



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**EFFECTO DE TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS Y  
SUSTENTABLES EN PRECOSECHA Y POSCOSECHA PARA EL  
CONTROL DE *Botrytis cinerea* EN FRESA**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Presenta**

Bioing. Alejandra Gaxiola Ramírez

**Dirigido por**

Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva

Querétaro, Querétaro a 24 de noviembre de 2025

La presente obra está bajo la licencia:  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



CC BY-NC-ND 4.0 DEED

Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional

### Usted es libre de:

**Compartir** — copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

### Bajo los siguientes términos:



**Atribución** — Usted debe dar [crédito de manera adecuada](#), brindar un enlace a la licencia, e [indicar si se han realizado cambios](#). Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.



**NoComercial** — Usted no puede hacer uso del material con [propósitos comerciales](#).



**SinDerivadas** — Si [remezcla, transforma o crea a partir](#) del material, no podrá distribuir el material modificado.

**No hay restricciones adicionales** — No puede aplicar términos legales ni [medidas tecnológicas](#) que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

### Avisos:

No tiene que cumplir con la licencia para elementos del material en el dominio público o cuando su uso esté permitido por una [excepción o limitación](#) aplicable.

No se dan garantías. La licencia podría no darle todos los permisos que necesita para el uso que tenga previsto. Por ejemplo, otros derechos como [publicidad, privacidad, o derechos morales](#) pueden limitar la forma en que utilice el material.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

**FACULTAD DE QUÍMICA**

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**EFFECTO DE TRATAMIENTOS ALTERNATIVOS Y  
SUSTENTABLES EN PRECOSECHA Y POSCOSECHA PARA EL  
CONTROL DE *Botrytis cinerea* EN FRESA**

**TESIS**

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de:

**MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

**Presenta**

Bioing. Alejandra Gaxiola Ramírez

**Dirigido por**

Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva

Dr. Edmundo Mateo Mercado Silva

Presidente

Dr. Gerardo M. Nava Morales

Secretario

Dra. Ma. Estela Vázquez Barrios

Vocal

Dr. Ángel Rebollar Alviter

Suplente

Dr. Ángel Ramón Flores Sosa

Suplente

Centro universitario Querétaro, Qro.

Noviembre, 2025.

México

## **Agradecimientos**

A mi familia por siempre confiar en mí y brindarme su apoyo incondicional.

Al Dr. Edmundo Mercado por compartir sus conocimientos, por su paciencia, apoyo y guía durante todo el proyecto.

A los miembros del comité Dra. Estela, Dr. Gerardo y Dr. Ángel Rebollar, por su tiempo y contribuciones en el presente trabajo.

Al Dr. Ramón por sus enseñanzas y aportaciones durante todo el proyecto.

A mis compañeros de laboratorio Alan, Anthony, Pablo y Jennifer, por las risas y buenos momentos compartidos.

A la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (SECIHTI) por la beca otorgada.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DE ESTUDIANTE: Declaro que los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras. Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.

**Alejandra Gaxiola Ramírez**

## Resumen

México es uno de los principales países productores de fresa; sin embargo, su proceso de comercialización se ve fuertemente afectado por la incidencia de la podredumbre gris causada por el hongo *Botrytis cinerea*, generando rechazos en los mercados de destino. El manejo convencional de esta enfermedad incluye el uso de fungicidas que provocan resistencia del hongo y problemas ambientales. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de aplicaciones, pre y poscosecha, de dos fitohormonas, ácido salicílico (AS) y metil jasmonato (MeJA), involucradas en la resistencia de la planta a los patógenos, y compararlas con un fungicida comercial. Cuatro parcelas con plantas de fresa cv. '3128', de un huerto comercial en Camalú, BC, México, fueron asperjadas en etapa de floración con diferentes soluciones de: i) fungicida Fontelis® (200 g/L), ii) AS a 4 y 6 mM y iii) agua como control. La fruta fue cosechada después de 28 días, empacada en clamshells, almacenada 12 días a 1 °C y 90 % HR. En poscosecha, frutos de fresa, del mismo origen, se asperjaron con soluciones de AS (4 y 6 mM) o MeJA (0.05 y 0.10 mM), y agua como control. En ambos experimentos, se evaluó la incidencia de *Botrytis cinerea*, el contenido de fenoles totales, antocianinas y la calidad de la fruta. Después de 12 días de almacenamiento a 1 °C, las aplicaciones de 4 mM AS redujeron la incidencia de *B. cinerea* de manera comparable al fungicida comercial. De manera similar, las aplicaciones poscosecha de 0.10 mM de MeJA, así como de AS, redujeron la incidencia de la enfermedad hasta 77 % en comparación con la fruta control. Los tratamientos precosecha y poscosecha con AS y MeJA indujeron la biosíntesis de compuestos fenólicos y antocianinas para conformar la estructura del sistema de resistencia de la planta, disminuyeron la incidencia del patógeno, y mejoraron el color del fruto durante 12 días a 1 °C. Los tratamientos con fitohormonas constituyen una alternativa sostenible a los fungicidas para el control de la podredumbre gris y preservar la calidad de la fruta de fresa.

**Palabras clave:** fresa, *Botrytis cinerea*, fungicidas, metil jasmonato (MeJA), ácido salicílico (AS).

## Abstract

Mexico is one of the main strawberry-producing countries; however, their marketing process is strongly affected by the incidence of gray rot caused by *Botrytis cinerea* fungus, which causes rejections in destination markets. Conventional management of this disease includes use of fungicides that cause resistance by the fungus and environmental problems. The objective of this work was to evaluate the effect of applications, pre and postharvest, of two phytohormones, salicylic acid (SA) and methyl jasmonate (MeJA) involved in the plant resistance to pathogens and to compare them with commercial fungicide. Four plots with strawberry plants cv. '3128', from a commercial orchard in Camalu, BC, Mexico, were sprayed at flowering stage with different solutions of: i) Fontelis® fungicide (200 g/L), ii) AS at 4 and 6 mM and iii) water as control. The fruit was harvested after 28 days, packed in clamshells, stored 12 days at 1 °C and 90% RH. In postharvest, strawberry fruits, from the same origin, were sprayed with solutions of SA (4 and 6 mM) or MeJA (0.05 and 0.10 mM), and water as a control. In both experiments, the incidence of *Botrytis cinerea*, total phenolic and anthocyanin contents, and fruit quality were evaluated. After 12 days of storage at 1°C, applications of 4 mM AS reduced the incidence of *B. cinerea* in a manner comparable to the commercial fungicide. Similarly, postharvest applications of 0.10 mM MeJA, as well as AS, reduced disease incidence by up to 77% compared to control fruit. Preharvest and postharvest treatments with AS and MeJA induced the biosynthesis of phenolic compounds and anthocyanins to form the structure of the plant's resistance system, decreased pathogen incidence, and improved fruit color for 12 days at 1°C. Phytohormone treatments constitute a sustainable alternative to fungicides for controlling gray rot and preserving strawberry fruit quality.

**Keywords:** strawberry, *Botrytis cinerea*, fungicides, methyl jasmonate (MeJA), salicylic acid (SA).

## Índice

### Resumen

### Abstract

### Índice de figuras

### Índice de cuadros

<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
<b>2. Antecedentes .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Producción mundial y nacional de fresa .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Producción mundial.....	3
2.1.2 Evolución de la producción nacional de fresa .....	5
2.1.2.1 Cambios en los rendimientos de producción en el cultivo de fresa en México.....	6
2.1.3 Valor económico de la producción. ....	8
2.1.3.1 Principales Estados productores de fresa en México.....	9
2.1.4 Destino de la producción nacional de fresa en México.....	10
<b>2.2 Generalidades del cultivo de fresa.....</b>	<b>11</b>
2.2.1 Taxonomía .....	11
2.2.2 Características de la planta.....	12
2.2.3.1 Desarrollo vegetativo .....	14
2.2.3.2 Iniciación floral .....	14
2.2.3.3 Desarrollo de la flor .....	15
2.2.3.4 Floración .....	15
2.2.3.5 Desarrollo del fruto .....	16
2.2.3.6 Maduración .....	16
<b>2.2.4 Características del fruto .....</b>	<b>17</b>
2.2.4.1 Desarrollo del fruto .....	17



2.2.4.2 Partes del fruto .....	17
2.2.4.3 Propiedades nutricionales del fruto .....	18
2.2.4.4 Antocianinas en el fruto.....	19
2.2.4.4 Antocianinas en el fruto.....	21
2.2.5 Factores que afectan la calidad poscosecha del fruto .....	22
<b>2.3 Trastornos patológicos en fresa .....</b>	<b>23</b>
2.3.1 Características generales de <i>B. cinerea</i> .....	24
2.3.1.1 Ciclo de vida y mecanismo de infección de <i>B. cinerea</i> .....	24
2.3.1.2 Factores de virulencia de <i>B. cinerea</i> y su participación en cada etapa de la infección .....	26
2.3.1.3 Características del desarrollo de <i>B. cinerea</i> .....	28
<b>2.4 Respuestas de defensa de la planta contra la infección de <i>B. cinerea</i>. .....</b>	<b>28</b>
2.4.1 Resistencia de las plantas a enfermedades .....	29
2.4.2 Resistencia a enfermedades mediada por ácido salicílico (AS) .....	30
2.4.3 Rutas de señalización relacionadas a la resistencia a enfermedades en plantas.....	31
<b>2.5 Elementos de control de <i>B. cinerea</i> .....</b>	<b>32</b>
2.5.1 Factores involucrados en el control de <i>B. cinerea</i> .....	32
2.5.2 El uso de fungicidas para el control de <i>B. cinerea</i> .....	33
2.5.3 Tratamientos precosecha utilizados para el control de infecciones por <i>B. cinerea</i> .....	34
2.5.3.1 Aplicaciones de citocinina .....	36
2.5.3.2 Metil jasmonato y quitosano.....	36
2.5.4 Tratamientos poscosecha utilizados para controlar las infecciones de <i>B. cinerea</i> .....	37
2.5.4.1 Salicilato de metilo .....	37

2.5.4.2 Aplicación de Melatonina .....	37
2.5.4.3 Ácido salicílico.....	38
2.5.4.4 Efectos del resveratrol y el pirimetanil contra <i>B. cinerea</i> .....	38
2.5.4.5 Aplicaciones de MeJA.....	39
<b>3. Justificación.....</b>	<b>41</b>
<b>4. Objetivos.....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Objetivo general.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>42</b>
<b>5. Metodología.....</b>	<b>43</b>
<b>5.1 Localización del huerto experimental, origen de las muestras de fresa y compuestos químicos utilizados.....</b>	<b>43</b>
5.1.1 Estrategia experimental.....	43
<b>5.2 Preparación de las soluciones de AS y MeJA .....</b>	<b>46</b>
5.2.1 Aplicaciones de Ácido Salicílico en poscosecha .....	46
5.2.2 Aplicaciones de Metil Jasmonato en poscosecha .....	46
<b>5.3 Inoculación de <i>B. cinerea</i> en frutos de fresa .....</b>	<b>47</b>
5.3.1 Medición de incidencia de <i>B. cinerea</i> .....	48
<b>5.4 Análisis de calidad .....</b>	<b>48</b>
5.4.1 Pérdida de peso .....	48
5.4.2 Firmeza .....	48
5.4.3 Acidez titulable y SST.....	49
5.4.4 Color.....	49
<b>5.5 Análisis fitoquímicos.....</b>	<b>50</b>
5.5.1 Contenido de antocianinas .....	50
5.5.2 Contenido de compuestos fenólicos totales .....	50
<b>5.6 Diseño experimental y análisis estadístico de los datos .....</b>	<b>52</b>

<b>6. Resultados y discusión .....</b>	<b>53</b>
<b>6.1 Efecto de la aplicación del AS en precosecha .....</b>	<b>53</b>
6.1.1 Efecto de la aplicación de AS en la incidencia de <i>B. cinerea</i> . ....	53
6.1.2 Cambios en el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas ...	57
6.1.3 Efectos de los tratamientos en la calidad del fruto. ....	61
6.1.3.1 Efecto sobre la pérdida de peso y firmeza de los frutos.....	61
6.1.3.2 Acidez titulable y SST (° Brix) .....	65
6.1.3.3 Efectos de los tratamientos en el color de los frutos .....	67
<b>6.2 Estudios de aplicaciones en poscosecha .....</b>	<b>72</b>
6.2.1 Efecto de la aplicación de AS y MeJA en la incidencia de <i>B. cinerea</i> . ....	72
6.2.2 Cambios en el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas ...	75
6.2.3 Efectos de los tratamientos en la calidad del fruto. ....	78
6.2.3.1 Efecto de los tratamientos sobre la pérdida de peso y firmeza de los frutos. ....	78
6.2.3.2 Efectos de los tratamientos en la acidez titulable y contenido de sólidos solubles o ° Brix. ....	83
6.2.3.3 Cambios en el color de los frutos .....	85
<b>7. Conclusiones .....</b>	<b>91</b>
<b>8. Referencias.....</b>	<b>93</b>

## Índice de figuras

Figura 1. Cambios en la producción mundial y superficie sembrada de fresa 2010 - 2023 (FAOSTAT, 2023).	3
Figura 2. Principales países productores de fresa en el periodo 2010-2023 (FAOSTAT,2023).	4
Figura 3. Evolución de la producción nacional y la superficie sembrada de fresa en el periodo 2010-2023 (SIAP, 2023).	6
Figura 4. Cambios en el valor de la producción por tonelada de fresa en México durante el periodo 2010 – 2023. Datos calculados de las estadísticas de producción del SIAP, 2023.	9
Figura 5. Producción de fresa en Michoacán, Baja California y Guanajuato en el periodo 2010-2023 (SIAP, 2023).	10
Figura 6. Destino de la producción nacional de fresa en México (SIAP,2023).	11
Figura 7. Estructura anatómica de la planta de fresa (Bolda et al., 2015).	13
Figura 8. Etapas fenológicas del cultivo de fresa. Elaboración propia.	15
Figura 9. Etapas del desarrollo del fruto. Imagen tomada de Cultifort (2023).	18
Figura 10. Componentes principales del ‘fruto’ de la fresa (Bolda et al., 2015).	18
Figura 11. Etapas de desarrollo Botrytis cinerea durante desarrollo de la enfermedad (Agrios, 2005).	27
Figura 12. Características visuales de la infección por <i>B. cinerea</i> en diferentes órganos de fresa. Panel A: flor senescente con crecimiento de micelio de <i>B. cinerea</i> . Panel B: infección floral avanzada. Panel C y D: infecciones de la fruta en diferentes etapas. Panel E y F: oscurecimiento de las hojas. Tomada de Petrasch <i>et al.</i> , (2019).	29
Figura 13. Estrategia experimental seguida para la aplicación de AS, fungicida comercial, MeJA y controles en frutos de fresa precosecha en la etapa de floración y en poscosecha en frutos maduros. Las evaluaciones de calidad e incidencia de la enfermedad se efectuaron en frutos almacenados a 1 °C por doce días.	44

Figura 14. Evolución de incidencia de <i>B. cinerea</i> en frutos de fresa cv '3128' tratados en precosecha con: T1 (H <sub>2</sub> O control), T2 (fungicida Fontelis®), T3 (AS 4 Mm) y T4 (As 6 mM) y almacenados por 0, 4, 8 y 12 días a 1 °C y 90 % HR.....	56
Figura 15. Cambios en el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas en frutos de fresa, tratados con AS (4 y 6 mM), fungicida y control, y almacenados 12 días a 1 °C. <b>A)</b> Fenoles totales <b>B)</b> Antocianinas.....	59
Figura 16. Cambios en la pérdida de peso y firmeza de frutos de fresa, almacenados durante 12 días a 1 °C, con la aplicación de AS (4 y 6 mM) y fungicida, así como su respectivo control, en la planta durante la floración de la planta. <b>A)</b> % Pérdida de peso y <b>B)</b> Firmeza (N). ....	63
Figura 17. Cambios en la composición química y sabor de los frutos de fresa, almacenados durante 12 días a 1 °C, con la aplicación de AS (4 y 6 mM) y fungicida, así como su respectivo control, en la planta durante la floración de la planta. <b>A)</b> % AT y <b>B)</b> % SST. ....	67
Figura 18. Cambios en el color de los frutos (cromaticidad y ángulo de matiz) de frutos de fresa tratados, con AS (4 y 6 mM) y fungicida, con relación al control durante la floración y almacenados durante 4, 8 y 12 días a 1 °C. <b>A)</b> h* y <b>B)</b> C*.....	70
Figura 19. Evolución de incidencia de <i>B. cinerea</i> en frutos de fresa cv '3128' tratados en poscosecha con: T1 (control), T2 (AS 4 mM), T3 (AS 3 Mm), T4 (MeJA 0.05 mM) y T5 (MeJA 0.10 mM), al día 0, 4, 8 y 12 de almacenamiento a 1 °C y HR del 90 %.....	74
Figura 20. Cambios en el contenido de fenoles totales y antocianinas en frutos de fresa tratados con AS (4 y 6 mM), y MeJA (0.05 y 0.10 mM) y grupo control almacenados durante 12 días a 1 °C. <b>A)</b> Fenoles totales y <b>B)</b> Antocianinas....	78
Figura 21. Cambios en la pérdida de peso y firmeza de los frutos de fresa, almacenados durante 12 días a 1 °C, con la aplicación poscosecha de AS (4 y 6 mM) y MeJA (0.05 y 0.10 mM), así como su respectivo control. <b>A)</b> % Pérdida de peso y <b>B)</b> Firmeza (N). ....	81
Figura 22. Cambios en los contenidos de acidez titulable y de sólidos solubles totales de frutos de fresa, tratados en poscosecha con AS (4 y 6 mM) y MeJA (0.05 y 0.10 mM), así como su respectivo control. <b>A)</b> Cambios en la	

acidez titulable (AT) y <b>B)</b> Cambios de los sólidos solubles totales durante el almacenamiento.....	85
Figura 23. Cambios en el color (cromaticidad y ángulo de matiz) de los frutos de fresa, almacenados durante 12 días a 1 °C, después de la aplicación poscosecha de AS (4 y 6 mM) y MeJA (0.05 y 0.10 mM), así como su respectivo control. <b>A)</b> h* y <b>B)</b> C* . ....	89

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Principales países productores de fresa en el año 2010 y 2023.....	5
Cuadro 2. Rendimientos calculados de la producción de fresa en México en el periodo 2010-2023.....	7
Cuadro 3. Taxonomía de la fresa. ....	12
Cuadro 4. Composición nutricional de fresa fresca por porción de 100 g.....	20
Cuadro 5. Contenido de vitaminas y minerales en fresa fresca por porción de 100g. ....	21
Cuadro 6. Fungicidas utilizados contra <i>Botrytis cinerea</i> . ....	35
Cuadro 7. Efecto de la aplicación precosecha de ácido salicílico (AS) en la incidencia de <i>Botrytis cinerea</i> (%) en frutos de fresa cv '3128' durante su almacenamiento a 1 °C y 90 % de HR.....	53
Cuadro 8. Valor de significancia estadística de los factores fijos experimentales en la incidencia de <i>Botrytis cinerea</i> en frutos de fresa.....	54
Cuadro 9. Comparación estadística por pares de tratamientos en la reducción de la incidencia de <i>Botrytis cinerea</i> en frutos de fresa.....	55
Cuadro 10. Comparación general y por día de los valores medios del contenido de fenoles totales entre los tratamientos control, y las aplicaciones de fungicida y ácido salicílico (4 y 6 mM).....	58
Cuadro 11. Comparación general y por día de almacenamiento de la media del contenido de antocianinas de frutos control de fresa y tratados con fungicidas y con ácido salicílico (4 y 6 mM). ....	61
Cuadro 12. Comparación general de medias y durante el almacenamiento de la pérdida de peso de frutos de fresa sujetos a diferentes tratamientos precosecha. ....	62
Cuadro 13. Comparación general y durante el almacenamiento de la firmeza de frutos de fresa sujetos a diferentes tratamientos para el control de <i>B. cinerea</i> .....	64
Cuadro 14. Comparación general y por día de almacenamiento de la media de la acidez (columna izquierda) y SST (columna derecha) de frutos control de fresa y tratados con fungicidas y con ácido salicílico (4 y 6 mM).....	66
Cuadro 15. Comparación general de medias y por día de almacenamiento de los valores de color hue (columna izquierda) y cromaticidad (columna derecha) en frutos de fresa sujetos a diferentes tratamientos durante la floración. ....	69

