	40,000.00	40,316.00	100.79%
	Lechuga (unidad)	25,000.00	23,599.00	94.40%
	Pepino (unidad)	25,000.00	63,234.00	252.94%
	Remolacha (unidad)	15,000.00	27,688.00	184.59%
	Repollo (unidad)	4,000.00	4,584.00	114.60%
	Tomate (libra)	140,000.00	148,916.00	106.37%
Zanahoria (unidad)	11,000.00	12,183.00	110.75%	
Zuchini guicoy (unidad)	7,000.00	10,232.00	146.17%	

*Nota.* Adaptado de Escobar J. (2024) Memoria de labores –ENCA- 2023 (<https://www.enca.edu.gt/wp-content/uploads/2024/03/MEMORIA-DE-LABORES-2023.pdf>).

**Figura 41B**

*Síntoma de Alternaria solani diagnosticado en planta de tomate, con un nivel de severidad de grado 1*

**Figura 42B**

*Síntoma de Alternaria solani diagnosticado en planta de tomate, con un nivel de severidad de grado 2*



**Figura 43B**

*Síntoma de Alternaria solani diagnosticado en planta de tomate, con un nivel de severidad de grado 3*

**Figura 44B**

*Muestra foliar de una hoja de Solanum lycopersicum L. infectada por Alternaria solani observada bajo estereoscopio*

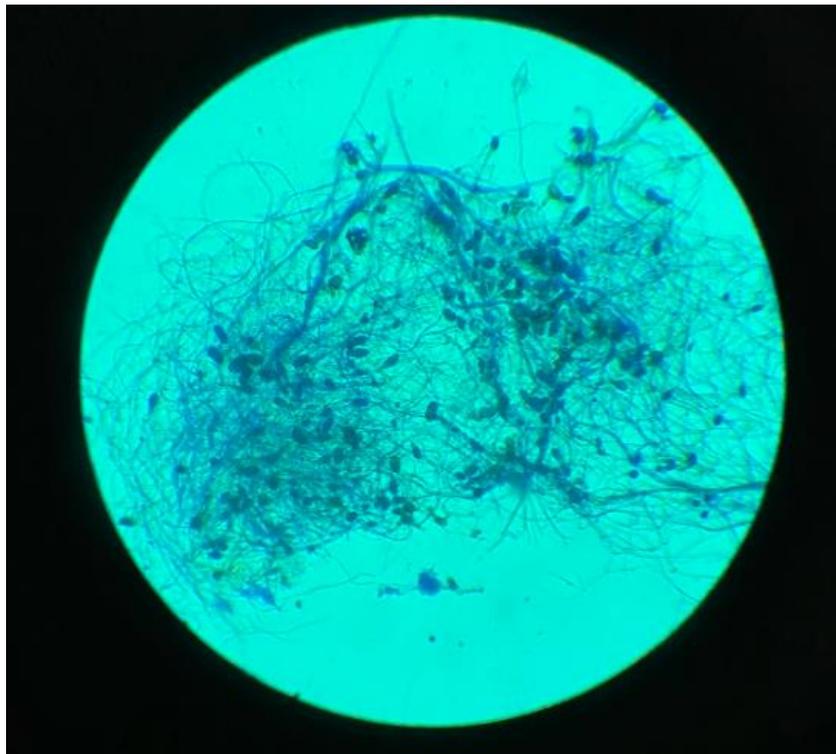


**Figura 45B**

*Análisis foliar para determinación de *Alternaria solani* en planta de tomate, laboratorio de fitopatología de la Escuela Nacional Central de Agricultura*