Cuadro 16. Comparación general de medias del valor de color $a^*$ y durante los diferentes días de almacenamiento de frutos de fresa de plantas sujetas a diferentes tratamientos durante la floración. ....	71
Cuadro 17. Efecto de la aplicación poscosecha de ácido salicílico (AS) y metil jasmonato (MeJA) en la incidencia de Botrytis cinerea en frutos de fresa cv '3128' durante su almacenamiento a 1 °C y HR del 90 %. ....	72
Cuadro 18. Valor de significancia estadística de los factores fijos experimentales en la incidencia de Botrytis cinerea en frutos de fresa tratados con 4 y 6 mM de AS y con MeJA (0.05 y 0.10 mM). ....	73
Cuadro 19. Comparación estadística por pares de tratamientos en la reducción de la incidencia de Botrytis cinerea en frutos de fresa.....	73
Cuadro 20. Comparación general y por día de almacenamiento de la media del contenido fenólico (columna izquierda) y antocianinas (columna derecha) de frutos control de fresa y tratados con con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM). ....	76
Cuadro 21. Comparación general y por día de almacenamiento de la media de la pérdida de peso de frutos control de fresa y con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM).....	79
Cuadro 22. Comparación general y por día de almacenamiento de la firmeza de frutos de fresa sujetos a diferentes tratamientos poscosecha con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM). ....	82
Cuadro 23. Comparación general y por día de almacenamiento de la media de la acidez titulable (columna izquierda) y SST (columna derecha) de frutos control y tratados con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM).....	84
Cuadro 24. Comparación general y por día de almacenamiento de la media del valor de $h^*$ (columna izquierda) y $C^*$ (columna derecha) de frutos de fresa tratados con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM). ....	87
Cuadro 25. Comparación general y por día de almacenamiento de la media del valor de color $a^*$ en frutos de fresa cv '3178' tratados con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM) en poscosecha.....	90



## 1. Introducción

México es uno de los principales productores de fresa a nivel mundial con una producción anual de 641,552.22 t, de las cuales 86, 488.89 t se exportaron a Estados Unidos, generando ingresos por 3,258,924.83 (miles de pesos) (FAOSTAT, 2023; SIAP, 2023). La producción y exportación de fresa puede afectarse por distintos factores pre y poscosecha; una de las principales causas que genera la pérdida de frutos de fresa en ambas etapas es la presencia de *B. cinerea*. Este hongo es considerado el segundo fitopatógeno de mayor importancia agroeconómica debido a su amplia gama de huéspedes ocasionándoles daños e impactando negativamente su vida de anaquel y calidad (Youssef *et al.*, 2019).

Para controlar la prevalencia de *B. cinerea*, generalmente se recurre al uso de fungicidas como captan, fontelis, luna, entre otros, que ayudan a controlar la infección en el cultivo. Sin embargo, algunos de estos fungicidas ya no son efectivos debido a que *B. cinerea* ha desarrollado resistencia (Hahn, 2014). Para tener control eficaz y seguro de *B. cinerea* es necesario tomar medidas alternativas; se ha reportado que la aplicación de tratamientos basados en fitohormonas como el ácido salicílico (AS) y metil jasmonato (MeJA) han mostrado resultados positivos en distintos frutos debido a que inducen en los frutos actividad fungistática contra *Botrytis* (Dieryckx *et al.*, 2015; Jeyasri *et al.*, 2023).

El AS es un compuesto fenólico simple que activa los sistemas de defensas de las plantas, especialmente la resistencia sistémica adquirida (SAR) (Kumar, 2014). La defensa dada por AS actúa principalmente contra los biótros. Asimismo, se ha observado que la aspersión de AS induce mayor expresión de genes relacionados a la síntesis de flavonoides y acumulación de proantocianidinas, así como expresión de genes relacionados a la patogénesis (Feng *et al.*, 2020); por otro lado, la implementación exógena de MeJA regula las respuestas de defensa mejorando la producción de metabolitos secundarios, aumentando la actividad de enzimas antioxidantes y expresión de genes asociados con la defensa de la planta (Jeyasri *et al.*, 2023). Bajo este contexto, el presente trabajo de investigación se enfocó en evaluar el efecto de

fitohormonas (AS y MeJA) aplicadas en pre y poscosecha con el objetivo de reducir la incidencia del hongo *B. cinerea* y conservar la calidad en los frutos. Estos tratamientos podrían sustituir el uso de fungicidas, generando estrategias sustentables y efectivas en la producción y comercialización de fresa.

## 2. Antecedentes

### 2.1 Producción mundial y nacional de fresa

#### 2.1.1 Producción mundial

Las estadísticas para la producción de alimentos de la Organización para la Agricultura y la Alimentación muestran una tendencia al alza en la producción mundial de fresa desde el año 2010 al año 2023 (FAOSTAT, 2023). Registrándose en el año 2010 una producción de 6,298,346.69 toneladas y de 10,485,454.06 en el año 2023 (Figura 1) esto representó un incremento del 40 % respecto del año 2010. También la superficie cosechada mostró incrementos desde 301,059 hectáreas en 2010 hasta 434,977 hectáreas en 2023 un incremento del 31 %; estos datos sugieren un incremento estimado de aproximadamente 15 % en el rendimiento por hectárea, pasando de 20.92 t/ha en 2010 a 24.10 t/ha en 2023.

El incremento de producción de 2010 a 2023 parece ser explicado por el aumento en las superficies sembradas, para satisfacer la demanda de los consumidores.

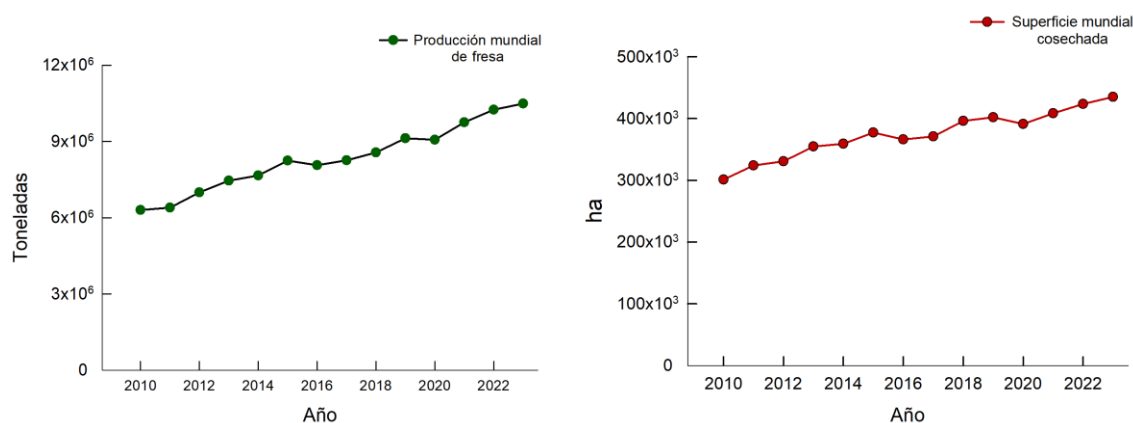


Figura 1. Cambios en la producción mundial y superficie sembrada de fresa 2010-2023 (FAOSTAT, 2023).

#### 2.1.1.2 Principales países productores de fresa

Datos de FAOSTAT, (2023), indican que los principales países productores de fresa en el periodo de 2010 a 2023 fueron China que produjo el 27.89 % de la producción global, seguido de Estados Unidos que produjo el 12.19 % y en tercer lugar se ubicó a México que produjo el 4.77 % de la producción, seguido de Turquía (4.38 %), Egipto (4.02 %) y España (3.10 %) (Figura 2). Estos seis países aportaron más de la mitad de la producción mundial.

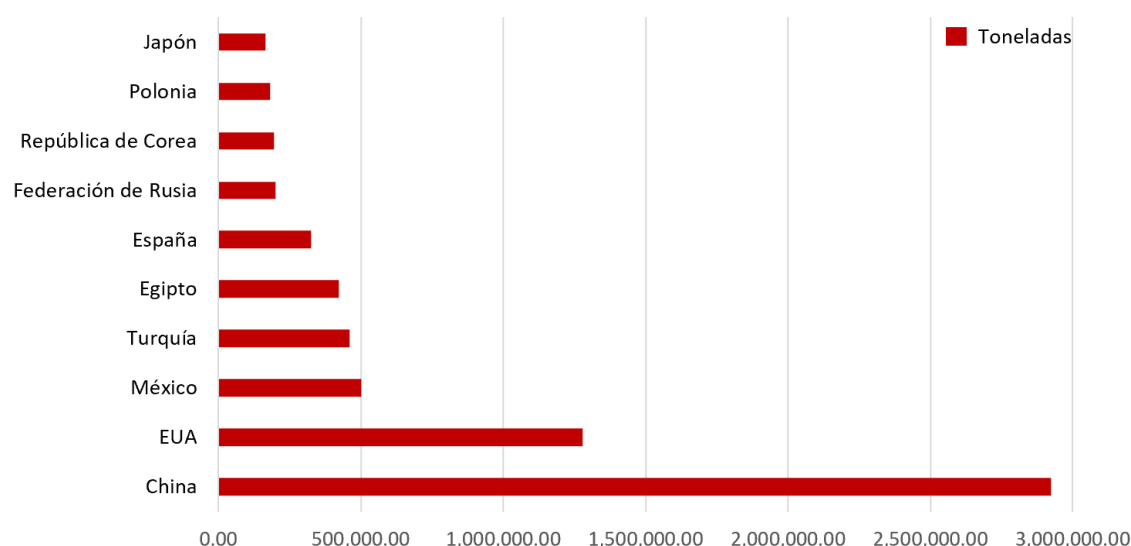


Figura 2. Principales países productores de fresa en el periodo 2010-2023 (FAOSTAT,2023).

Los países que registraron incrementos en la producción en el año 2023 respecto al año 2010 (Cuadro 1) fueron Egipto (67.38 %), seguido de México (64.67 %), China (57.37 %), Turquía (55.68 %), Federación de Rusia (36.82 %), Brasil (38.97 %), Polonia (21.12 %) y España (16.37 %), y los que presentaron un decremento fueron EUA (-3.36 %), Japón (-10.72 %), (Alemania -16.73 %) y República de Corea (-23.34 %), conservando su lugar en producción únicamente China (1° lugar), Estados Unidos (2° lugar), el resto de los países como Egipto, México y la Federación de Rusia subieron de posición quedando en 3°, 5° y 7° lugar respectivamente (FAOSTAT,2023).

Cuadro 1. Principales países productores de fresa en el año 2010 y 2023.

Año	Orden	País	Prod. (t)	Año	Orden	País	Prod. (t)	Incremento
2010	1	China	1,794,000	2023	1	China	4,209,269.86	57.37 %
	2	EUA	1,293,650		2	EUA	1,250,100	-3.36 %
	3	Turquía	299,940		3	Egipto	731,144.93	67.38 %
	4	España	275,355		4	Turquía	676,818	55.68 %
	5	Egipto	238,432		5	México	641,552.22	64.67 %
	6	Rep. de Corea	231,803		6	España	329,280	16.37 %
	7	México	226,657		7	F. de Rusia	261,168.09	36.82 %
	8	Japón	177,500		8	Polonia	194,500	21.12 %
	9	F. de Rusia	165,000		9	Rep. de Corea	177,682.33	-23.34 %
	10	Alemania	156,911		10	Brasil	187,795.78	28.97 %

Elaborada con información tomada de FAOSTAT, (2023).

### 2.1.2 Evolución de la producción nacional de fresa

De acuerdo con los datos del SIAP, (2023), tanto la superficie sembrada como la producción se incrementaron 61 % y 74 % respectivamente dentro del periodo 2010 hasta el 2019 (Figura 3) (SIAP, 2023). Según esta fuente de datos, para el año 2010, en 6,555.41 hectáreas sembradas se produjeron 226,657.28 t de fresa, mientras que, en el año 2019, en 16,838.49 hectáreas se produjeron 861,336.82 t de esa fruta.

Después de tener un año tan productivo en 2019, en el 2020 se registró un notable decremento del -36.97 % en la producción y de -29.11 % en la superficie sembrada. Dado que no se registraron eventos climáticos o meteorológicos que expliquen estas reducciones, diferentes medios asumen este impacto como consecuencia de las medidas sanitarias tomadas para el control de la pandemia COVID-19 ocasionando que las exportaciones se detuvieran o disminuyeran, además, también hubo disminución en el consumo nacional obligando a los productores a reducir la superficie de siembra y la correspondiente disminución de la producción (Estrategia Aduanera, 2021). No obstante, entre 2018 – 2022 los ataques de una enfermedad fúngica *Neopestalotiopsis rosae* hicieron

encender todas las alarmas a los productores de fresa del país por su repentino y descontrolado avance y destrucción de plantaciones (Navarro & Pizarro Yáñez, 2024).

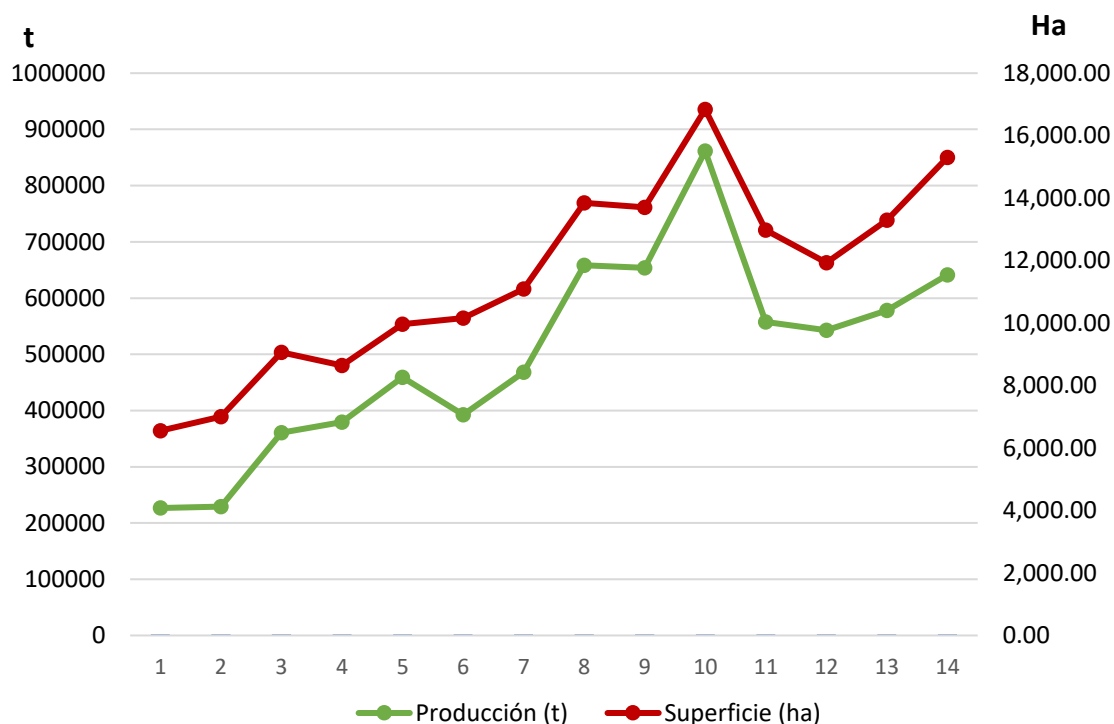


Figura 3. Evolución de la producción nacional y la superficie sembrada de fresa en el periodo 2010-2023 (SIAP, 2023).

#### 2.1.2.1 Cambios en los rendimientos de producción en el cultivo de fresa en México.

Con los datos de producción anual y la superficie cosechada registrados en el periodo 2010-2023 (SIAP 2023), se estimaron los rendimientos teóricos para cada año los cuales se muestran en el Cuadro 2. Se observa que los rendimientos por hectárea oscilaron entre 38 – 52 t/ha. Los rendimientos más altos se registraron en los años 2013 (49.93 t/ha) y 2019 (51.98 t/ha). No obstante, en el año 2011 se registró el menor rendimiento (38.3 ton/ha), pero el 98.91 % de la producción fue obtenida bajo el sistema a cielo abierto y una mínima parte fue obtenida bajo sistemas de agricultura protegida; en tanto que en el año 2019 la producción a cielo abierto disminuyó al 60.14 % y cerca del 40 % fue obtenida utilizando sistemas de agricultura protegida. Estos datos sugieren

que las mejoras tecnológicas en la producción de esta fruta empezaron a aplicarse a partir del 2012. No obstante, estos datos sugieren que la producción a cielo abierto se sigue practicando con el consecuente riesgo de ataque de enfermedades o la exposición a los factores ambientales como lluvias o granizadas.

Cuadro 2. Rendimientos calculados de la producción de fresa en México en el periodo 2010-2023.

Año	Rendimiento (t/ha)
2010	41.27
2011	38.30
2012	45.65
2013	49.93
2014	47.42
2015	39.68
2016	42.95
2017	47.12
2018	47.10
2019	51.98
2020	41.11
2021	43.42
2022	42.06
2023	40.45

Elaborada con información tomada de SIAP, (2023).

Además de los factores mencionados anteriormente y su efecto en la variación del rendimiento, también pueden estar involucrados otros factores como: la presencia de plagas y enfermedades que causan daños importantes en el cultivo, estos incluyen, malezas, insectos, hongos y microorganismos patógenos. Los productores deben proveer condiciones óptimas para el crecimiento de las plantas y establecer sistemas de protección y manejo del cultivo para evitar pérdidas. Entre estos sistemas están el uso de fertilizantes, fungicidas y pesticidas sintéticos cuyas aplicaciones en los momentos oportunos también son fundamentales en los procedimientos para evitar pérdidas de cultivo (Hahn, 2014).