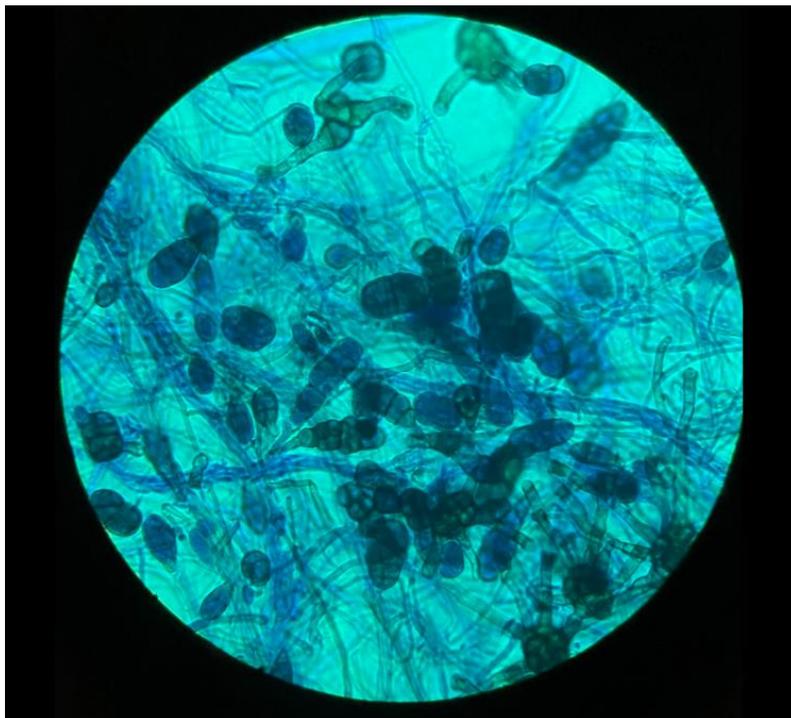
**Figura 46B**

*Estructuras de *Alternaria solani* observadas bajo microscopio. Aumento 10 X*

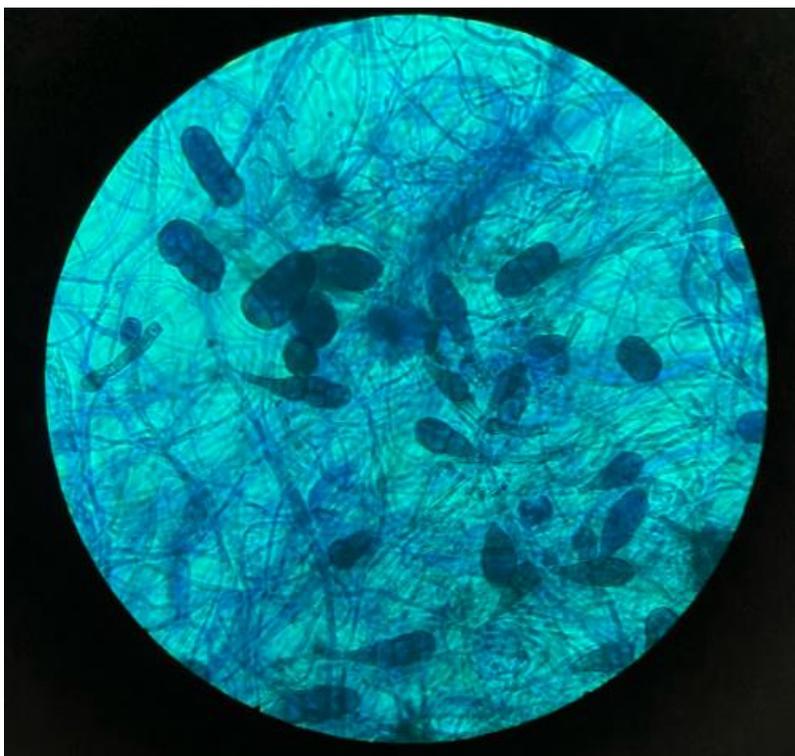


**Figura 47B**

*Conidias de Alternaria solani observadas bajo microscopio. Aumento 40 X*

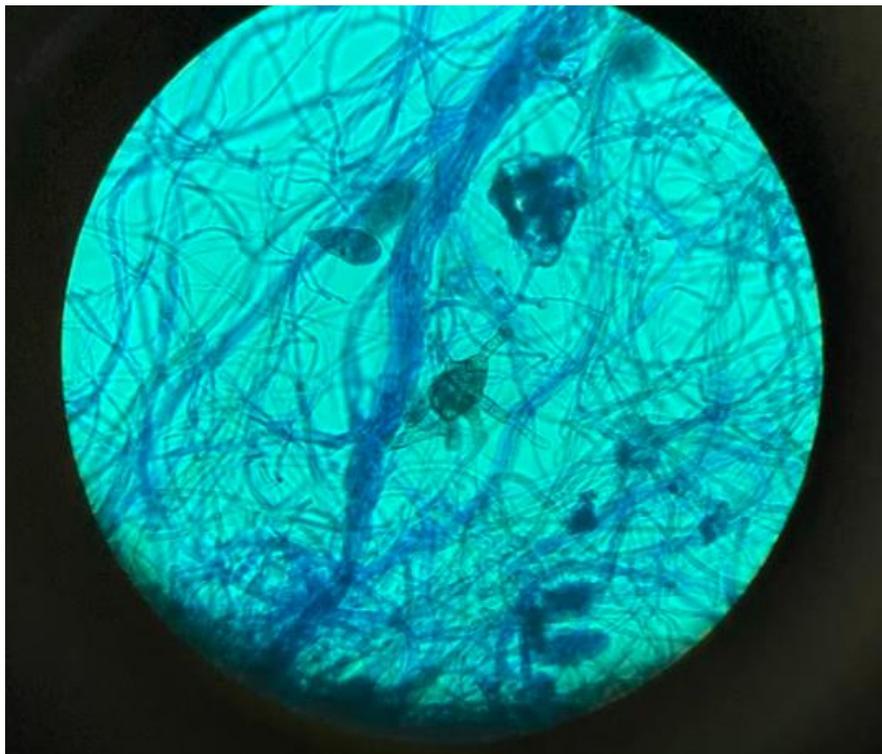
**Figura 48B**

*Conidias de Alternaria solani observadas bajo microscopio. Aumento 40 X*



**Figura 49B**

*Conidia de Alternaria solani germinada, observada bajo microscopio. Aumento 40 X*

**Figura 50B**

*Preparación del ácido salicílico para las diferentes aplicaciones de los tres tratamientos correspondientes*



**Figura 51B**

*Preparación del ácido salicílico para las diferentes aplicaciones de los tres tratamientos correspondientes*



## APÉNDICE DE TABLAS

**Tabla 16B**

*Porcentaje de incidencia, residuos y valores predichos por tratamiento*

TRATAMIENTO	INCIDENCIA	RDUO INCIDENCIA	PRED INCIDENCIA
TT	36	-2	38
TT	40	2	38
TT	36	-2	38
TT	40	2	38
T1	32	6	26
T1	32	6	26
T1	20	-6	26
T1	20	-6	26
T2	32	5	27
T2	20	-7	27
T2	24	-3	27
T2	32	5	27
T3	36	10	26
T3	16	-10	26
T3	20	-6	26
T3	32	6	26
T4	16	-3	19
T4	24	5	19
T4	16	-3	19
T4	20	1	19
T5	24	3	21
T5	20	-1	21
T5	24	3	21
T5	16	-5	21
T6	28	1	27
T6	32	5	27
T6	16	-11	27
T6	32	5	27