### 2.1.3 Valor económico de la producción.

De acuerdo con datos del SIAP, (2023), en el año 2010 el valor de la producción por tonelada de fresa producida fue de 9,276.90 pesos mientras que en el año 2023 fue de 24,135.38 pesos, esto representó un incremento de 61.56 % en el valor de la producción respecto al año 2010 (Figura 4). Para fines de comparación y debido a que en el año 2019 se registró la producción más alta, el valor de producción por tonelada en ese año fue de 23,897.97 pesos muy similar al valor generado en el 2023. No obstante, en los años 2020 y 2021 los valores de producción fueron más bajos (19,229.00 y 20,245.62 pesos respectivamente). Estos datos sugieren que la pandemia del COVID al disminuir el consumo del fruto también afectó los precios en el mercado y por ello el valor de la producción. La importancia económica de este cultivo también se puede estimar si se compara la producción y su valor de producción con otros cultivos, por ejemplo, la uva. Este fruto en el año 2022 alcanzó una producción de 481,128.87 toneladas con un valor de producción por tonelada de 26,329.32 pesos muy similar al valor de la fresa, aunque la fresa alcanzó una mayor producción (641,552.22 ton); de forma parecida, en el año 2019, se produjeron 489,139.57 toneladas de uva con un valor de producción de 23,133.42 pesos muy similar a la fresa, aunque de esta fruta se produjeron 861,336.82 toneladas. Estos datos muestran claramente que el sector de producción de fresa es seguramente más importante que la producción de uva y en todo caso mantiene una dinámica de crecimiento económico muy activo.



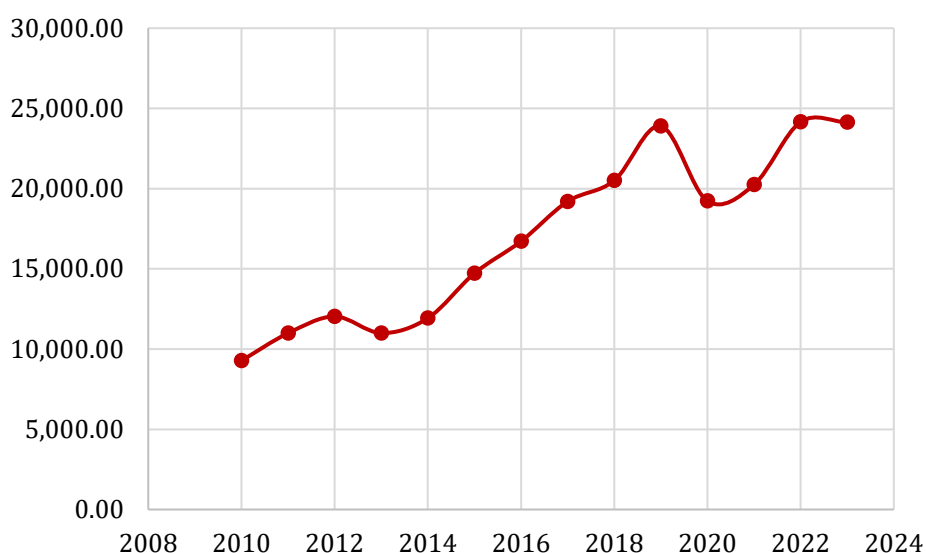


Figura 4. Cambios en el valor de la producción por tonelada de fresa en México durante el periodo 2010 – 2023. Datos calculados de las estadísticas de producción del SIAP, 2023.

#### 2.1.3.1 Principales Estados productores de fresa en México.

La producción nacional de fresa se concentra en tres estados, Michoacán, Baja California Norte y Guanajuato (Figura 5). En el periodo 2010-2023, Michoacán sumó un total de 4,405,142.11 toneladas que representaron el 62.85 % seguido por Baja California que sumó un total de 1,501,713.12 toneladas con el 21.42 % y Guanajuato sumó 765,819.39 toneladas lo que representaron el 10.92 % en dicho periodo (SIAP, 2023). En conjunto los tres Estados produjeron el 95.19 % de la producción en México.

La tendencia de la producción de fresa en Michoacán, en el periodo 2010-2023, fue la misma que mostró la producción nacional con una tendencia al alza desde el 2010 hasta el 2019 en el que registró su máxima producción (564,553.7 toneladas); así mismo también registró una notable reducción (aproximadamente 200,000 toneladas) en los años 2020-2023 debido a la pandemia del COVID en esos años (Figura 5). Por otro lado, Baja California Norte registró un incremento de su producción durante el periodo 2010-2014 a la que le siguió una disminución

en el periodo 2015-2017. En los años 2018-2019, se registró la máxima producción (200,570 toneladas) a la que le siguió la disminución de producción en los años 2020-2023 debido a la pandemia señalada. Por último, el estado de Guanajuato también registró un incremento sostenido de su producción hasta el 2019; No obstante, el efecto de la pandemia solo detuvo ese crecimiento y la producción se mantuvo constante durante el periodo 2020-2023 igualando las producciones registradas por Baja California Norte (Figura 5).

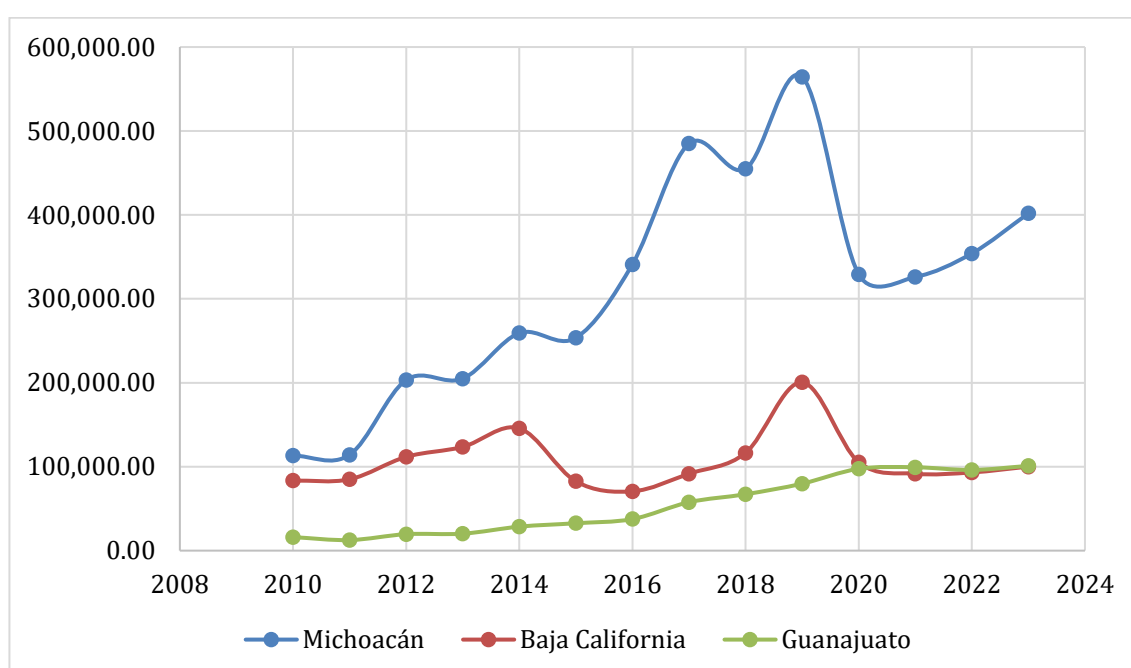


Figura 5. Producción de fresa en Michoacán, Baja California y Guanajuato en el periodo 2010-2023 (SIAP, 2023).

#### 2.1.4 Destino de la producción nacional de fresa en México

El destino principal de la producción de este fruto es el mercado nacional abarcando el 80% y el resto se destina a exportación (SIAP,2023) principalmente a Estados Unidos. En el año 2020 E.E.U.U. adquirió el 99.3 % de la fresa mexicana exportada (Estrategia Aduanera, 2021). De acuerdo con los datos registrados en SIAP, (2023), a partir del año 2015 se registró exportación de

fresa (Figura 6), mismo año en el que el producto destinado a mercado nacional disminuyó posiblemente a causa de la exportación registrada.

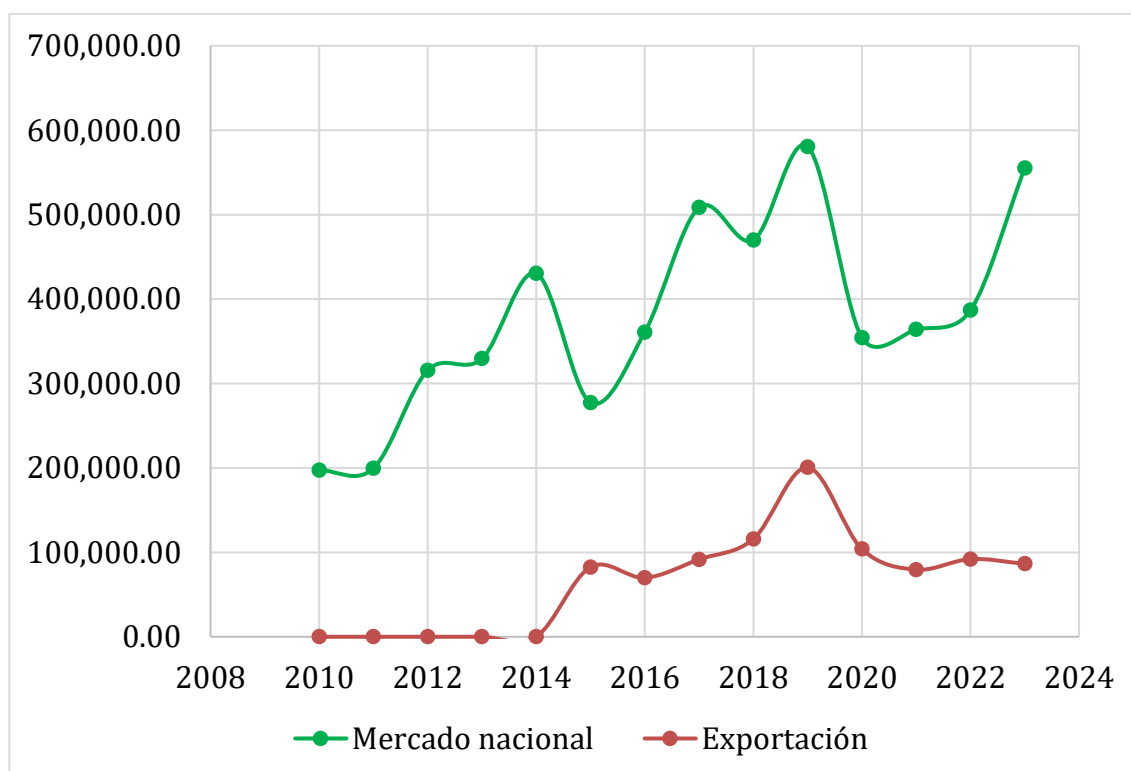


Figura 6. Destino de la producción nacional de fresa en México (SIAP,2023).

## 2.2 Generalidades del cultivo de fresa

### 2.2.1 Taxonomía

El cuadro 3 concentra la clasificación botánica de esta planta.

La base de datos del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de la USDA (<https://plants.usda.gov/plant-profile/FRAGA>) la planta de fresa pertenece al reino *Plantae* dentro de la división de plantas con flores, *Magnoliophyta*, en la clase dicotiledóneae y pertenece a la familia de las rosáceas (*Rosáceas* Juss.) dentro del género *Fragaria* L. (Cuadro 3) (USDA, 2014).

Dentro del género *Fragaria*, se describen seis especies como:

- *Fragaria ×ananassa* (Weston) Duchesne ex Rozier (pro sp.) [*chiloensis* × *virginiana*].
- *Fragaria ×bringhurstii* Staudt [*chiloensis* × *vesca*].
- *Fragaria cascadiensis* K.E. Hummer.
- *Fragaria chiloensis* (L.) Mill.
- *Fragaria vesca* L.
- *Fragaria virginiana* Duchesne.

Cuadro 3. Taxonomía de la fresa.

Reino	<i>Plantae</i> – Plantas
Subreino	<i>Tracheobionta</i> – Plantas vasculares
Supervisión	<i>Spermatophyta</i> – Plantas con semillas
División	<i>Magnoliophyta</i> – Plantas con flores
Clase	<i>Magnoliopsida</i> – Dicotiledóneas
Subclase	<i>Rosidae</i>
Orden	<i>Rosales</i>
Familia	<u><i>Rosaceae</i> Juss.</u>
Género	<u><i>Fragaria</i> L.</u> – fresa

Elaborada con información tomada del Servicio de Conservación de los Recursos Naturales de la USDA, (2014).

### 2.2.2 Características de la planta.

La planta tiene un tamaño pequeño con una altura máxima de 50 cm y un sistema radicular fasciculado compuesto de raíces y raicillas (Bolda *et al.*, 2015) con numerosas hojas que surgen de una corona o rizoma de longitud muy corta que se encuentra a nivel del suelo constituyendo la base de crecimiento de la planta donde se originan una cantidad numerosa de hojas. Las flores de la planta son

de color blanco formadas por cinco pétalos redondeados y cáliz de cinco piezas hendidas, además de numerosos estambres y pistilos. Sus frutos son agregados de muchos carpelos secos y minúsculos sobre un receptáculo pulposo hipertrofiado conocidos como achenios (Figura 7) (López-Vázquez *et al.*, 2017).

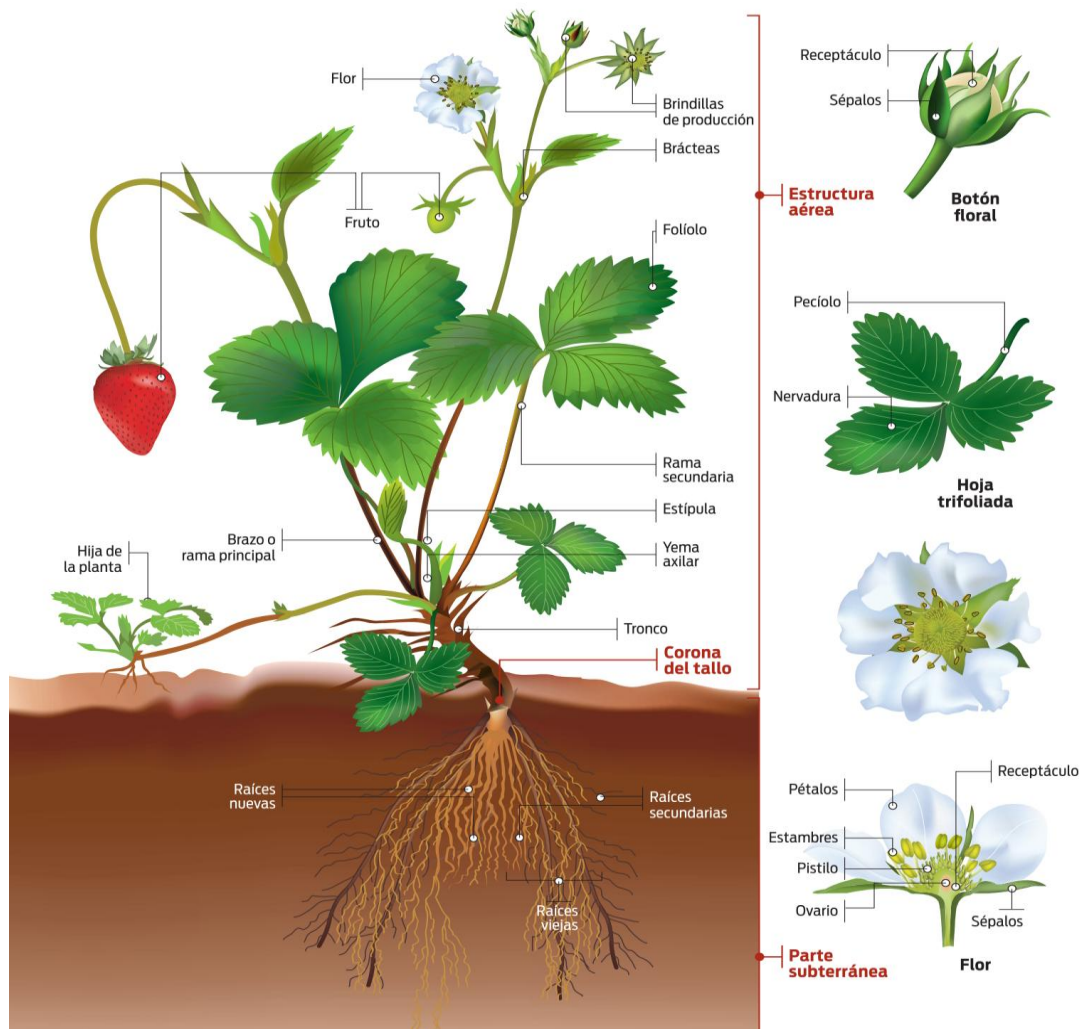


Figura 7. Estructura anatómica de la planta de fresa (Bolda *et al.*, 2015).

La planta es dicotiledónea, es decir que su semilla está compuesta de dos cotiledones, sus flores son pentámeras o tetrámeras con sépalos y pétalos diferenciados, sus raíces pueden ser axonomorfas o fasciculadas, con hojas

simples o compuestas y un pecíolo bien diferenciado, aunque pueden presentar hojas sésiles (Hurrell *et al.*, 2006).

Su hábito de crecimiento es herbáceo (USDA, 2014), debido a que su estructura vegetativa esta poco lignificada, lo que le da una consistencia blanda (Hurrell *et al.*, 2006).

La planta de fresa también se considera una planta perenne (USDA, 2014), lo que significa que puede tener ciclo vegetativo de más de 2 años y que puede volver a crecer, florecer y fructificar después de un período desfavorable (Hurrell *et al.*, 2006).

### 2.2.3 Etapas fenológicas del cultivo de fresa

El desarrollo de la planta de fresa incluye seis etapas fenológicas que incluyen la germinación de semilla, la brotación, el desarrollo vegetativo, la floración, fructificación y maduración (Bastida-Cañada, 2024). Estas etapas se describen a continuación (Figura 8).

#### 2.2.3.1 Desarrollo vegetativo

Esta etapa inicia con la germinación de la semilla o con el trasplante de estolones o plantas jóvenes y su duración se puede extender varios meses dependiendo de las condiciones climáticas y de cultivo. En esta etapa se desarrolla el sistema radicular y vegetativo (hojas y tallos), la cual es importante para el soporte de las fases reproductivas posteriores (Bastida-Cañada, 2024).

#### 2.2.3.2 Iniciación floral

Esta etapa comienza cuando las plantas son expuestas a temperaturas bajas durante un periodo específico que induce la diferenciación de las yemas florales. Este proceso es conocido como vernalización y requiere alrededor de 20 y 30 días con temperaturas menores a 7 °C. Durante esta etapa los cambios no son visibles, pero internamente se están desarrollando estructuras que darán lugar a las flores (Bastida-Cañada, 2024).