**Tabla 17B***Porcentajes de severidad, residuos y valores predichos por tratamiento*

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>Severidad</b>	<b>RDUO Severidad</b>	<b>PRED Severidad</b>
TT	15	-4	19
TT	23	4	19
TT	18	-1	19
TT	20	1	19
T1	12	0.75	11.25
T1	16	4.75	11.25
T1	7	-4.25	11.25
T1	10	-1.25	11.25
T2	15	1.25	13.75
T2	11	-2.75	13.75
T2	13	-0.75	13.75
T2	16	2.25	13.75
T3	17	4.5	12.5
T3	9	-3.5	12.5
T3	8	-4.5	12.5
T3	16	3.5	12.5
T4	7	-1.25	8.25
T4	11	2.75	8.25
T4	6	-2.25	8.25
T4	9	0.75	8.25
T5	11	1.75	9.25
T5	7	-2.25	9.25
T5	12	2.75	9.25
T5	7	-2.25	9.25
T6	13	0.5	12.5
T6	14	1.5	12.5
T6	7	-5.5	12.5
T6	16	3.5	12.5

**Tabla 18B**

*Promedios de los porcentajes de incidencia determinados por repetición en cada muestreo*

	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5	PROMEDIO
TTR1	0	0	20	80	80	36
TTR2	0	0	20	80	100	40
TTR3	0	0	0	80	100	36
TTR4	0	0	20	80	100	40
T1R1	0	0	40	40	80	32
T1R2	0	0	20	80	60	32
T1R3	0	0	20	20	60	20
T1R4	0	0	0	40	60	20
T2R1	0	0	40	40	80	32
T2R2	0	0	0	60	40	20
T2R3	0	0	20	40	60	24
T2R4	0	0	20	60	80	32
T3R1	0	0	40	60	80	36
T3R2	0	0	0	40	40	16
T3R3	0	0	0	40	60	20
T3R4	0	20	0	60	80	32
T4R1	0	0	0	20	60	16
T4R2	0	0	20	20	80	24
T4R3	0	20	0	20	40	16
T4R4	0	0	0	40	60	20
T5R1	0	0	20	40	60	24
T5R2	0	0	20	20	60	20
T5R3	0	0	0	60	60	24
T5R4	0	0	0	40	40	16
T6R1	0	0	40	40	60	28
T6R2	0	0	20	60	80	32
T6R3	0	0	0	20	60	16
T6R4	0	0	20	60	80	32