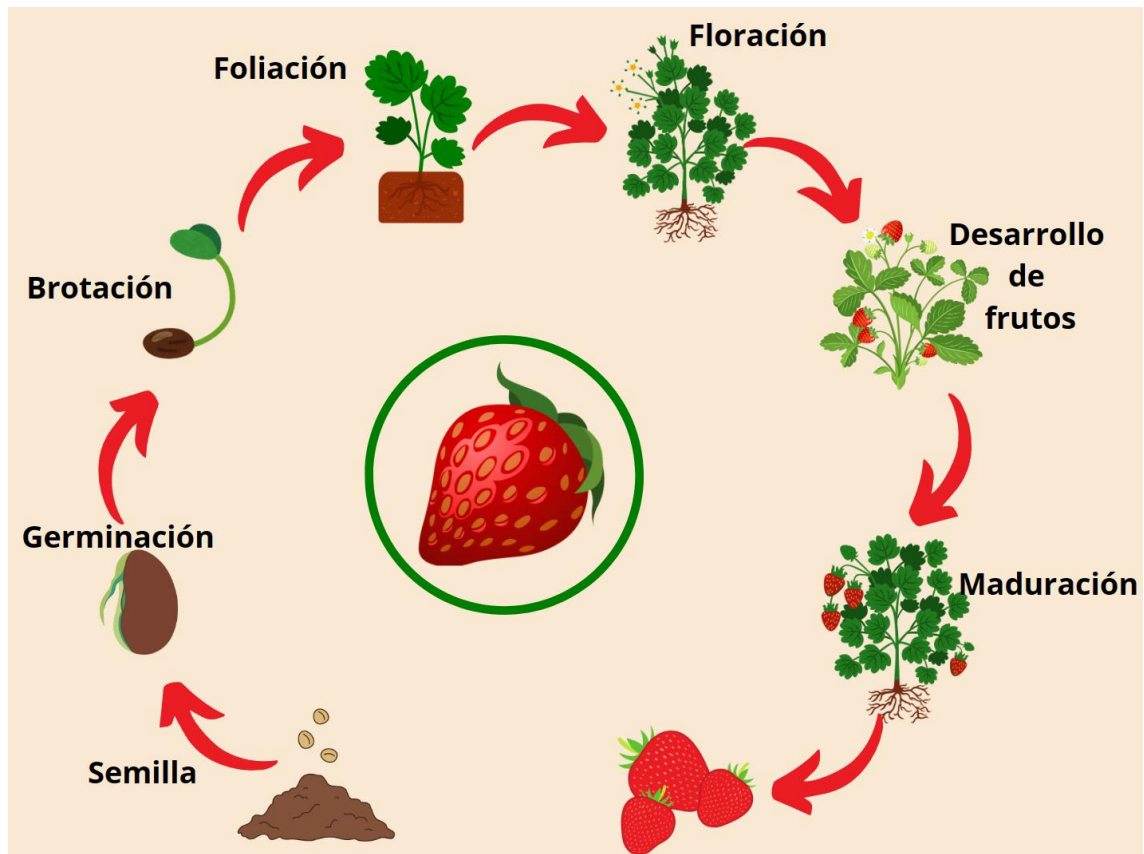


Figura 8. Etapas fenológicas del cultivo de fresa. Elaboración propia.

#### 2.2.3.3 Desarrollo de la flor

La etapa de desarrollo de flores comienza cuando la vernalización es completada, y esta etapa puede durar alrededor de 20 a 30 días y es caracterizada por la aparición de botones florales pequeños y verdes que posteriormente crecen y se tornan blancos. Este período es crítico para la polinización y formación de frutos, y requiere de condiciones óptimas de humedad y temperatura (Bastida-Cañada, 2024).

#### 2.2.3.4 Floración

La floración ocurre entre 20 y 30 días después del inicio del desarrollo floral. En esta etapa las flores se abren completamente mostrando sus partes reproductivas, siendo un periodo importante para la polinización que requiere de

condiciones climáticas ideales con temperaturas moderadas y baja humedad la actividad de polinizadores y prevención de enfermedades fúngicas (Bastida-Cañada, 2024).

#### 2.2.3.5 Desarrollo del fruto

Esta etapa inicia después de la polinización y fecundación, y su duración comprende 30 y 45 días. Los óvulos fecundados se encuentran en la superficie de las paredes del ovario. Terminada la fecundación de los óvulos, empieza el desarrollo de los pequeños frutos conocidos como achenios. El desarrollo de los achenios sobre la superficie del ovario ocurre simultáneamente con el desarrollo o hinchado de los tejidos del ovario que formará la pulpa de lo que comúnmente denominamos 'fruto' de la fresa, pero botánicamente es el tejido desarrollado del ovario y los frutos verdaderos son los achenios. En este proceso ocurren cambios de color y de la composición del tejido del ovario o pulpa; como el incremento de los azúcares y cambios en el contenido de los ácidos orgánicos (Bastida-Cañada, 2024).

#### 2.2.3.6 Maduración

La maduración es la última etapa y su duración varía entre 3 y 7 días. Durante este periodo, Los tejidos del ovario o pulpa alcanzan su tamaño final, así como su color rojo, sabor y aroma característicos. Este proceso se da en la planta y se ve interrumpido si los frutos son cosechados antes de alcanzar esos estados de desarrollo. Por ello, la maduración es crítica en el manejo de cultivo para alcanzar las condiciones de sabor y color que el consumidos demanda; aunque en este proceso de maduración, el fruto se hace susceptibles a daños mecánicos y enfermedades. Por ello la cosecha se realiza cuando las fresas están en madurez óptima o de consumo (Bastida-Cañada, 2024).



#### 2.2.4 Características del fruto

La fresa es considerada como fruto no climatérico debido a su patrón respiratorio, esto significa que el proceso de maduración se lleva a cabo en la planta y su cosecha se debe de realizar cuando el fruto alcanza las condiciones de color y composición de azúcares y acidez mínimas que el consumidor acepta. No obstante, esta fruta tiene una alta tasa de respiración por lo cual tiene una vida poscosecha corta (Katel *et al.*, 2022). Tiene forma cónica a casi redonda y en estado maduro es de color rojo brillante o rojo anaranjado, su sabor puede variar desde ácido a un sabor muy dulce y con un aroma característico e intenso (Juárez & Alvarado, 2016).

##### 2.2.4.1 Desarrollo del fruto

El desarrollo del 'fruto' o del receptáculo comprende tres etapas: división celular, expansión celular y maduración (Zhang *et al.*, 2011) Figura 9. Durante su desarrollo, el fruto sufre cambios en su color, pasando de verde a blanco y posteriormente a rojo oscuro, este último cambio sirve como indicador de madurez para cosechar el fruto. Estos cambios de color ocurren cuarenta días después de la antesis (periodo de floración) (Zhang *et al.*, 2011).

##### 2.2.4.2 Partes del fruto

La fresa produce aquenios y un receptáculo que en conjunto componen los frutos accesorios y agregados complejos en la fresa (Figura 9) (Zhang *et al.*, 2011). Los aquenios son diminutos frutos de una sola semilla, mientras que el receptáculo se considera que es el tejido del meristemo floral (Zhang *et al.*, 2011).

De las partes que constituyen a la fresa las que son comestibles son el receptáculo, los pecíolos, los aquenios o frutos reales y las semillas (Katel *et al.*, 2022) Figura 10.



Figura 9. Etapas del desarrollo del fruto. Imagen tomada de Cultifort (2023).

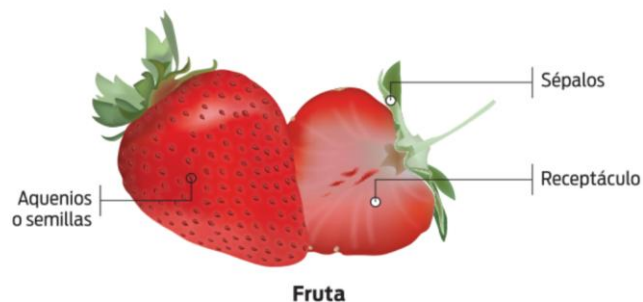


Figura 10. Componentes principales del 'fruto' de la fresa (Bolda *et al.*, 2015).

#### 2.2.4.3 Propiedades nutricionales del fruto

Las propiedades saludables de la fresa se deben a la diversidad de sustancias bioactivas (Cuadro 4) y a su alto contenido de agua (> 90 %) y bajo de lípidos (0.3 g) lo que da un bajo valor calórico de 32 kcal/100 g (Newerli-Guz *et al.*, 2023).

La fresa es una buena fuente de antioxidantes naturales y esto se debe a su contenido de compuestos polifenólicos y vitamina C (Newerli-Guz *et al.*, 2023). La vitamina C es una de las vitaminas que se encuentran en mayor cantidad en

la fresa en un amplio rango de  $23.16 \pm 2.32$  a  $112.34$  mg/100 y su variación se debe a distintos factores (Newerli-Guz *et al.*, 2023); por su parte, el mineral más abundante es el potasio (153 mg), Cuadro 5.

En general, debido a su composición nutricional la fresa tiene propiedades anticancerígenas, antiinflamatorias y antidiabéticas, lo que ha ocasionado que la fresa esté ganando popularidad entre los consumidores de todos los grupos de edad (Yadav *et al.*, 2017). El consumo de este fruto tiene varios beneficios contra el ácido úrico, gota y artritis, así como también contribuye a la disminución del nivel de colesterol en la sangre (Juárez & Alvarado, 2016).

#### 2.2.4.4 Antocianinas en el fruto

La biosíntesis y acumulación de antocianinas en la fresa es lo que da el color rojo característico del fruto (Newerli-Guz *et al.*, 2023). Su contenido en el fruto aumenta en el periodo de maduración, a mayor madurez del fruto hay una tonalidad más rojiza debido al incremento de antocianinas siendo la pelargonidina 3-glucósido la principal antocianina presente en la fresa (Newerli-Guz *et al.*, 2023). Además de brindar el color rojo característico, este pigmento posee diferentes funciones en la planta como la atracción de polinizadores para la dispersión de semillas, proteger a la planta contra los efectos de la radiación ultravioleta y contra la contaminación por virus y microorganismos (Garzón, 2008).

Cuadro 4. Composición nutricional de fresa fresca por porción de 100 g.

Nombre	Cantidad	Unidad
Agua	91	g
Energía	32	Kcal
Proteína	0.67	g
Lípidos totales (grasas)	0.3	g
Carbohidratos	7.68	g
Fibra	2	g
Azúcares totales	4.89	g
Sacarosa	0.47	g
Glucosa	1.99	g
Fructosa	2.44	g

Elaborada con información tomada de USDA, (2019).

Cuadro 5. Contenido de vitaminas y minerales en fresa fresca por porción de 100g.

Nombre	Cantidad	Unidad
Vitamina C	58.8	Mg
Tiamina	0.024	Mg
Riboflavina	0.022	Mg
Niacina	0.386	Mg
Vitamina B-6	0.047	Mg
Vitamina A, RAE	1	µg
Vitamina A, UI	12	UI
Vitamina E (alfa-tocoferol)	0.29	Mg
Vitamina K (filloquinona)	2.2	µg
Calcio, Ca	16	Mg
Hierro, Fe	0.41	g
Magnesio, Mg	13	Mg
Fósforo, P	24	Mg
Potasio, K	153	Mg
Sodio, Na	1	Mg
Zinc, Zn	0.14	Mg

Elaborada con información tomada de USDA, (2019).

#### 2.2.4.4 Antocianinas en el fruto

La biosíntesis y acumulación de antocianinas en la fresa es lo que da el color rojo característico del fruto (Newerli-Guz *et al.*, 2023). Su contenido en el fruto aumenta en el periodo de maduración, a mayor madurez del fruto hay una tonalidad más rojiza debido al incremento de antocianinas siendo la pelargonidina 3-glucósido la principal antocianina presente en la fresa (Newerli-

Guz *et al.*, 2023). Además de brindar el color rojo característico, este pigmento posee diferentes funciones en la planta como la atracción de polinizadores para la dispersión de semillas, proteger a la planta contra los efectos de la radiación ultravioleta y contra la contaminación por virus y microorganismos (Garzón, 2008).

#### 2.2.5 Factores que afectan la calidad poscosecha del fruto

Según la calidad poscosecha de este fruto está determinada por los siguientes factores: buena apariencia externa que incluye un adecuado color, adecuado tamaño y forma, así como ausencia de defectos; buena firmeza, un sabor y aroma adecuados donde se indica un mínimo de 7 % de sólidos solubles totales (° Bx) y un máximo de 0.8 % de acidez titulable como % ácido cítrico (Mitcham, 2023). Además, se recomienda que los frutos se enfríen rápidamente una vez cosechados y se almacenen a 0 °C para disminuir su tasa de respiración de 50-100 mg de CO<sub>2</sub>/kg-h a 20 °C hasta 5-6 mg de CO<sub>2</sub>/kg-h a 0 °C (Mitcham, 2023).

Otro factor que determina la calidad poscosecha es la ausencia de pudriciones provocadas por *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer*, las cuales causan rechazos en los mercados de destino y en el consumidor (Mitcham, 2023). Este aspecto se ve favorecido dado que en la cosecha y empaque de este fruto no se aplican fungicidas y las únicas herramientas disponibles para su control son el almacenamiento a 0 °C en combinación con una atmósfera modificada de 10-15 % de CO<sub>2</sub> (Mitcham, 2023).

Para evitar la incidencia de estos hongos en la cosecha de este fruto; se deben aplicar sistemas que eviten la entrada y el desarrollo de estos microorganismos; estos incluyen el manejo integrado del cultivo, aplicación de fungicidas desde la floración y desarrollo de los frutos, el manejo cuidadoso de la cosecha para evitar daños mecánicos y/o el uso de otros sistemas alternativos (Mitcham, 2023).

### 2.3 Trastornos patológicos en fresa

La principal enfermedad causante de pérdidas de frutos de fresa en poscosecha es la podredumbre por *Botrytis cinerea* o moho gris (Mitcham, 2023), cuyo micelio cubre rápidamente una capa abundante de conidióforos grises que se reproducen asexualmente mediante esporas (conidios) (Maas, 1998). El control poscosecha de esta enfermedad es complicado debido a que no se permite el uso de fungicidas durante el manejo poscosecha y aunque su crecimiento es lento a bajas temperaturas, puede ser visible en fresas almacenadas a 0 °C (Mitcham, 2023).

*Botrytis cinerea* es un agente necrotrófico, lo que significa que es un hongo que infecta y crece sobre tejidos dañados y senescentes. Su vía de penetración más común es a través de heridas o aperturas naturales. Por ello la infección en tejidos inmaduros o no senescentes es limitada o latente también conocida como infección quiescente. La susceptibilidad de la fresa a las enfermedades fúngicas dependerá de la etapa de madurez del fruto, aquellos que están en estado inmaduro son más resistentes a la infección. No obstante, los frutos maduros son muy vulnerables y se degradan rápidamente (Petrasch *et al.*, 2019). Cuando el ataque del fruto es generalizado, se causa la muerte de este (Garrido *et al.*, 2011).

La principal causa de pérdidas de fresas en poscosecha se debe a las enfermedades (Mitcham, 2023). Los fungicidas que controlan estas enfermedades no pueden ser utilizados en poscosecha teniendo que buscar otros métodos de control como son el enfriamiento rápido del fruto y un almacenamiento a 0°C bajo una atmósfera modificada de 10-15 % de CO<sub>2</sub>, además de evitar daños en el fruto. Otras estrategias importantes de control pueden ser aplicadas durante la cosecha como separar las bayas enfermas o heridas, de las bayas sanas (Mitcham, 2023).

### 2.3.1 Características generales de *B. cinerea*

*B. cinerea* es un hongo ascomiceto clasificado dentro de la familia *Sclerotinaceae*, de naturaleza saprofítica y es responsable de la pudrición gris la cual se ubica en segundo lugar entre las enfermedades por hongos fitopatógenos más importantes de plantas en el mundo (Youssef *et al.*, 2019). Esto se debe a una amplia gama de plantas hospederas (1400 especies), provocando daños severos tanto en precosecha como en poscosecha (Youssef *et al.*, 2019). *B. cinerea* es un hongo necrótrofo que durante su ciclo infeccioso induce la muerte de las células, la maceración del tejido vegetal y se reproduce en el material vegetal en descomposición (Da Silva *et al.*, 2023). Dentro del género *Botrytis* se han identificado y descrito 30 especies.

*B. cinerea* tiene un ciclo de vida corto y alta tasa de reproducción con una capacidad de esporulación abundante lo que lo convierte en un patógeno de alto poder de infección y con capacidad de desarrollar resistencia a fungicidas (Hahn, 2014).

#### 2.3.1.1 Ciclo de vida y mecanismo de infección de *B. cinerea*

Como ya se ha dicho, *B. cinerea* es un hongo necrótrofo cuyo ciclo infectivo incluye la muerte de las células del huésped, la maceración del tejido y su reproducción a través de esporas asexuales sobre el material de la planta en descomposición (Da Silva *et al.*, 2023).

Su ciclo de vida se divide en dos fases conocidas como etapa asexual (anamorfa) y sexual o teleomórfa (Da Silva *et al.*, 2023). En la etapa asexual, se producen macroconidios, esclerocios y microconidios. En la etapa sexual, los microconidios fertilizan los esclerocios, produciendo apotecios, en los cuales se produce la meiosis y la generación de ascosporas (Da Silva *et al.*, 2023). *B. cinerea* sigue un ciclo de enfermedad estacionario, iniciando con la producción de conidios durante el invierno anterior, para posteriormente ser transportados



por el aire durante la primavera hasta alcanzar la superficie del huésped y adherirse a la superficie interacciones físicas (Roca-Couso *et al.*, 2021).

La infección de este hongo se inicia con conidios ovales de un volumen de  $5 \times 10^{-11}$  -  $7.5 \times 10^{-11}$  ml que se adhieren y germinan en la superficie de la planta (Bi *et al.*, 2023). En la adhesión de los conidios en el huésped, primero se forma una unión débil por interacciones hidrofóbicas entre el huésped y la superficie de los conidios (apresorio), después el conidio germina y forma el tubo germinal que se une fuertemente con la matriz extracelular del huésped la cual permite la adhesión a la superficie del huésped para conformar los cojines de infección que son estructuras especializadas en la producción de factores de virulencia del hongo (Roca-Couso *et al.*, 2021).

Esta primera etapa de la infección culmina con la muerte de un número importante de células del huésped creando una región de tejido muerto en la cual el tejido fúngico se multiplica como paso previo a las fases intermediarias y finales de la infección. En esa etapa inicial, el patógeno produce proteínas inductoras de la degradación celular (CDIPs) y posiblemente también manipula el mecanismo de muerte celular programada del huésped (PCD). Al término de la primera etapa y en la etapa intermedia, el hongo sufre muerte celular masiva debido a la presencia de metabolitos antifúngicos de la planta huésped; la sobrevivencia del hongo dependerá de la maquinaria anti apoptótica del hongo que evite la muerte de toda la masa micelial. De acuerdo con esto, el balance entre la muerte del hongo y la muerte de los tejidos de la planta determinará el progreso de las siguientes fases de la infección (Bi *et al.*, 2023).

Los factores más importantes que favorecen la germinación de los conidios son la alta humedad (> 93%), la disponibilidad de nutrientes y la inducción de la germinación por etileno (Roca-Couso *et al.*, 2021). La germinación de los conidios es necesaria para que *B. cinerea* pueda introducirse en los tejidos, aunque también puede penetrar esos tejidos a través de estomas y heridas (Figura 11).

#### 2.3.1.2 Factores de virulencia de *B. cinerea* y su participación en cada etapa de la infección

Se ha reportado que *B. cinerea* cuenta con factores de virulencia donde se incluyen toxinas, enzimas de degradación de pared celular, cutinasas, proteasas, lipasas y proteínas inductoras de muerte celular (Bi *et al.*, 2023). Además de poseer otros factores donde se incluye la desintoxicación de metabolitos vegetales micotóxicos como la  $\alpha$ -tomatina y la camalexina, por medio de modificación enzimática o a través de transportadores de eflujo los cuales son proteínas de membrana encargadas del transporte de compuestos antifúngicos (Bi *et al.*, 2023).