**Tabla 19B***Promedios de porcentajes de severidad determinados por repetición en cada muestreo*

	MUESTREO 1	MUESTREO 2	MUESTREO 3	MUESTREO 4	MUESTREO 5	PROMEDIO
TTR1	0	0	5	30	40	15
TTR2	0	0	5	40	70	23
TTR3	0	0	0	40	50	18
TTR4	0	0	10	40	50	20
T1R1	0	0	10	15	35	12
T1R2	0	0	10	40	30	16
T1R3	0	0	5	5	25	7
T1R4	0	0	0	20	30	10
T2R1	0	0	15	20	40	15
T2R2	0	0	0	30	25	11
T2R3	0	0	5	30	30	13
T2R4	0	0	10	30	40	16
T3R1	0	0	15	30	40	17
T3R2	0	0	0	20	25	9
T3R3	0	0	0	20	20	8
T3R4	0	10	0	30	40	16
T4R1	0	0	0	10	25	7
T4R2	0	0	10	10	35	11
T4R3	0	10	0	5	15	6
T4R4	0	0	0	20	25	9
T5R1	0	0	5	20	30	11
T5R2	0	0	5	10	20	7
T5R3	0	0	0	30	30	12
T5R4	0	0	0	20	15	7
T6R1	0	0	15	20	30	13
T6R2	0	0	5	30	35	14
T6R3	0	0	0	10	25	7
T6R4	0	0	10	30	40	16

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES**



**INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS EN EL ÁREA DE HORTALIZAS  
DE LA ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA -ENCA-,  
BÁRCENA, VILLA NUEVA.**

**GERARDO MARCO TULIO LÓPEZ FUENTES**

**GUATEMALA, AGOSTO DE 2025**

## **INTRODUCCIÓN**

Dentro del área de hortalizas de la Escuela Nacional Central de Agricultura, se identificaron distintas problemáticas que necesitaban ser resueltas, estas se priorizaron según las necesidades y los intereses de la Escuela mediante el diagnóstico realizado. Una vez priorizadas las problemáticas, se planteó la posible solución a estas ante las autoridades de la Escuela y de la Universidad, para posterior a su aprobación llevarlas a cabo.

En este caso, las problemáticas identificadas fueron la falta de control en las aplicaciones de fertilizantes, productos fitosanitarios y riego, por lo que la solución planteada fue el establecimiento de un registro para cada uno de los apartados mencionados. Dichos registros son fundamentales para una mejor administración de recursos, así como para la aplicación a certificaciones nacionales e internacionales, por lo que son de mucho valor para la institución.

El establecimiento de los registros fue aprobado y estos dieron inicio desde el 1 de abril de 2024 hasta el 31 de octubre del mismo año, fecha en que se finalizó la práctica supervisada.

## **OBJETIVO GENERAL**

Establecer un registro de aplicaciones para los apartados de fitosanidad, fertilidad y riego del área de hortalizas de la Escuela Nacional Central de Agricultura –ENCA-.

## **METODOLOGÍA GENERAL**

Los servicios fueron planteados y luego propuestos ante las autoridades de la Escuela Nacional Central de Agricultura y ante las autoridades de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Una vez estos fueron aprobados, se procedió a brindar instrucciones al personal de campo sobre los requerimientos para llevar a cabo estas actividades.

Se plantearon tres servicios consistentes en la implementación de registros para igual número de actividades: fertilidad, fitosanidad y riego de los cultivos. Para ello, se entregó una libreta de campo al encargado de cada una de estas actividades, junto con instrucciones claras sobre los datos que debían recopilar. El personal de campo debía

anotar diariamente la información solicitada, la cual posteriormente era transcrita al formato de registro correspondiente.