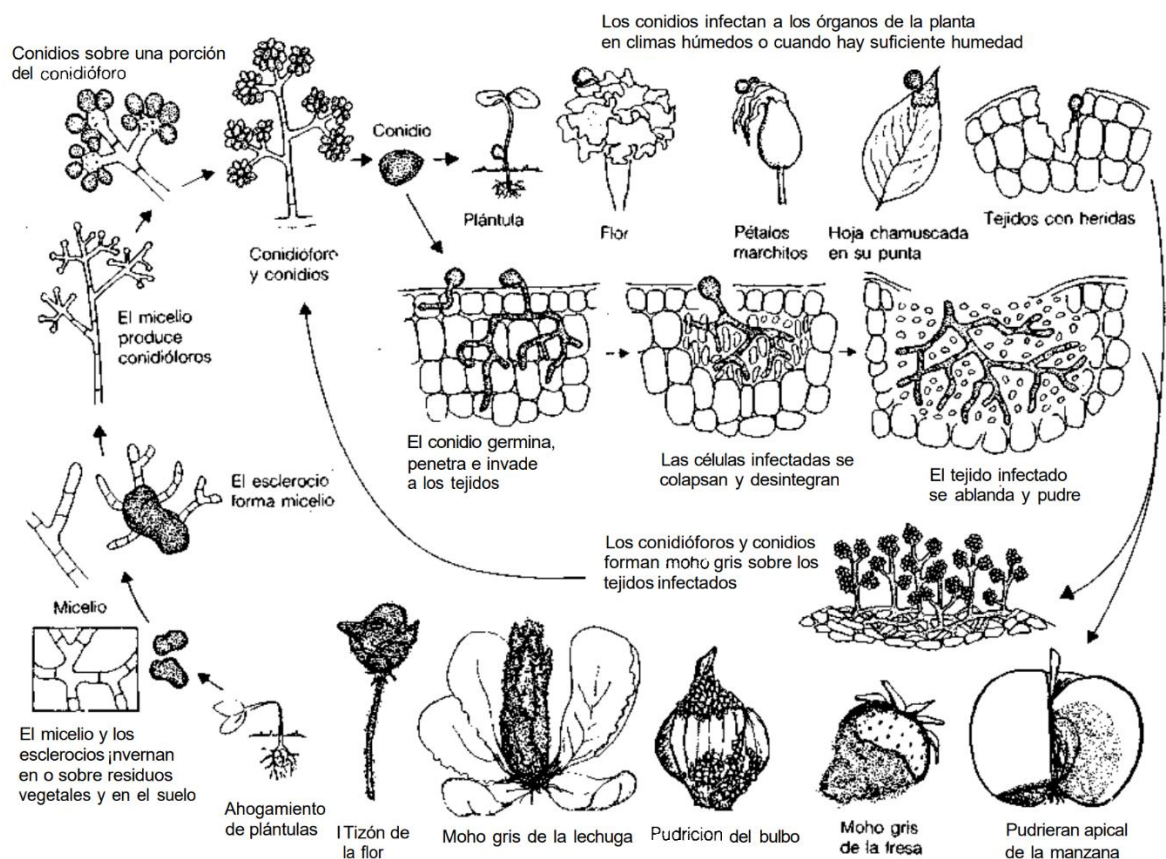


Figura 11. Etapas de desarrollo *Botrytis cinerea* durante desarrollo de la enfermedad (Agrios, 2005).

La virulencia de *B. cinerea* se debe a la producción de toxinas como el sesquiterpeno botrydial y el policétido botcinina, además de otros compuestos adicionales como el ácido oxálico (requerido para la virulencia) y otras moléculas fitotóxicas de las cuales aún no se tiene claro sus efectos sobre la virulencia (Bi *et al.*, 2023).

Por otro lado, *B. cinerea* también secreta enzimas degradadoras de polímeros de la pared celular de la planta y del fruto (alrededor de 275 enzimas activas sobre carbohidratos). Estas enzimas permiten que el hongo supere la barrera de la pared celular y utilice los materiales de la pared celular para su nutrición. Por último, *B. cinerea* contiene proteínas inductoras de muerte celular que pueden dividirse en dos grupos: proteínas no catalíticas y proteínas con actividad

catalítica; es decir, enzimas que inducen la muerte celular de las plantas. No obstante, no se tiene clara la actividad de estas proteínas, pero se ha sugerido que su efecto es específico del huésped y que son proteínas fitotóxicas consideradas como factores de virulencia en hongos necrotróficos (Bi *et al.*, 2023).

#### 2.3.1.3 Características del desarrollo de *B. cinerea*

Los signos más comunes del ataque de *B. cinerea* se observan en flores y frutos. Sin embargo, también se pueden observar en tejidos vegetativos particularmente como oscurecimiento en las hojas debido a la infección que termina con el característico moho gris en los órganos de la fruta (Petrasch *et al.*, 2019). En la Figura 12 se muestran los signos característicos de la infección en diferentes órganos de la planta de fresa (Petrasch *et al.*, 2019).

### **2.4 Respuestas de defensa de la planta contra la infección de *B. cinerea*.**

De manera general, las plantas producen compuestos antimicrobianos, como fitoalexinas que son estimuladas por patógenos, de modo que el hongo debe enfrentarse a ellas al momento de degradar las capas externas de la pared celular, razón por la cual el desarrollo de la infección es afectado significativamente (Bi *et al.*, 2023).

Para responder al sistema de defensa de la planta, *B. cinerea* ha desarrollado mecanismos que le ayudan a superar la presencia de metabolitos micotóxicos, como la degradación de la  $\alpha$ -tomatina y la exportación de productos tóxicos de degradación de glucosinolatos o la fitoalexina camalexina de *Arabidopsis thaliana* (Bi *et al.*, 2023).

No obstante, *B. cinerea* dispone de mecanismos para inducir la muerte celular en plantas dicotiledóneas como la fresa; donde las proteínas similares a las NEP o NLP, inducen muerte celular no catalíticas, interactuando con los esfingolípidos de glicosilinositol fosforilceramida (GIPC) en la membrana celular de la planta e inducen la muerte celular (Bi *et al.*, 2023).

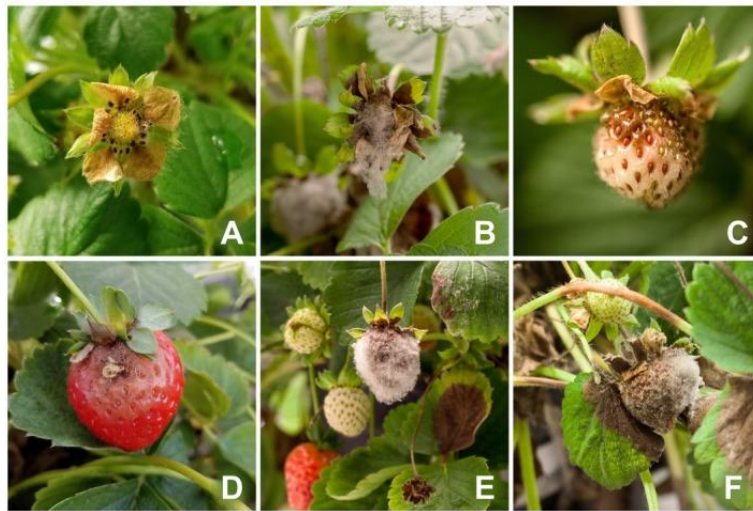


Figura 12. Características visuales de la infección por *B. cinerea* en diferentes órganos de fresa. Panel A: flor senescente con crecimiento de micelio de *B. cinerea*. Panel B: infección floral avanzada. Panel C y D: infecciones de la fruta en diferentes etapas. Panel E y F: oscurecimiento de las hojas. Tomada de Petrasch *et al.*, (2019).

#### 2.4.1 Resistencia de las plantas a enfermedades

Las plantas tienen inmunidad innata con lo que son capaces de distinguir posibles patógenos invasores y emplear mecanismos sofisticados para llevar a cabo defensas exitosas (Muthamilarasan, 2013). Los patógenos al invadir al huésped no siempre van a generar enfermedades, pero cuando los patógenos son capaces de evadir el reconocimiento o suprimir el mecanismo de defensa del huésped o ambos, es posible que se produzca un brote de enfermedad

(Muthamilarasan, 2013). Las interacciones de los patógenos con las plantas pueden ser incompatibles o compatibles. El primero ocurre cuando el patógeno se encuentra con una planta no hospedera (resistencia no hospedera) o una planta hospedera resistente (resistencia específica del cultivar), mientras que el segundo ocurre cuando el patógeno infecta plantas hospederas susceptibles, lo que resulta en el desarrollo de la enfermedad (Muthamilarasan, 2013).

El tiempo que tarda en activarse la respuesta de defensa y la intensidad de esta respuesta determinan el nivel de resistencia de la planta (Ding *et al.*, 2022). Durante el curso de la evolución las plantas han instaurado mecanismos de resistencia pasiva y activa multinivel que pueden utilizarse de forma coordinada contra la infección por patógenos (Ding *et al.*, 2022). Las plantas tienen moléculas mensajeras de señalización, como los iones de calcio, las especies reactivas de oxígeno (ROS) y el óxido nítrico, así como también tienen moléculas de señalización de hormonas vegetales, como el ácido salicílico, el ácido jasmónico y el etileno, las cuales ejercen un papel clave en la inducción de las respuestas de defensa de las plantas (Ding *et al.*, 2022). Se conoce que muchas de las vías de señalización reguladas por hormonas se cruzan, lo que puede resultar en una interacción antagónica o sinérgica (Kumar, 2014).

#### 2.4.2 Resistencia a enfermedades mediada por ácido salicílico (AS)

El ácido salicílico (AS) es un compuesto fenólico simple y ha sido muy bien estudiado por su participación en la activación de los sistemas de defensas de las plantas, especialmente la resistencia sistémica adquirida (SAR) (Kumar, 2014). La defensa dada por AS actúa principalmente contra los biótropos u organismos que requieren células vivas en su proceso de infección. Para la activación de una SAR robusta se requiere de AS, que es caracterizada por el incremento de la expresión de proteínas de defensa, incluidas las proteínas relacionadas con la patogénesis (PR) (Kumar, 2014). Las plantas que presentan una mayor susceptibilidad a los patógenos son aquellas con defectos en la expresión de la síntesis/acumulación de AS (Kumar, 2014).

Feng *et al.*, (2020) describen la inducción de resistencia contra el hongo *Podosphaera aphanis* en hojas de fresa 'Benihoppe' asperjada con una solución de AS 2 mM, indicando que esta resistencia se debió a que el tratamiento indujo una mayor expresión de genes relacionados a la síntesis de flavonoides y acumulación de pro antocianidinas así como de la síntesis de AS y factores de transcripción y a una sobre expresión de genes relacionados a la patogénesis. Previamente, Grellet-Bournonville *et al.*, (2012) demostraron que la inoculación de plantas de fresa con cepas avirulentas de *Colletotrichum acutatum* inducen la ruta de señalización del AS como un mecanismo de defensa hacia la enfermedad y también indujeron la expresión del gen de resistencia PR-1 señalando la importancia de la ruta del AS en los mecanismos de defensa a patógenos.

#### 2.4.3 Rutas de señalización relacionadas a la resistencia a enfermedades en plantas

En una revisión reciente, Ding *et al.*, (2022) establecen que la inmunidad de las plantas incluye dos líneas del sistema de defensa; una llamada inmunidad activada por patrones moleculares asociados a patógenos (PTI) y la otra inmunidad activada por efectores (ETI). Después que la planta es infectada la respuesta de ésta se regula estrechamente; en el sitio de infección la respuesta de la planta es iniciada por dos tipos de moléculas derivadas del patógeno, un patrón molecular asociado al patógeno (PAMP) reconocido por un receptor de reconocimiento (PRR) localizado en la superficie de la célula que prende la defensa de la planta (PTI) que involucra la primera línea de defensa del huésped que le proporciona a la planta una defensa básica que incluye el influjo de iones Ca, la producción de ROS, y la activación de las proteínas quinasas activadas por mitógeno (MAPK). A partir de aquí, se activan las corrientes de señalización del AS y del ácido jasmónico (AJ) los cuales llevan a la biosíntesis de factores relacionados a la defensa y la activación de la resistencia a la enfermedad de la planta.

El otro tipo de iniciador, inmunidad arrancada por efectores (ETI), es inducida por las interacciones de las proteínas de resistencia de las plantas (R) y los efectores de patógenos pueden iniciar la segunda línea de respuestas de defensa inducidas por el huésped estimulando la respuesta hipersensitiva (HR) o la muerte celular programada (PCD) y la resistencia sistémica adquirida (SAR). Estas reacciones pueden ser inducidas por el AS para algunos patógenos biotróficos o hemi biotróficos. La ruta del AJ está involucrada en la resistencia a patógenos necrotróficos (Ding *et al.*, 2022).

La expresión de proteínas relacionadas con la defensa puede ser inducida por AJ, a través de la polifenol oxidasa, los inhibidores de la proteasa, la peroxidasa y la lipoxigenasa (Ding *et al.*, 2022). El AJ también puede inducir la producción de alcaloides y algunos volátiles, y la formación de estructuras de defensa que ejercen las funciones de resistencia al estrés y a las enfermedades de las plantas (Ding *et al.*, 2022).

Muchas de las vías de señalización mediadas por hormonas se cruzan, lo que puede resultar en una interacción antagónica o sinérgica. Al activarse una vía inmune contra patógenos biotróficos como la de AS, se suprime la defensa de AJ contra patógenos necrótrofos. El efecto sinérgico o antagónico puede depender de las concentraciones de AJ y AS (Kumar, 2014).

## **2.5 Elementos de control de *B. cinerea***

### **2.5.1 Factores involucrados en el control de *B. cinerea***

Para el control de *B. cinerea* es necesario que las medidas preventivas inicien en el campo desde la etapa de floración, con la finalidad de proteger las flores de las infecciones; de no ser así, las infecciones pueden provocar una pudrición casi del 80 % de la fruta en poscosecha (Bulger *et al.*, 1987).



Algunos de los factores que pueden reducir la incidencia de *B. cinerea* son las aplicaciones de calcio, dejar un mayor espacio entre las plantas para fomentar la circulación del aire y disminuir la humedad relativa, el cambio del sistema de riego de aspersión por el riego por goteo son factores que ayudan a reducir las infecciones del moho gris (Weber & Petridis, 2023).

La fertilización con nitrógeno afecta el proceso de infección por *B. cinerea*. En cada especie, el estado de N de las plantas influye en el proceso de infección de manera diferente. Un alto contenido de nitratos da lugar a un aumento de la enfermedad en las fresas (Fagard *et al.*, 2014).

### 2.5.2 El uso de fungicidas para el control de *B. cinerea*

Los fungicidas son primordiales para asegurar un rendimiento comercializable (Weber & Petridis, 2023). Pero aún con la aplicación frecuentemente de fungicidas pueden presentarse pérdidas del 10 al 25 %. De no existir la aplicación de fungicidas en campo, durante estaciones húmedas la pudrición gris puede causar pérdida total de la cosecha (Weber & Petridis, 2023).

El manejo del moho gris en China, en frutas como nectarina, melocotón, kiwi, uva, fresa, pera, tomate y cítricos, se basa principalmente en la aplicación de fungicidas registrados para el control del moho gris. La mayoría de estos 474 fungicidas registrados, son carbamatos de metil-benzimidazol, dicarboximidas, anilino pirimidinas, fenilpirroles, inhibidores externos de quinona e inhibidores del succinato deshidrogenasa (Shao *et al.*, 2020). No obstante, debido a que *B. cinerea* tiene una amplia diversidad de huéspedes, un ciclo de vida corto, reproducción prolífica, alta variabilidad genética y mutaciones puntuales en genes diana de fungicidas, se ha clasificado como un fitopatógeno de alto riesgo en el desarrollo de resistencia a fungicidas. Además, la resistencia de *B. cinerea* a múltiples fungicidas se ha detectado en varios países, dando como resultado una eficacia reducida e incluso un fracaso del control químico del moho gris (Shao *et al.*, 2020).

Debido a esta problemática, en México ya ha sido evaluada la resistencia de *B. cinerea* a fungicidas. En dos áreas productoras de fresa en Michoacán, México se evaluó la resistencia de 62 aislados *B. cinerea* a los fungicidas iprodione y metil-tiofanato, utilizados para el cultivo de fresa; el estudio demostró que la resistencia de *B. cinerea* a los fungicidas metil-tiofanato e iprodione se distribuye ampliamente en las áreas productoras de fresa en Michoacán, con diferencias en sensibilidad entre los aislados de ambas áreas. Por lo tanto, se deben crear programas de manejo integrado del moho gris en la fresa e implementar estrategias anti-resistencia para los fungicidas dicarboximidas y benzimidazole (Álvarez-Medina *et al.*, 2017).

El Cuadro 6, muestra el modo de acción de distintos tipos de fungicidas y sus niveles de resistencia; los fungicidas inhibidores multiespecíficos (ditiocarbamatos, captan, clorotalonil) presentan riesgo bajo de resistencia de *B. cinerea* debido a su modo de acción no específico (Hahn, 2014).

No obstante, se ha informado que *B. cinerea* ha reducido su sensibilidad contra estos inhibidores multisitio (Hahn, 2014). Por otro lado, el fungicida sistémico que se considera altamente eficaz contra *Botrytis* y varios hongos relacionados la *fenhexamida*, es el único registrado de la clase *hidroxianilida* (Hahn, 2014).

Aunque el uso de estos fungicidas parece tener menos problemas de causar resistencia en el fitopatógeno, se ha observado que la frecuencia de aplicaciones tiende a aumentar, así como el nivel de las dosis aplicadas.

#### 2.5.3 Tratamientos precosecha utilizados para el control de infecciones por *B. cinerea*

Además del uso de fungicidas, ya comentado en la sección anterior, también se han desarrollado otros tratamientos alternativos a ellos.

Cuadro 6. Fungicidas utilizados contra *Botrytis cinerea*.

Clase de fungicida	Sitio de destino/ modo de acción	Riesgo de resistencia	Niveles de resistencia
Ditiocarbamatos (tiram, mancozeb)	Inhibidor multisitio	Bajo	-
Ftalimidas (captan)	inhibidor multisitio	Bajo	-
Benzimidazoles (carbendazima, tiofanato-metilo)	$\beta$ -Tubulina	Alto	Alto
Dicarboximidas (iprodiona)	Histidina quinasa osmosensiva	Medio a alto	De menor a mayor
Anilinopirimidinas (ciprodinil, pirimetanil)	Desconocido	Medio	Alto
Fenilpirroles (fludioxonil)	Osmoregulación	Bajo	Medio (rara vez encontrado)
Qol/estrobilurinas	Complejo citocromo bc1 (respiración)	Alto	Alto
Hidroxianilidas (fenhexamida)	3-Ceto reductasa (biosíntesis de esteroles)	De baja a media	Alto (a veces bajo a medio)
SDHIs (boscalid)	Succinato deshidrogenasa (respiración)	Medio a alto	Medio a alto

Realizada con información tomada de Hahn, (2014).

#### 2.5.3.1 Aplicaciones de citocinina

Se ha demostrado que la aplicación de citocinina induce resistencia de las plantas contra *B. cinerea*. Gupta *et al.*, (2020), reportaron que la aplicación de citocinina sintética como la 6-bencilaminopurina (6-BAP) a diferentes concentraciones redujeron de manera importante los niveles de enfermedad ocasionados por *B. cinerea*, en plantas de tomate y modularon el tráfico celular del receptor del patrón de reconocimiento LE1X2 del patógeno. Este mismo grupo de trabajo (Gupta *et al.*, 2021) disminuyeron hasta en un 50 % la enfermedad en plantas de tomate tratadas con 6-BAP 100  $\mu$ M inoculadas con *B. cinerea*. Sin embargo, a pesar de que se desarrollan menos esporas en presencia de citocininas, al eliminar la presencia de citocininas, las esporas siguen manteniendo su capacidad infectiva. Además de la inhibición de la esporulación de *B. cinerea*, la germinación de esporas se reduce un 50 % y las esporas que si logran germinar inhiben el crecimiento del tubo germinativo (Gupta *et al.*, 2021).