El control de estos registros dio inicio el 1 de abril de 2024 y se mantuvo hasta el 31 de octubre del mismo año, efectuándose cada día al finalizar la jornada laboral. Al concluir el Ejercicio Profesional Supervisado, se capacitó al personal de campo en el proceso de transcripción de datos al registro oficial, considerando que, en algunos casos, era necesario realizar conversiones u otros ajustes a la información recolectada. Con esto se dio finalización a los servicios contemplados para el EPS.

## **SERVICIOS EJECUTADOS**

**Servicio 1: Establecimiento y manejo de registro de las aplicaciones de fertilizante por cultivo en el área de hortalizas de la Escuela Nacional de Agricultura, Bárcena, Villa Nueva.**

### ***Antecedentes***

En el área de hortalizas de la ENCA, no se lleva un control sistemático en la entrada y salida de fertilizantes, ni de los cultivos o parcelas en donde se aplican, las cantidades y dosis en que son aplicadas; o las fechas en que se realizan estas actividades.

Si bien el personal de campo cuenta con amplia experiencia en estas labores, resulta necesario implementar un registro escrito de las aplicaciones y del uso de insumos. Esto permitiría mejorar significativamente el control tanto de los fertilizantes como de los cultivos, asegurando un manejo más eficiente y trazable de los recursos.

### ***Objetivos específicos***

- Registrar diariamente las aplicaciones de fertilizantes en el área de hortalizas.
- Detallar la entrada y salida de fertilizantes de la bodega de insumos.

### ***Metodología***

**Métodos específicos de desarrollo del servicio.** Previo al inicio del registro de datos, se informó al personal encargado de la fertilización cuáles serían los datos a tomar en cuenta, se asignó una libreta de campo y se proporcionaron las instrucciones correspondientes para la toma de datos.

Utilizando el formato del registro establecido, diariamente se realizaba la toma de datos junto al personal a cargo de la fertilización. Estos datos constaban de las parcelas fertilizadas, la cantidad de fertilizante utilizado, el método de aplicación y el producto empleado, con esto se procedía a la transcripción de datos en limpio en el registro, incluyendo fecha y observaciones que fueran relevantes.

Adicionalmente, se elaboró un inventario de los productos almacenados en bodega con el fin de llevar un control más preciso de las entradas y salidas de insumos. Este inventario se verificaba periódicamente mediante la comparación con el stock físico, asegurando la concordancia entre los registros y los productos disponibles.

### ***Resultados y Discusión***

Se registraron detalladamente las aplicaciones de fertilizantes en el área, esto incluye la fecha de aplicación, el lote y el cultivo correspondiente; el producto utilizado, la dosis y el método de aplicación; así como el nombre del encargado de dicha actividad.

La implementación de este sistema de registro permitió no solo un control más eficiente de los productos utilizados, sino también el fortalecimiento de los procesos de gestión de calidad. Este tipo de acciones sientan las bases para aspirar a certificaciones reconocidas, como la norma ISO 9001:2015 (International Organization for Standardization (ISO), 2015), entre otras.

### ***Conclusiones***

Se registraron las aplicaciones de fertilizante a diario, sus métodos de aplicación, dosis, etc. También se registró, de forma aparte, la entrada y salida de fertilizantes de bodega, con lo que se logró un mejor control de insumos.

Los productos registrados en el inventario coincidieron correctamente con los productos existentes en la bodega.

### ***Recomendaciones***

Capacitar al personal de campo para que puedan ser ellos quienes se encarguen de llevar los registros de las actividades que realizan diariamente.

## **Servicio 2: Establecimiento y control de registro de las aplicaciones fitosanitarias por cultivo en el área de hortalizas de la Escuela Nacional de Agricultura, Bárcena, Villa Nueva.**

### ***Antecedentes***

En el apartado fitosanitario, no se cuenta con un historial ni con registros escritos de las aplicaciones realizadas. Esta carencia representa una limitación importante para el manejo adecuado de plagas, ya que se incrementa el riesgo de generar resistencia debido a una inadecuada rotación de ingredientes activos, así como la aplicación de dosis inferiores o superiores a las recomendadas.

Además, la ausencia de registros, dificulta la trazabilidad de las prácticas agrícolas, lo cual es un requisito fundamental para acceder a certificaciones de calidad e inocuidad de productos, como las mencionadas previamente. Por tanto, la implementación de un sistema de registro fitosanitario no solo contribuye a mejorar la eficiencia del manejo agronómico, sino también a fortalecer los procesos hacia una producción más sostenible y certificable.