#### 2.5.3.2 Metil jasmonato y quitosano

La fitohormona jasmonato de metilo (MeJA) pertenece a la familia del ácido jasmónico (AJ), y se encuentra distribuida de forma ubicua en el reino vegetal (Yu *et al.*, 2009). MeJA se produce en la vía biosintética de los octadecanoides a través de la oxidación del ácido linoleico.

Este juega un papel crítico en la inducción de resistencia al ataque fúngico. Tomates verdes maduros tratados con 100  $\mu$ M de MeJA bajo vacío y durante 0.5 min redujeron los síntomas de la enfermedad en las frutas inoculadas con *B. cinerea* (Yu *et al.*, 2009). No obstante, los efectos del MeJA tendieron a disminuir a medida que se prolongó el almacenamiento.

Al utilizar quitosano y sus derivados en fresa como tratamientos de pre y poscosecha tienden a erradicar la pudrición en almacenamiento (Ghaouth, 1992). En un estudio se evaluaron los efectos de las aplicaciones de MeJA o

quitosano, previas a la cosecha, en la fruta durante el almacenamiento poscosecha y los resultados obtenidos mostraron que los tratamientos precosecha del fruto de *F. chiloensis* con MeJA o quitosano serían una alternativa amigable con el medio ambiente al fungicida químico para retrasar la aparición de la infección por *B. cinerea* durante la poscosecha de fresa (Saavedra *et al.*, 2017). En otro estudio, Mouden *et al.*, (2021) observaron los efectos de la aplicación repetida de MeJA en la producción y calidad o el sabor de la fruta observando efectos negativos en los rendimientos y la calidad de la fruta.

#### 2.5.4 Tratamientos poscosecha utilizados para controlar las infecciones de *B. cinerea*

##### 2.5.4.1 Salicilato de metilo

El salicilato de metilo (MeSA) es una molécula de señalización endógena que desempeña un papel fundamental en la resistencia a las enfermedades (Asghari & Aghdam, 2010). El MeSA indujo la resistencia a las enfermedades y reguló la expresión de genes relacionados con la defensa en las plantas vecinas y en el tejido sano de las plantas infectadas. Se ha demostrado, en kiwis cv Hayward, la reducción de pudrición al final del período de almacenamiento a través de la aplicación de por vapor de MeSA. Observándose una incidencia de pudrición de solo 6.3 % en frutos tratados con 32 µl/l mientras que en los frutos control fue de 34.2 % (Asghari & Aghdam, 2010).

##### 2.5.4.2 Aplicación de Melatonina

Promyou *et al.*, (2023) estudiaron los efectos de la aplicación de melatonina (MT) exógena sobre la calidad fisicoquímica, el sistema de defensa antioxidante y la resistencia a enfermedades en frutos de fresa a la infección por *B. cinerea* en

poscosecha. Observaron que la MT aplicada exógenamente redujo notablemente la incidencia de la enfermedad tanto en frutos de fresa infectados naturalmente como en frutos de fresa inoculados artificialmente por *B. cinerea*. Además, los frutos de fresa tratadas con MT exhibieron un retraso en el desarrollo del color de la fruta. La MT no solo podría inhibir el proceso de maduración de los frutos climatéricos, sino también puede retrasar los cambios fisicoquímicos de los frutos no climatéricos durante el almacenamiento. Se concluyó que la MT exógena es un tratamiento poscosecha eficaz para mejorar la calidad de la fruta y la resistencia a enfermedades.

#### 2.5.4.3 Ácido salicílico

Otro de los tratamientos poscosecha que es estudiado con frecuencia es la aplicación de ácido salicílico (AS) en cultivos hortícolas para conocer sus efectos sobre el mantenimiento de la calidad (Asghari & Aghdam, 2010). El AS al ser aplicado a frutas y hortalizas susceptibles de manera exógena en concentraciones no tóxicas podría mejorar la resistencia a los patógenos y controlar la degradación poscosecha. La concentración de 1 a 2 mM de AS reduce la degradación por hongos en fresa (Asghari & Aghdam, 2010).

Haider *et al.*, (2020) indicaron que la aplicación de 4, 8 y 12 mM de AS en frutos de mandarina "Kinnow" almacenados a 5 °C durante 90 días, fueron eficaces para inhibir la incidencia de pudriciones fúngicas. Este efecto se asoció al papel que tiene el AS en el mecanismo de resistencia inducida a las enfermedades desarrollada por las plantas.

#### 2.5.4.4 Efectos del resveratrol y el pirimetanil contra *B. cinerea*

El resveratrol es una fitoalexina que en su estructura posee dos anillos de fenol con un puente de etileno que los une (Riccio *et al.*, 2020). El resveratrol puede ser sintetizado por las plantas de manera natural o inducido como metabolito

secundario y es capaz de defender a la planta contra algunos procesos dañinos, incluyendo las infecciones causadas por *B. cinerea* (Riccio *et al.*, 2020).

Xu *et al.*, (2018) mostraron que la aplicación de resveratrol presentó una actividad antifúngica significativa contra *B. cinerea*, lo que demuestra que tiene eficacia como agente antifúngico potencial contra el moho gris. El resveratrol en conjunto con el fungicida comercial pirimetanil demostraron excelentes interacciones sinérgicas contra el crecimiento micelial y la germinación de conidios de *B. cinerea*, lo que puede significar que la combinación de resveratrol y pirimetanil actúe como tratamiento alternativo en el control de *B. cinerea*. Además, el estudio demostró que el resveratrol y el pirimetanil en conjunto podrían usarse en poscosecha para controlar enfermedades provocadas por moho gris.

#### 2.5.4.5 Aplicaciones de MeJA

Aunque los usos principales del MeJA se han centrado en sus aplicaciones durante la floración o en las primeras etapas del desarrollo del fruto, también se han realizado aplicaciones de este compuesto en poscosecha. Vaezi *et al.*, (2022) hicieron aplicaciones de 0, 10 y 100  $\mu\text{M/l}$  de MeJA por 16 horas a 22 °C en frutos de fresa cv “Sabrosa” en tres cuartos de madurez y almacenadas a 3 °C por 12 días. Los frutos tratados mostraron altos niveles de ácido GABA, antocianinas, alta actividad de PAL, un mayor contenido de fenoles totales y una menor incidencia de enfermedades fúngicas lo cual mejoró su vida de anaquel.

Los antecedentes referidos anteriormente muestran que el cultivo de la fresa en México tiene una importancia económica tanto por su consumo a nivel nacional como por los volúmenes de fruta exportada. No obstante, la incidencia de pudrición gris debida al ataque de *B. cinerea* es un factor que limita su vida de anaquel y produce pérdidas económicas en la cadena de comercialización.

El manejo de esta enfermedad incluye buenas prácticas de producción que limitan la incidencia o el desarrollo del patógeno, así como la aplicación oportuna

de diferentes fungicidas durante el desarrollo del fruto. No obstante, durante la cosecha y empaque de los frutos no se deben aplicar estos compuestos y el control de *B. cinerea* solo se basa en el manejo de los frutos a 0 °C y la aplicación de atmósferas modificadas a base de 10-15 % de CO<sub>2</sub>.

A pesar de los esfuerzos reportados, es necesario aportar una mayor información sobre las aplicaciones de metabolitos que generen una resistencia inducida a la enfermedad que llevaría a mejorar la vida de anaquel de los frutos y reducir el uso de fungicidas durante la producción de la fresa.



### 3. Justificación

México es de los principales países productores de fresa fresca a nivel mundial y cuenta con importantes estados productores como Michoacán, Guanajuato y Baja California Norte, a los cuales se les atribuye la mayor parte de la producción del país. En el proceso de producción se presenta el ataque del hongo *Botrytis cinerea* siendo el segundo hongo fitopatógeno más importante en todo el mundo, y como consecuencia de esta infección se tiene pérdidas de hasta del 10 % de la producción que puede elevarse hasta un 70 % en condiciones climatológicas que facilitan el desarrollo del patógeno.

El principal método de control utilizado es la aplicación de fungicidas para mantener sano y en buenas condiciones el cultivo y obtener rendimientos comercializables al disminuir las pérdidas de producto infectado. El principal problema que presenta *B. cinerea* es que las medidas utilizadas para su control ya no son tan eficaces debido a que este hongo ha desarrollado resistencia contra ciertos fungicidas dificultando su control y ocasionando que se recurra al aumento de las dosis o incrementar la frecuencia de aplicaciones, convirtiéndose en un método más costoso y que aun así no asegura que los cultivos se mantengan a salvo de la infección. Por esta razón, es importante buscar alternativas para el control de este hongo fitopatógeno y estudiar el efecto de nuevos tratamientos sustentables que sean aplicados en precosecha y poscosecha que disminuyan de manera significativa la incidencia de *B. cinerea*.

## **4. Objetivos**

### **4.1 Objetivo general**

Evaluar la efectividad de la aplicación (precosecha y poscosecha) de ácido salicílico (AS) y metil jasmonato (MeJA) para controlar la pudrición gris (*Botrytis cinerea*) en frutos de fresa.

### **4.2 Objetivos específicos**

- 4.2.1 Evaluar el efecto de la aplicación de ácido salicílico (AS) durante la floración de la planta en la calidad de frutos sanos en poscosecha.
- 4.2.2 Evaluar el efecto de la aplicación de ácido salicílico (AS) durante la floración de la planta en la incidencia de *Botrytis cinerea* en frutos sanos inoculados en poscosecha.
- 4.2.3 Evaluar el efecto de la aplicación de metil jasmonato (MeJA) y ácido salicílico (AS) en poscosecha en el control de *Botrytis cinerea* y la calidad de los frutos.

## **5. Metodología**

### **5.1 Localización del huerto experimental, origen de las muestras de fresa y compuestos químicos utilizados.**

La aplicación de los tratamientos en campo (primera etapa) se realizó en una huerta comercial dedicada a la producción de fresa bajo la tecnología de cielo abierto, ubicada en Camalú, Baja California, México (30°50'16" N 116°03'26" O a una altitud de 21 m.s.n.m.). En esta huerta se utilizó la variedad '3128' sembrada en surcos de 90 m de longitud a doble hilera separados uno de otro 1 m y la distancia entre plantas fue de 30 cm. En este huerto, se eligió y definió la etapa de floración del cultivo para realizar las aplicaciones de los tratamientos de AS a aplicar y los tratamientos control con los cuales se compararían los resultados.

Las soluciones utilizadas se prepararon con ácido salicílico de la marca Baker catálogo 0300 con una pureza  $\geq 99\%$  y metil jasmonato (MeJA) marca Sigma-Aldrich catálogo 39924-52-2 con pureza del 95 %. Como fungicida se utilizó Fontelis® de la marca Corteva elaborado con el ingrediente activo pirazol carboxamida o pentiopirad de amplio espectro a una concentración de la solución de aspersión de 200 gL<sup>-1</sup> en 500 L de agua/ha, y además se utilizó agua destilada como control.

#### **5.1.1 Estrategia experimental**

Los tratamientos a evaluar se dividieron en dos etapas: la primera correspondió al estudio del efecto de la aplicación de ácido salicílico en precosecha y el segundo correspondió al estudio del efecto de la aplicación de AS y MeJA en poscosecha. La Figura 13 muestra las diferentes operaciones realizadas en el curso del presente estudio.

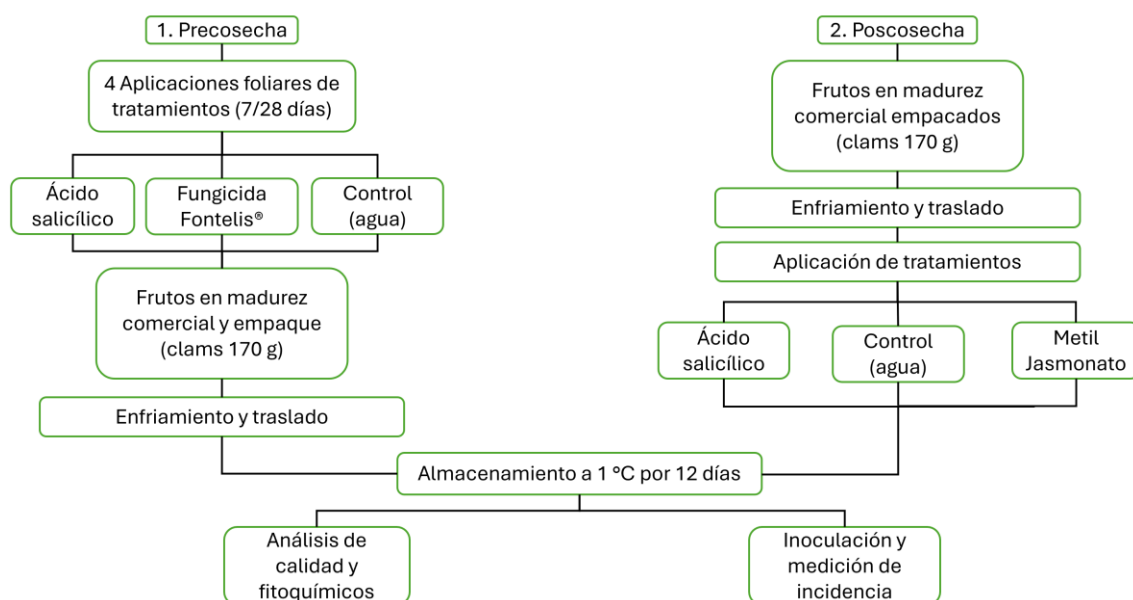


Figura 13. Estrategia experimental seguida para la aplicación de AS, fungicida comercial, MeJA y controles en frutos de fresa precosecha en la etapa de floración y en poscosecha en frutos maduros. Las evaluaciones de calidad e incidencia de la enfermedad se efectuaron en frutos almacenados a 1 °C por doce días.

Para las aplicaciones en precosecha, se estudiaron cuatro tratamientos que se aplicaron durante la floración del cultivo los cuales fueron denominados así:

T1 control agua destilada.

T2 control negativo, fungicida comercial.

T3 4 mM de AS.

T4 6 mM de AS.

Durante el periodo de floración, estos tratamientos se aplicaron por triplicado en parcelas divididas de 225 plantas por cada repetición (tres réplicas) y por cada tratamiento (675 plantas por cada tratamiento). Cada uno de los tratamientos fueron aplicados por aspersión a los 0, 7, 14, y 21 días.

Los frutos procedentes de cada tratamiento se cosecharon en madurez comercial después de 28 días de la primera aplicación, estos se colocaron en

clamshells de 170 g y fueron transportados vía aérea al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas del posgrado de alimentos de la Universidad Autónoma de Querétaro en condiciones de refrigeración. Donde fueron almacenados a 1 °C y 90 % HR durante 12 días. Durante el almacenamiento a 1 °C, se tomaron muestras de frutos por triplicado para su análisis de incidencia de pudrición gris, pérdida de peso, color, contenido de sólidos solubles totales, pH, acidez, firmeza, contenido de fenoles totales y contenido de antocianinas.

Para la segunda etapa (tratamientos poscosecha) se cosecharon frutos de la misma huerta comercial. Se cosecharon frutos en madurez comercial tratados únicamente con el fungicida Fontelis®, se empacaron en clamshells de 170 g y fueron transportados vía aérea al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas del posgrado de alimentos de la UAQ en condiciones de refrigeración. En el laboratorio, mediante el uso de un atomizador se aplicaron las soluciones de AS a 4 y 6 mM y de MeJA a 0.05 y 0.10 mM previamente preparadas, además de la aplicación de agua como tratamiento control. Estos tratamientos fueron denominados de la siguiente forma:

T1 control agua.

T2 AS 4 mM.

T3 AS 6 mM.

T4 MeJA 0.05 mM.

T5 Meja 0.10 mM.

Nuevamente los frutos tratados fueron almacenados a 1 °C y 90 % HR durante 12 días. A los 0, 4, 8 y 12 días se tomaron muestras por triplicado para realizar los mismos análisis descritos en la sección anterior.

## 5.2 Preparación de las soluciones de AS y MeJA

Las soluciones de AS se prepararon siguiendo la metodología previamente descrita por Haider *et al.* (2020) con ciertas modificaciones; el ácido salicílico (ácido 2- hidroxibenzoico, peso molecular 138.125 g/mol, pureza 99 %, Baker Analyzed), se disolvió en etanol al 3 %, y luego se agregó agua destilada para preparar concentraciones de 4 y 6 mM. Las soluciones de MeJA se prepararon bajo la metodología sugerida por Saavedra *et al.* (2017) con ciertas modificaciones; el metil jasmonato (peso molecular 224.30 g/mol, pureza 95 %, Sigma-Aldrich), se pesó las cantidades necesarias del compuesto para preparar las soluciones 0.05 y 0.10 mM, las cuales se disolvieron en agua destilada utilizando 0.05 % (v/v) de Tween-20 como agente surfactante y llevando la solución a 1 litro. El fungicida Fontelis® (i.a. pentiopirad) se preparó de acuerdo con la ficha técnica y se disolvió en agua (200 g de i.a./L). Las aplicaciones en campo de AS y fungicida se realizaron mediante pulverizaciones con mochila de fumigación y las aplicaciones en poscosecha con MeJA y AS se realizaron mediante atomizaciones manuales sobre la superficie de los frutos.

### 5.2.1 Aplicaciones de Ácido Salicílico en poscosecha

La aplicación de soluciones de AS se llevó a cabo bajo la metodología sugerida por Haider *et al.*, (2020) con ciertas modificaciones. Se elaboraron dos soluciones de 4 mM, 6 mM y un control con etanol al 3 %. Las aplicaciones de cada tratamiento se realizaron por atomizaciones en 21 clamshells desinfectados con hipoclorito de sodio al 1 % y lavados con agua destilada. Posteriormente, se almacenaron a 1 °C con 90 % de humedad relativa y se evaluó la incidencia del hongo (metodología 5.3) y calidad del fruto a los 0, 4, 8 y 12 días (metodología 5.4 y 5.5).

### 5.2.2 Aplicaciones de Metil Jasmonato en poscosecha

La aplicación de los tratamientos con MeJA se realizó de acuerdo con la metodología propuesta por Vaezi *et al.*, (2022) con ciertas modificaciones. Se prepararon dos soluciones de MeJA de 50 y 100  $\mu\text{mol/l}$  utilizando Tween-20 al 0.05 % (v/v) como surfactante en ambas soluciones. Para el control se utilizó agua destilada con Tween-20 al 0.05 % (v/v). Las aplicaciones de cada tratamiento se realizaron por atomizaciones en 21 clamshells desinfectados con hipoclorito de sodio al 1 % y lavados con agua destilada. Posteriormente, se almacenaron a 0 °C con 90 % de humedad relativa y se evaluó la incidencia del hongo (metodología 5.3) y calidad del fruto a los 0, 4, 8 y 12 días (metodología 5.4 y 5.5).

### **5.3 Inoculación de *B. cinerea* en frutos de fresa**

Se preparó como medio de cultivo caldo de papa casero agregando 100 g de papa, 7.5 g de agar y 10 g de azúcar en 500 ml de agua destilada. Una vez preparado se esterilizó en autoclave a 121 °C por 15 minutos. Posteriormente, se colocaron 25 ml del medio de cultivo en cajas de Petri estériles y se colocó la muestra de *B. cinerea* en el medio de cultivo sólido. Después de colocar la muestra se incubó a 27 °C con humedad relativa del 90 % durante 7 días. El grupo de cepas de *B. cinerea* utilizado en este estudio se aisló de frutos de *F. × ananassa* infectados con *Botrytis*.

La inoculación en el fruto se realizó siguiendo la metodología previamente descrita por Saavedra *et al.* (2017) con ligeras modificaciones. Los frutos se desinfectaron superficialmente con una solución de hipoclorito de sodio al 1.5 % durante 1 minuto y se lavaron con agua destilada estéril; posteriormente, se retiró el exceso de agua con papel absorbente. Finalmente, se realizó la inoculación colocando una alícuota de 20  $\mu\text{L}$  de suspensión de esporas de  $1 \times 10^5$  esporas/ml en el ecuador de cada fruto.

### 5.3.1 Medición de incidencia de *B. cinerea*

La presencia de *B. cinerea* se evaluó a los 0, 4, 8 y 12 días en frutos de fresa tratados durante el almacenamiento (1 °C; HR 90 %); se realizó la observación de la superficie de los frutos para determinar si había presencia (área en descomposición) o ausencia de infección. El fruto con presencia de moho gris se consideró como fruto dañado y el índice de enfermedad se calculó con la siguiente fórmula (Haider *et al.*, 2020):

$$\text{Incidencia de la enfermedad} = \frac{\text{Cantidad de frutos dañados}}{\text{Cantidad total de frutos}} \times 100$$

## 5.4 Análisis de calidad

### 5.4.1 Pérdida de peso

Este parámetro se estimó siguiendo una metodología previamente descrita (Munćan *et al.*, 2022). Los frutos de fresa se pesaron a los 0, 4, 8 y 12 días en una balanza analítica. La tasa de pérdida de peso se calculó a partir de la diferencia de peso en comparación con la primera medición (día 0) y el día de muestreo con base en la siguiente ecuación:

$$\text{Tasa de pérdida de peso (\%)} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \times 100$$

### 5.4.2 Firmeza

Se determinó utilizando un analizador de textura (Brookfield CT3). Se utilizó una sonda cilíndrica de 25.4 mm de diámetro, la cual comprimió la muestra una distancia equivalente al 10 % del diámetro máximo de la fruta; la velocidad de



compresión fue de 1 mm/s y una carga de activación de 0.10 N (Hernández-Muñoz *et al.*, 2008). Los resultados fueron expresados como la fuerza necesaria (N) para comprimir el equivalente al 10% del diámetro máximo del fruto.

#### 5.4.3 Acidez titulable y SST

Se preparó un extracto acuoso tomando 3 g de fresa y 35 ml de agua destilada, homogeneizándolo con un ultraturrax (T-25) a 10000 rpm durante 1 min. Posteriormente, la muestra homogeneizada se centrifugó durante 15 min a 10000 rpm y 4 °C; el sobrenadante obtenido se filtró con manta cielo. Del extracto acuoso se tomaron 10 ml y se tituló con NaOH 0.01 N hasta alcanzar un pH de  $8.2 \pm 0.2$  (AOAC, 1990).

La acidez titulable se expresó como porcentaje de ácido cítrico en 100 g de muestra utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ acidez} = \frac{\text{Volumen NaOH gastado} * N(\text{NaOH}) * \text{Vol. aforado} * \text{meq ácido cítrico} * 100}{\text{Volumen muestra} * \text{Peso de la muestra} * 1000}$$

Para la determinación de los sólidos solubles totales (° Brix), se tomó una alícuota del extracto acuoso y se colocó en un refractómetro digital (A. Krüss Optronic GmbH). El resultado se expresó como porcentaje de sólidos solubles totales (SST).

#### 5.4.4 Color

El color de las muestras se midió utilizando un espectrofotómetro de reflectancia Minolta (Minolta Osaka-Light source D65 CM-600D) utilizando un iluminante D65 y un observador a 10°. El color se expresó en las unidades de CIELAB  $L^*$  (Claridad/oscuridad),  $a^*$  (+Rojo/Verde-) y  $b^*$  (+Amarillo/Azul-). Los valores de cromaticidad ( $C^*$ ) y el ángulo de matiz ( $h^\circ$ ) fueron estimados de acuerdo con las ecuaciones descritas por McGuire (1992).

## 5.5 Análisis fitoquímicos

Para la cuantificación de antocianinas y de compuestos fenólicos se obtuvo un extracto metanólico.

Para ello, se mezclaron 3 g de fresa y 25 ml de una solución de metanol al 80 %. La muestra se homogeneizó a 10,000 rpm utilizando un Ultra Turrax (T-25, IKA, Alemania) y se centrifugó durante 15 minutos a 4 °C; el sobrenadante se filtró con manta cielo. El filtrado obtenido constituyó el extracto para los análisis de antocianinas y fenoles totales.

### 5.5.1 Contenido de antocianinas

Se determinó mediante el método de pH diferencial presentado Giusti y Wrolstad (2001). Se utilizó 600 µL del extracto obtenido anteriormente y 2.4 ml de cloruro de potasio (0.025 M, pH=1) y acetato de sodio (0.4 M, pH=4.5). El volumen final fue 3 ml. Posteriormente, se realizó un barrido de 400-750 nm en un espectrofotómetro Lambda 365, Perkin Elmer, Inc., EUA para determinar la absorbancia máxima. La concentración de antocianinas se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Antocianinas (mg l}^{-1}\text{)} = (A * PM * FD * 100) / (\epsilon * 1)$$

Dónde: A fue la absorbancia obtenida de: (A<sub>max</sub>-A<sub>700 nm</sub>) pH 1- (A<sub>max</sub>-A<sub>700 nm</sub>) pH 4.5; PM fue el peso molecular para pelargonidina-3-glucósido (433,2 g/mol); FD fue el factor de dilución;  $\epsilon$  fue el coeficiente de extinción molar (13,000 g mol<sup>-1</sup>cm<sup>-1</sup>) y 1 fue la longitud de la trayectoria de la celda (1 cm).

### 5.5.2 Contenido de compuestos fenólicos totales

Se tomaron 400 µL del extracto obtenido en tubos de ensayo, después se adicionó 1 ml de agua destilada y 200 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu al 50 % y se dejó reposar durante 5 minutos. Después, se colocaron 2 ml de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> al

7 % y 1.4 ml de agua destilada. Finalmente se agitó y mantuvo en incubación por 1 h a temperatura ambiente. Se leyó a una absorbancia de 750 nm (Singleton & Rossi, 1965). El contenido fenólico se calculó con la siguiente ecuación obtenida de la curva estándar de ácido gálico:

$$y = 7.8324x - 0.0211$$
$$x = \frac{(absorbancia) + (0.0211)}{(7.8324)} x \text{ (Factor de dilución)}$$

## 5.6 Diseño experimental y análisis estadístico de los datos

Para la primera etapa (precosecha) se planteó un diseño unifactorial aleatorizado con tres réplicas, donde el factor fue el tratamiento con cuatro niveles: AS 4 mM, AS 6 mM, el fungicida Fontelis® (200 g/l) y el control con agua. Para la segunda etapa se realizó un diseño unifactorial aleatorizado con tres réplicas, donde se tuvo el factor tratamiento con cinco niveles: AS a 4 y 6 mM, MeJA a 0, 0.05 y 0.10 mM y un tratamiento control con agua. En ambos experimentos, se realizaron mediciones repetidas en el tiempo de almacenamiento de los frutos (0, 4, 8 y 12 días).

En ambas etapas los frutos se evaluaron durante 0, 4, 8 y 12 días de almacenamiento poscosecha. Como unidad experimental se tuvieron seis y quince clamshells de fresas. La variable respuesta incidencia de pudriciones fue analizada en un modelo lineal generalizado mixto (MGMM), el cual permitió hacer comparaciones por pares; las variables pérdida de peso, color, firmeza y composición fueron analizadas estadísticamente en el programa estadístico JMP mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía; para los datos que presentaron diferencias significativas se realizó una comparación de medias por la prueba Tukey con un nivel de significancia de  $p < 0.05$ .

## 6. Resultados y discusión

Los efectos de los tratamientos aplicados en el presente estudio son presentados y discutidos para cada una de las etapas donde fueron aplicados y señalados en la metodología para el control de *B. cinerea* en fresa cv. '3128'.

### 6.1 Efecto de la aplicación del AS en precosecha

#### 6.1.1 Efecto de la aplicación de AS en la incidencia de *B. cinerea*.

Al inicio del almacenamiento (día 0), los frutos no presentaron síntomas de *B. cinerea*; en el día 4 de almacenamiento, el control mostró mayor presencia de pudrición gris en los frutos (16.6 %), seguido de los frutos con AS 6 mM (8.3 %), mientras que los frutos que recibieron como tratamiento el fungicida y AS 4 mM mostraron menor incidencia (4.5 %), lo cual sugiere que estos tratamientos mostraron resultados positivos al reducir el desarrollo del moho gris en cortos periodos de almacenamiento (Cuadro 7). En el día 8 de almacenamiento, la descomposición fúngica en los frutos control se mantuvo en 16.6%, no obstante, la incidencia en los frutos con el tratamiento AS 6 mM aumentó su incidencia (20 %). Aunque, los tratamientos AS 4 mM y fungicida comercial incrementaron su incidencia (12.5 %), esta fue menor que el control.

Cuadro 7. Efecto de la aplicación precosecha de ácido salicílico (AS) en la incidencia de *B. cinerea* (%) en frutos de fresa cv '3128' durante su almacenamiento a 1 °C y 90 % de HR.

Tratamiento/Días Almacenamiento 1 °C	Control	Fungicida (Fontelis®)	AS 4 Mm	AS 6 mM
Día 0	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Día 4	4/25=16.6 %	1/25=4.5 %	1/25=4.5%	2/25=8.3 %
Día 8	4/25=16.6 %	3/25=12.5 %	3/25=12. 5%	5/25=20.0 %
Día 12	7/25=28.0 %	4/25=16.6 %	4/25=16.6 %	5/25=20.0%

A los 12 días de almacenamiento, los frutos control continuaron incrementando su incidencia y desarrollando micelio gris hasta un 28 % (Figura 14). Por otro lado, los frutos de los tratamientos AS 4 mM y con el fungicida comercial mostró niveles de incidencia similares entre ellos (16.6%) y el tratamiento 6 mM mostró incidencia de 20 % pero fue menor que el tratamiento control (Cuadro 7).

Estos datos sugieren que la aplicación de 4 mM de AS redujo la incidencia de *B. cinerea* de forma igualmente eficiente que el fungicida comercial. Por ello, la aplicación de AS podría ser una alternativa sustentable al uso de los fungicidas.

A efecto de evaluar estadísticamente estos resultados, se aplicó el modelo lineal generalizado mixto (MGMM) que permite el uso de un modelo de regresión logística que considera el tratamiento, los días de almacenamiento y la interacción tratamiento\*día como factores fijos y los frutos como factores aleatorios (las observaciones de infectados o no infectados son al azar).

El análisis general utilizando este modelo (Cuadro 8), indico que el factor tratamiento fue significativo ( $\alpha < 0.05$ ).

Cuadro 8. Valor de significancia estadística de los factores fijos experimentales en la incidencia de *B. cinerea* en frutos de fresa.

Factores fijos	Probabilidad (valor p)	Significancia $\alpha=0.05$
Tratamiento	0.015	<b>Significativo</b>
Día	0.098	No significativo
Tratamiento*día	0.380	No significativo

La no significancia del factor día parece sugerir que no hay un incremento general estadísticamente significativo en la incidencia de la infección a medida que progresa el almacenamiento; mientras que la no significancia de la interacción tratamiento\*día sugiere que el progreso de la infección no difiere significativamente entre los tratamientos. Pero el efecto significativo del factor tratamiento indica que, aunque no hubo una diferencia por efecto del tiempo, si hay un efecto significativo del tratamiento aplicado.

De acuerdo con el anterior resultado, se realizaron comparación por pares de los tratamientos aplicados para determinar que tratamiento difiere en la incidencia promedio de la infección a lo largo del almacenamiento. El tratamiento control se utilizó como referencia. Esta comparación por pares señaló que el tratamiento con 4 mM de AS y el fungicida redujeron significativamente ( $\alpha < 0.05$ ) la incidencia de *Botrytis cinerea* respecto del tratamiento control (Cuadro 9). Así mismo, también identificó que el tratamiento 4 mM AS es equivalente al tratamiento con el fungicida comercial en el control de la infección de *B. cinerea* (la comparación entre ambos tratamientos no fue estadísticamente significativa).

Cuadro 9. Comparación estadística por pares de tratamientos en la reducción de la incidencia de *B. cinerea* en frutos de fresa.

Comparación	Valor p (Ajustado)	Significación ( $\alpha=0.05$ )
Fungicida vs. Control	0.038	<b>Significativo</b>
4 mM AS vs. Control	0.038	<b>Significativo</b>
6 mM AS vs. Control	0.701	No Significativo
Fungicida vs. 6 mM AS	0.205	No Significativo
4 mM AS vs. 6 mM AS	0.205	No Significativo
Fungicida vs. 4 mM AS	0.999	No Significativo

Estos datos estadísticos se corresponden con el desarrollo visual de la infección de *B. cinerea* en frutos control, tratados con fungicida comercial Fontelis® 200 g/L y tratados con 4 y 6 mM de AS, inoculados con 20  $\mu$ L de suspensión de esporas de  $1 \times 10^5$ ; almacenados por 12 días a 1 °C (Figura 14).

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por otros autores, quienes aplicaron AS en concentraciones de 1, 2 y 4 mM en plantas de fresa en la etapa de floración mediante un pulverizador. Las aplicaciones se repitieron dos veces con intervalos de 10 días y demostraron que el AS a 1 mM mostró un efecto inhibitor del moho gris en frutos de fresa cv. Festival, comparable al fungicida fenhexamida (Emam y Abdelghany, 2023).



Figura 14. Evolución de incidencia de *B. cinerea* en frutos de fresa cv '3128' tratados en precosecha con: T1 ( $H_2O$  control), T2 (fungicida Fontelis®), T3 (AS 4 Mm) y T4 (As 6 mM) y almacenados por 0, 4, 8 y 12 días a 1 °C y 90 % HR.

Babalar *et al.* (2007) también evaluaron concentraciones de AS (1, 2 y 4 mM) en plantas de fresa cv. Selva; las aplicaciones se hicieron mediante pulverizaciones sobre las plantas y frutos; observaron que la dosis de 4 mM fue la más efectiva para reducir la descomposición fúngica respecto al control al ser aplicada en desarrollo vegetativo y desarrollo del fruto, mientras que las dosis de 1 y 2 mM aplicadas en desarrollo vegetativo no fueron efectivas; no obstante, al aplicarlas en el desarrollo del fruto, se disminuyó la descomposición respecto al control. Asimismo, indicaron que la mejor estrategia preventiva para la pudrición poscosecha de la fruta de fresa es el pretratamiento de las plantas en las etapas de desarrollo vegetativo y de la fruta, seguido del tratamiento poscosecha de la fruta antes del almacenamiento.



Estos resultados indican que aplicar 4 mM de AS o Fontelis®, durante la floración de la planta es igual de efectivo para reducir hasta 4 veces la presencia de pudrición gris en frutos de fresa almacenados durante 12 días a 1 °C. Por lo tanto, el aplicar 4 mM de AS puede ser un sustituto de los fungicidas comerciales. Haider *et al.* (2020) señalan que la disminución de la pudrición de la fruta corresponde al aumento de la resistencia a enfermedades dentro de la fruta.

Estos resultados coinciden con lo observado por Dieryckx *et al.*, (2015) y Jeyasri *et al.*, (2023), quienes aplicaron tratamientos con ácido salicílico (AS) y metil jasmonato (MeJA), en plantas o sus órganos, observando inducción de actividad fungistática contra *Botrytis*.

#### 6.1.2 Cambios en el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas

El efecto de control de la incidencia de infecciones de *B. cinerea* podría tener una correlación con el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas en los frutos puesto que estos podrían ser metabolitos esenciales en la resistencia a las enfermedades.

El contenido de fenoles totales al inicio del almacenamiento a 1 °C fue estadísticamente similar entre los frutos tratados con AS y fungicida (0.632 a 0.673 equivalentes de ácido gálico/g) y ligeramente mayores en el control, pero similares que el tratamiento 4mM AS (0.673 – 0.777 mg equivalentes AG/g). Dada esta similitud de valores al inicio del almacenamiento, se excluyó los valores de ese día para realizar el ANOVA general del efecto de los tratamientos en todos los días o haciendo el análisis para cada uno de los días 4, 8 y 12.

El análisis de varianza a nivel general mostró efectos altamente significativos de los diferentes tratamientos, los días de almacenamiento y la interacción tratamiento\*día ( $p < 0.0001$ ), observándose que el grupo control y el tratado con el fungicida tuvieron los menores valores y similares estadísticamente entre sí, mientras que los tratados con ácido salicílico mostraron contenidos

significativamente mayores (Cuadro 10). Esto sugiere que los tratamientos con AS inducen la síntesis de fenoles totales lo cual no ocurrió con el tratamiento control y el fungicida.

Las comparaciones de los contenidos de fenoles durante los diferentes días de almacenamiento, especialmente los días 8 y 12, parecen confirmar la observación general; los tratamientos con ácido salicílico indujeron un mayor contenido o biosíntesis de fenoles respecto del control y el fungicida (Cuadro 10; Figura 15A).

Cuadro 10. Comparación general y por día de los valores medios del contenido de fenoles totales entre los tratamientos control, y las aplicaciones de fungicida y ácido salicílico (4 y 6 mM).

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey <0.05) Fenoles (mg equivalentes AG/g)		
Control	0.748 <sup>b</sup>		
Fungicida	0.774 <sup>b</sup>		
4 mM AS	0.853 <sup>a</sup>		
6 mM AS	0.856 <sup>a</sup>		
	Comparación medias por día (Tukey<0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
Control	0.766 <sup>ab</sup>	0.793 <sup>b</sup>	0.673 <sup>c</sup>
Fungicida	0.688 <sup>b</sup>	0.893 <sup>a</sup>	0.740 <sup>c</sup>
4 mM AS	0.814 <sup>a</sup>	0.895 <sup>a</sup>	0.850 <sup>b</sup>
6 mM AS	0.772 <sup>a</sup>	0.862 <sup>a</sup>	0.934 <sup>a</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

Estos resultados sugieren que las aplicaciones de ácido salicílico inducen la biosíntesis de fenoles, lo cual parece estar relacionado con la menor incidencia de infecciones por *B. cinerea*. Esto también sugiere que el mecanismo de

resistencia a la infección está relacionado por la inducción de síntesis de compuestos fenólicos.