### ***Objetivos específicos***

- Registrar diaria y detalladamente las aplicaciones de productos fitosanitarios realizadas en el área de hortalizas.
- Detallar la entrada y salida diaria de bodega de los productos fitosanitarios.

### ***Metodología***

**Métodos específicos de desarrollo del servicio.** Se asignó una libreta de campo al encargado de las aplicaciones de productos fitosanitarios, en dicha libreta se encontraban las instrucciones y los datos a tomar diariamente. Los datos tomados en campo posteriormente fueron procesados y transcritos al registro.

Entre los datos recopilados, se encontraban las dosis de aplicaciones, estas dosis el trabajador de campo las reportaba en “Copas” equivalentes a 25 CC. Para los productos líquidos, se multiplicaba la cantidad de copas por la cantidad de bombas utilizadas, seguidamente se multiplicaban por los 25 CC para obtener el volumen de producto utilizado por parcela. Para los productos sólidos, se realizó una lista con el

peso equivalente de cada producto por copa, con esto se logró obtener el peso total del producto aplicado.

Al finalizar el EPS, fue explicado al trabajador de campo el proceso para las conversiones utilizado, para que quedase capacitado para seguir con los registros posteriores de forma autónoma.

En cuanto al registro de bodega, este se realizó en conjunto con el registro de fertilizantes, actualizándolo con las entradas y salidas diarias, supervisando de forma periódica que las existencias en bodega fuesen consistentes con el registro.

### ***Resultados y Discusión***

Se registró la cantidad total de cada producto aplicado diariamente, desglosado por lote y cultivo, lo que permite analizar el uso de productos fitosanitarios en el área, ya que esto repercute tanto en lo económico y ecológico, como en la calidad de los productos de la ENCA. Este registro también es clave para llevar un mejor control de la rotación de los ingredientes activos que se aplican, lo que contribuye a minimizar el riesgo de resistencia en las plagas.

Por otra parte, el registro de bodega fue verificado de forma regular mediante la comparación con las existencias físicas, asegurando la consistencia entre los productos registrados y los disponibles, y fortaleciendo así la trazabilidad y el control de insumos en el área.

### ***Conclusiones***

La implementación del registro fitosanitario permitió un control más eficiente y trazable del uso de agroquímicos, facilitó la supervisión diaria de las aplicaciones, inventarios y dosis utilizadas. Además, se capacitó al personal de campo para continuar con dicho proceso de forma autónoma y sistemática.

La implementación de este registro contribuyó significativamente a la mejora de la gestión agronómica del área de hortalizas, además de fortalecer los procesos internos necesarios para aspirar a certificaciones de calidad nacionales e internacionales.

### **Recomendaciones**

Establecer un sistema de registro permanente para las actividades relacionadas a la fitosanidad, asegurando que se cuente con el personal necesario y con la capacitación necesaria para mantener este registro preciso y actualizado.

Analizar, con base a los registros, los agroquímicos utilizados, la frecuencia de las aplicaciones, los cultivos en que se aplican, entre otros aspectos, con el objetivo de identificar posibles usos inadecuados e implementar estrategias que promuevan una producción más eficiente y responsable.

### **Servicio 3: Establecimiento y control de registro del riego aplicado a los lotes por cultivo en el área de hortalizas de la Escuela Nacional de Agricultura, Bárcena, Villa Nueva.**

#### **Antecedentes**

En el área de hortalizas no se cuenta con un control detallado en el riego de los cultivos. No se disponía de un historial que registrara el tiempo de riego por cultivo ni el caudal aplicado, datos fundamentales para calcular con precisión el volumen de agua requerido por las plantas. En ausencia de esta información, el riego se realiza de manera empírica, lo que puede dar lugar a excesos o déficits hídricos, afectando así el desarrollo y rendimiento de los cultivos.

#### **Objetivos específicos**

- Registrar diariamente los horarios de riego por parcela en el área de hortalizas.

#### **Metodología**

**Métodos específicos de desarrollo del servicio.** Al trabajador de campo encargado del riego se le asignó una libreta con las instrucciones respectivas, en ellas se indicaba que debía tomar la hora de inicio y finalización de riego por parcela diariamente, también se debía tomar el método de riego que se estaba aplicando.

Estos datos fueron recopilados diariamente; cabe mencionar que los fines de semana, ya que se rotaba el personal de riego, se brindaban instrucciones a la persona correspondiente y el día lunes de la semana entrante se trasladaban los datos a los registros oficiales.

Al concluir el Ejercicio Profesional Supervisado, se capacitó al trabajador de campo en el correcto llenado del registro, con el objetivo de que pudiera continuar con esta actividad de manera autónoma tras finalizar el servicio.

### ***Resultados y Discusión***

Se estableció un registro de las horas de inicio, finalización y método de riego por parcela, detallando el o los cultivos que se encontraban en cada una de estas. Estos aspectos son fundamentales para calcular el volumen de agua utilizado. Con esto, se logró un avance importante para poder optimizar el riego de los cultivos, evitando el exceso o déficit de humedad en el suelo. Con ello, se establece un pilar importante para asegurar una mejor producción y un uso más responsable de un recurso de vital importancia como el agua.

### ***Conclusiones***

La ausencia de un control detallado sobre el riego en el área de hortalizas, limitaba la posibilidad de aplicar volúmenes de agua adecuados, lo que podía traducirse en riegos excesivos o insuficientes. Esta situación afectaba tanto la eficiencia en el uso del recurso hídrico como el desarrollo óptimo de los cultivos.

La implementación del registro diario de riego, incluyendo la hora de inicio y finalización por parcela y el método utilizado, permitió establecer una base de datos técnica que facilitará el cálculo más preciso del volumen de agua aplicado.

### ***Recomendaciones***

Medir el caudal en las distintas salidas de agua de los sistemas utilizados, para poder obtener el volumen de agua que se está aplicando, en base al registro establecido.

Calcular en base a los cultivos que se tienen por lote, la lámina de riego a reponer en cada uno de estos. Para optimizar el uso del recurso hídrico y asegurar satisfacer las necesidades de los cultivos.

## BIBLIOGRAFÍA

Escuela Nacional Central de Agricultura . (2024). *Información Pública ENCA*. Obtenido de Información Pública ENCA: [https://www.enca.edu.gt/?page\\_id=4904](https://www.enca.edu.gt/?page_id=4904)

International Organization for Standarization (ISO). (15 de 09 de 2015). *Norma Internacional ISO 9001:2015*. Obtenido de Norma Internacional ISO 9001:2015: [https://sgc.inab.gob.gt/consultas/images/estrategicos/e2-gestion-de-calidad/normativa/Norma\\_ISO\\_9001-2015pdf.pdf](https://sgc.inab.gob.gt/consultas/images/estrategicos/e2-gestion-de-calidad/normativa/Norma_ISO_9001-2015pdf.pdf)







**Figura 55C**

Ejemplo de registro y control de riego del área de hortalizas

		Escuela Nacional Central de Agricultura -ENCA- Coordinación de Producción Agrícola				Primera Edición Revisión N°	
Registro de Riego						Página 1 de	
Unidad Productiva:						Técnico de Producción:	
Fecha:	Lote	Cultivo	Hora Inicio	Hora Final	Método utilizado	Responsable	Observaciones
21/05/2024	Parcela 3	brasa, rosa jamón, acelga	7:00	11:00	Goteo	Santiago Chiroy	
21/05/2024	Invernadero 1	Tomate	11:00	14:30	Goteo	Santiago Chiroy	
21/05/2024	Invernadero 2	Tomate	11:00	14:30	Goteo	Santiago Chiroy	
21/05/2024	Invernadero 3	Tomate	11:00	14:30	Goteo	Santiago Chiroy	
21/05/2024	Parcela 9	Maíz y Zucchini	11:00	14:30	Goteo	Santiago Chiroy	
22/05/2024	Parcela 18	Wancho, espinaca, lechuga, acelga, quínoa, remolacha	7:00	12:00	Goteo	Santiago Chiroy	
22/05/2024	Parcela 17	Cebolla y Zanahoria	7:00	12:00	Goteo	Santiago Chiroy	
22/05/2024	Parcela 9	Zucchini y maíz	7:00	12:00	Goteo	Santiago Chiroy	
22/05/2024	Invernadero 1	Tomate	7:00	12:00	Goteo	Santiago Chiroy	
23/05/2024	Parcela 1	Rosa de Jamaica, Arveja	6:30	11:00	Goteo	Juan Cár	
23/05/2024	Parcela 2	Berenjena y auyá	6:30	11:00	Goteo	Juan Cár	

Figura 56C

Ejemplo del registro y control de aplicaciones de fertilizante del área de hortalizas

Unidad Productiva:		Técnico de Producción:					
Fecha:	Lote	Cultivo	Producto	Dosis Aplicada	Método de Aplicación	Responsable	Observaciones
17/04/2024	Parcela 37	Apio, maiz, berenjena y acelga	UREA	40 libras	Goteo	Santiago Chiroy	
17/04/2024	Parcela 38	avileta, ejote y apio	UREA	30 libras	Goteo	Santiago Chiroy	
17/04/2024	Parcela 39	Maiz, ejote y Acelga	UREA	30 libras	Goteo	Santiago Chiroy	
17/04/2024	Parcela 40	Ajote y Acelga	UREA	15 libras	Goteo	Santiago Chiroy	
18/04/2024	Megatonel 9	Melon y tomate	10-10-40	25 libras	Goteo	Santiago Chiroy	No se fertilizó más fallo en la bomba
18/04/2024	Megatonel 10	Papa	10-10-40	20 libras	Goteo	Santiago Chiroy	No se fertilizó más fallo en la bomba
18/04/2024	Megatonel 12	Repollo y Coliflor	UREA	20 libras	Goteo	Santiago Chiroy	No se fertilizó más fallo en la bomba
19/04/2024	Parcela 17	Cebolla	20-5-5	30 libras	Goteo	Santiago Chiroy	
19/04/2024	Invernadero 1	Tomate	15-15-15	72 libras	Chuseo	Santiago Chiroy	
19/04/2024	Megatonel 1	Repollo	20-30-10	20 libras	Goteo	Santiago Chiroy	
19/04/2024	Megatonel 4	Chile jalapeño	20-30-10	10 libras	Goteo	Santiago Chiroy	

Figura 57C

Ejemplo del registro y control fitosanitario del área de hortalizas

				Escuela Nacional Central de Agricultura -ENCA- Coordinación de Producción Agrícola		Primera Edición Revisión No.: 01
				Registro Control Fitosanitario		Página 1 de 1
Unidad Productiva:				Técnico de Producción:		
Fecha:	Lote	Cultivo	Producto	Dosis aplicada	Responsable	Observaciones
24/09/2024	Parcela 42	Maíz dulce	Bayfolan	50cc	Luis Ramirez	
24/09/2024	Parcela 42	Maíz dulce	Imbirex	25cc	Luis Ramirez	
24/09/2024	Parcela 40	Maíz dulce	Colonio team	30g	Luis Ramirez	
24/09/2024	Parcela 40	Maíz dulce	serifel	30g	Luis Ramirez	
24/09/2024	Parcela 40	Maíz dulce	Artillero	25cc	Luis Ramirez	
24/09/2024	Parcela 40	Maíz dulce	Proclaim	7g	Luis Ramirez	
24/09/2024	Parcela 40	Maíz dulce	Agrobat	50cc	Luis Ramirez	
24/09/2024	Parcela 40	Maíz dulce	Imbirex	25cc	Luis Ramirez	
24/09/2024	Megatonel 14	Maíz criollo	Urgente	28g	Luis Ramirez	
24/09/2024	Megatonel 14	Maíz criollo	Artillero	50cc	Luis Ramirez	
24/09/2024	Megatonel 14	Maíz criollo	Proclaim	14g	Luis Ramirez	



**Figura 59C**

Ejemplo de registro y control de entradas y salidas de los productos de bodega del área de hortalizas

Unidad Productiva:				Técnico de Producción:			
Fecha:	Ingreso bodega interna:	Cantidad:	Unidad de Medida:	Salida bodega interna:	Cantidad:	Unidad de Medida:	Saldo:
17/09/2024	Oberon	2	500ml	Oberon	1	500ml	1
17/09/2024	Sivanto	2	500ml	Sivanto	1	500ml	1
17/09/2024				Monarca	1	Litro	
17/09/2024				Moverto	1	250ml	2
17/09/2024				12-24-12	1	quintal	
19/09/2024				Infinito	1	Litro	1
19/09/2024				Monarca	1	Litro.	
19/09/2024	Connect	4	1L	Connect	1	Litro	3
19/09/2024	Decis	2	1L	Decis	1	Litro	1
19/09/2024				Murala delta	1	Litro	∅
19/09/2024				Sivanto	1	500ml	∅