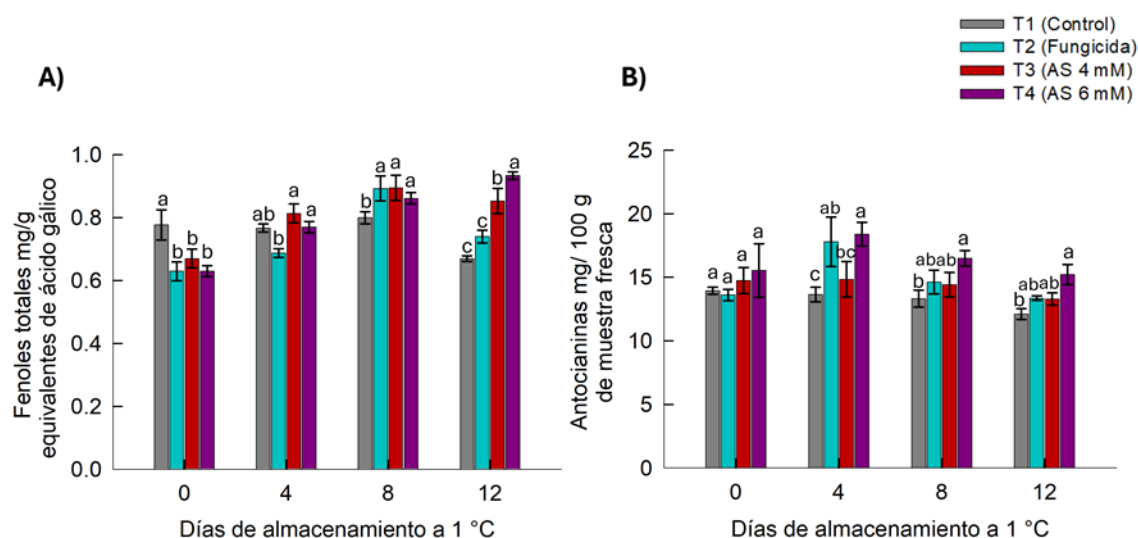


Figura 15. Cambios en el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas en frutos de fresa, tratados con AS (4 y 6 mM), fungicida y control, y almacenados 12 días a 1 °C. **A)** Fenoles totales **B)** Antocianinas.

Estos resultados coinciden con lo reportado por otros autores (Gačnik *et al.*, 2021) quienes demostraron que el tratamiento con AS en fresa indujo un aumento significativo ( $p < 0,05$ ) de compuestos fenólicos en comparación con el control. No obstante, estos autores aplicaron distintas formas de AS (AS, metil salicílico y acetil salicílico) y analizaron los tipos de fenoles obtenidos, observando incrementos de ácidos hidroxicinámicos, flavonoles, flavonas y antocianinas. Es posible que nuestros frutos tratados con AS incrementaran esos tipos de fenoles.

Por otro lado, Patzke y Schieber (2018), en estudios *in vitro* indicaron que el ácido ferúlico (un ácido hidroxicinámico) mostró un alto efecto inhibitor del crecimiento de *B. cinerea*. Tomando en cuenta estos dos reportes, es posible indicar que el tratamiento de AS en campo indujo la síntesis de ácidos hidroxicinámicos, en particular el ácido ferúlico lo que provocó la menor incidencia de infecciones de *B. cinerea*.

Por su parte, Emam y Abdelghany (2023) aplicaron AS en concentraciones de 1, 2 y 4 mM en plantas de fresa durante su floración observándose altos contenidos de fenoles en el tratamiento de 4 mM de AS y que este contenido cambió durante el almacenamiento (34.89, 44.23 y 41.96 mg/ml después de 10, 20 y 30 días de la aplicación respectivamente).

Respecto de los contenidos de antocianinas, los contenidos iniciales de antocianinas (Día 0) en todos los tratamientos fueron estadísticamente similares y sus valores variaron desde 13.61 hasta 15.53 mg/ 100 g de muestra.

El análisis de varianza general de los datos mostró un efecto significativo del tratamiento y de los días de almacenamiento ( $p < 0.0001$ ), mientras que la interacción tratamiento\*día no fue significativa (Cuadro 11 y Figura 15B). Los frutos control y tratados con 4 mM de AS mostraron los contenidos más bajos; mientras que los grupos tratados con el fungicida, así como el tratado con 6 mM de AS mostraron los contenidos más altos.

La comparación general de medias del contenido de antocianinas entre los diferentes tratamientos y días de almacenamiento no mostró diferencias significativas entre los tratamientos (Cuadro 11 y Figura 15B); En el día 4 de almacenamiento, se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos con fungicida y AS 6 mM respecto al control. No obstante, en el día 8 y 12 de almacenamiento, los frutos control mostraron los contenidos más bajos, mientras que los frutos tratados con 6 mM de AS mostraron los contenidos más altos; pero similares estadísticamente con los contenidos alcanzados por los tratamientos con el fungicida y con 4 mM de AS (Cuadro 11).

Nuestros resultados, se ven soportados por los trabajos de Darwish *et al.* (2021) quienes evaluaron frutos de fresa cv. 'Festival' tratados con AS a 2 y 4 mM durante la floración de la planta. Observaron que los frutos de fresa tratados con

AS mostraron un mayor contenido de antocianinas después de 8 y 12 días de almacenamiento en comparación con el control.

Cuadro 11. Comparación general y por día de almacenamiento de la media del contenido de antocianinas de frutos control de fresa y tratados con fungicidas y con ácido salicílico (4 y 6 mM).

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05) Antocianinas mg/ 100 g de muestra fresca		
Control	13.96 <sup>a</sup>		
Fungicida	13.62 <sup>a</sup>		
4 mM AS	14.74 <sup>a</sup>		
6 mM AS	15.53 <sup>a</sup>		
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
Control	13.64 <sup>c</sup>	13.35 <sup>b</sup>	11.91 <sup>b</sup>
Fungicida	17.79 <sup>ab</sup>	14.65 <sup>ab</sup>	13.36 <sup>ab</sup>
4 mM AS	14.84 <sup>bc</sup>	14.42 <sup>ab</sup>	13.28 <sup>ab</sup>
6 mM AS	18.39 <sup>a</sup>	16.49 <sup>a</sup>	15.22 <sup>a</sup>

Letras distintas dentro de una misma columna, indican diferencias significativas entre los tratamientos (Tukey <0.05).

### 6.1.3 Efectos de los tratamientos en la calidad del fruto.

Para comprobar que el tratamiento con AS, además de reducir la incidencia de *B. cinerea*, mantiene la calidad en los frutos de fresa, se evaluó, la pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y color.

#### 6.1.3.1 Efecto sobre la pérdida de peso y firmeza de los frutos.

El análisis de varianza general de los efectos de los tratamientos en la pérdida de peso indicó una alta significancia por efecto del tratamiento, los días de almacenamiento y la interacción tratamiento\*día ( $p < 0.0001$ ). Los valores

promedio generales indicaron que el tratamiento control perdió significativamente más peso que los frutos tratados con el fungicida y el tratamiento con 4 mM de AS; el tratamiento con 6 mM de AS mostró la menor pérdida de peso (Cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación general de medias y durante el almacenamiento de la pérdida de peso de frutos de fresa sujetos a diferentes tratamientos precosecha.

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05) % pérdida de peso		
Control	5.2 <sup>a</sup>		
Fungicida	4.6 <sup>a</sup>		
4 mM AS	4.1 <sup>a</sup>		
6 mM AS	4.6 <sup>a</sup>		
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
Control	2.2 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	7.6 <sup>a</sup>
Fungicida	2.2 <sup>a</sup>	4.6 <sup>b</sup>	7.1 <sup>a</sup>
4 mM AS	1.8 <sup>a</sup>	3.5 <sup>c</sup>	7.1 <sup>a</sup>
6 mM AS	2.2 <sup>a</sup>	4.4 <sup>b</sup>	7.1 <sup>a</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

De manera lógica, la pérdida de peso fue aumentando a medida que transcurrió el almacenamiento. No obstante, la comparación de medias para cada día de almacenamiento no mostró diferencias significativas de pérdida de peso entre los tratamientos los días 4 y 12 de almacenamiento a 1 °C; mientras que en el día 8, se observaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados (Cuadro 12). Los frutos control mostraron una mayor pérdida de peso (5.9 %) mientras que los frutos tratados con 4 mM de AS mostraron la menor pérdida de peso (3.5%) (Figura 16A).

Lo datos obtenido indicaron que el tratamiento de 4 mM de AS parece ser un tratamiento que además de disminuir la incidencia de *B. cinerea* parece tener un efecto en la reducción de la pérdida de peso de los frutos.

Los resultados son similares a los reportados por Javier & Vicente (2024) quienes evaluaron la aplicación precosecha de AS a 1, 5 y 10 mM en árboles de lima Finger (*Citrus australasica*), observando que después de 21 días de refrigeración, el tratamiento de mayor concentración de AS (10 mM) tuvo menor pérdida de peso de 18.4 % comparado con el control; mientras que las concentraciones menores (1 y 5 mM) no presentaron diferencias significativas con el control.

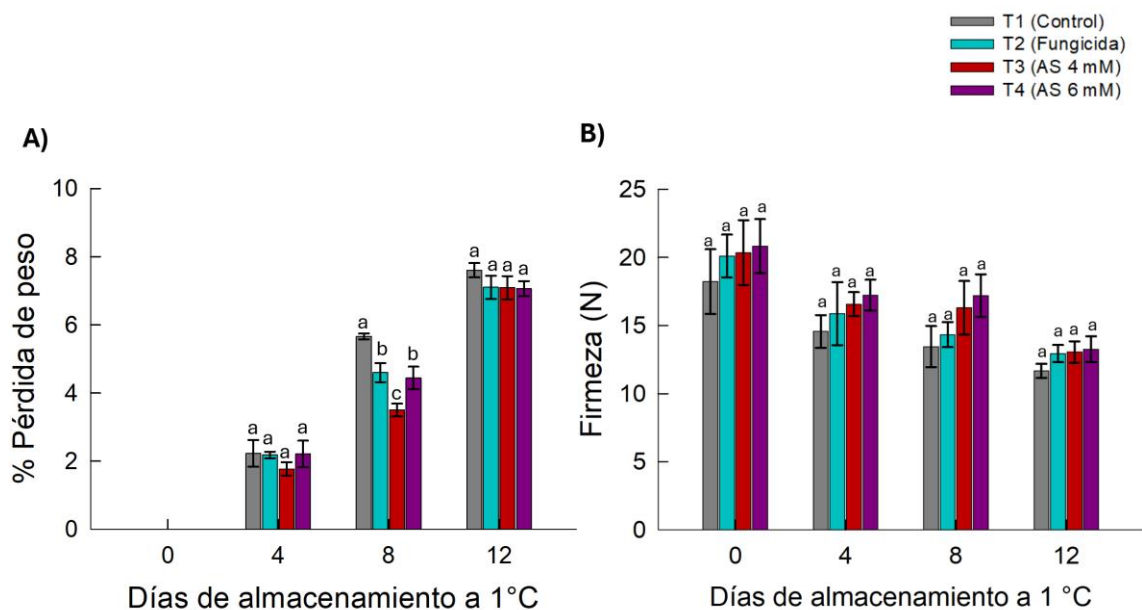


Figura 16. Cambios en la pérdida de peso y firmeza de frutos de fresa, almacenados durante 12 días a 1 °C, con la aplicación de AS (4 y 6 mM) y fungicida, así como su respectivo control, en la planta durante la floración de la planta. **A)** % Pérdida de peso y **B)** Firmeza (N).

En cuanto a la firmeza, los frutos en el día 0, no fueron estadísticamente diferentes entre los tratamientos estudiados y sus valores se encontraron entre 20.1 a 22.6 N (Cuadro 13 y Figura 16B). El análisis de varianza general indicó que ni el tratamiento ni la interacción tratamiento\*día fueron estadísticamente

significativos (valores de  $p > 0.05$ ) y solo el factor día de almacenamiento fue significativo ( $p < 0.05$ ), los días 4 y 8 mostraron los valores de firmeza más altos y el día 12 los más bajos (Cuadro 13 y Figura 16B).

La disminución de la firmeza en todos los tratamientos es esperada debido al proceso natural de envejecimiento del fruto. No obstante, aunque no se observaron diferencias significativas; los frutos de los tratamientos con AS mostraron una tendencia a tener mayor firmeza.

Cuadro 13. Comparación general y durante el almacenamiento de la firmeza de frutos de fresa sujetos a diferentes tratamientos para el control de *B. cinerea*.

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05) Firmeza (N)		
Control	14.5 <sup>a</sup>		
Fungicida	15.8 <sup>a</sup>		
4 mM AS	16.6 <sup>a</sup>		
6 mM AS	17.1 <sup>a</sup>		
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
Control	14.6 <sup>a</sup>	13.5 <sup>a</sup>	11.7 <sup>a</sup>
Fungicida	15.9 <sup>a</sup>	14.3 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>
4 mM AS	16.6 <sup>a</sup>	16.3 <sup>a</sup>	13 <sup>a</sup>
6 mM AS	17.2 <sup>a</sup>	17.2 <sup>a</sup>	13.3 <sup>a</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey  $< 0.05$ ).

Gačnik *et al.* (2021) al aplicar AS 1 mM en 50 plantas de fresa cv Clery cultivadas a cielo abierto, indicaron que el tratamiento mantuvo mayor firmeza después de 10 días de la aplicación (1.3 veces más que los frutos control). No obstante, en tiempos menores de almacenamiento no observaron diferencias estadísticas. En nuestro estudio, también los frutos tratados con AS mostraron 1.27 veces más



firmeza que los frutos control, aunque estos valores no fueron estadísticamente diferentes.

#### 6.1.3.2 Acidez titulable y SST (° Brix)

Al inicio del periodo de almacenamiento (Día 0), la acidez titulable no mostró diferencias significativas entre todos los tratamientos (0.57-0.67 %) (Figura 17A). Mientras que, el contenido de sólidos solubles fue significativamente menor en los tratamientos control y 4 mM de AS (9.8 %), y valores significativamente mayores en los frutos tratados con el fungicida y 6 mM de AS. (12.9 y 12.4 % respectivamente) (Figura 17B).

El análisis general de varianza indicó efectos significativos del tratamiento en la acidez de los frutos y el contenido de sólidos solubles ( $p < 0.05$ ). El tratamiento con el fungicida y con 4 mM de AS registraron los valores más alto de acidez mientras que el control y los tratados con 6 mM de AS registraron los menores valores. Por su parte, los sólidos solubles totales fueron más altos en los frutos tratados con 4 mM de AS, el control y los tratados con fungicida (Cuadro 14).

Cuadro 14. Comparación general y por día de almacenamiento de la media de la acidez (columna izquierda) y SST (columna derecha) de frutos control de fresa y tratados con fungicidas y con ácido salicílico (4 y 6 mM).

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05)		
	% Acidez		% SST
Control	0.86 <sup>b</sup>		12.6 <sup>a</sup>
Fungicida	1.00 <sup>a</sup>		12.2 <sup>ab</sup>
4 mM AS	0.97 <sup>a</sup>		13.3 <sup>a</sup>
6 mM AS	0.84 <sup>b</sup>		11.1 <sup>b</sup>
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
	% AT; SST	% AT; SST	% AT; SST
Control	0.76 <sup>b</sup> ; 12.8 <sup>a</sup>	0.88 <sup>b</sup> ; 12.4 <sup>a</sup>	0.94 <sup>a</sup> ; 12.5 <sup>ab</sup>
Fungicida	0.96 <sup>a</sup> ; 12.1 <sup>ab</sup>	1.02 <sup>a</sup> ; 12.9 <sup>a</sup>	1.02 <sup>a</sup> ; 11.5 <sup>ab</sup>
4 mM AS	1.00 <sup>a</sup> ; 12.8 <sup>a</sup>	1.00 <sup>a</sup> ; 13.4 <sup>a</sup>	0.92 <sup>a</sup> ; 13.8 <sup>a</sup>
6 mM AS	0.97 <sup>a</sup> ; 11.4 <sup>b</sup>	0.84 <sup>b</sup> ; 11.5 <sup>a</sup>	0.72 <sup>b</sup> ; 10.3 <sup>b</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

El alto porcentaje de acidez puede deberse a la variedad utilizada y no atribuirse a los tratamientos, debido a que los frutos no tratados mostraron un comportamiento similar. Por lo tanto, estos resultados sugieren que los frutos tratados con AS pueden presentar un sabor aceptable para el consumidor, siendo ligeramente ácidos, pero sin perder el dulzor.

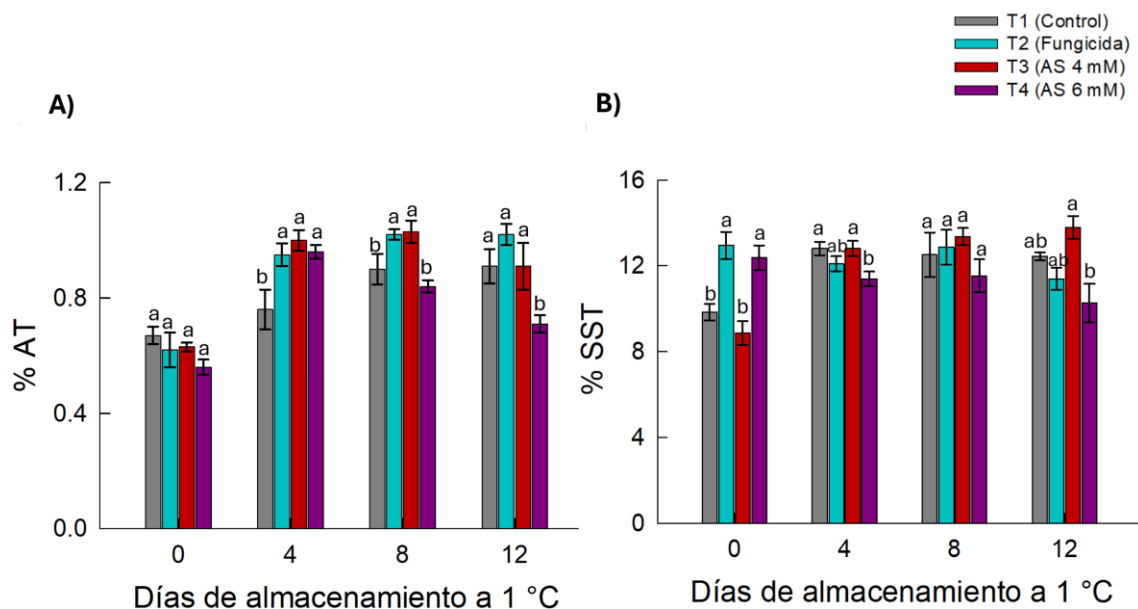


Figura 17. Cambios en la composición química y sabor de los frutos de fresa, almacenados durante 12 días a 1 °C, con la aplicación de AS (4 y 6 mM) y fungicida, así como su respectivo control, en la planta durante la floración de la planta. **A)** % AT y **B)** % SST.

Bajo un esquema experimental diferente Mohamed *et al.* (2018) hicieron aplicaciones foliares de AS a tres diferentes concentraciones (0, 1, 2 y 3 mM) en tres variedades de fresa ('Festival', 'Sweet Charli' y 'Vertona' en dos temporadas (2013-2014 y 2014-2015). Observando que todas las variedades tratadas con 3 mM mostraron mayor crecimiento vegetativo, mayor número de flores y precocidad de la producción. No obstante, la variedad Festival presentó mayor producción y menor crecimiento de *B. cinerea*; mientras que 'Verona' presentó mayor contenido de sólidos solubles y Sweet Cherli' la mayor acidez. El mayor contenido de SST en los frutos con la dosis de 3 mM se presentó en el cultivar Vertona, siendo del 12.77 %, mientras que en este trabajo se registró hasta 13.78 % en la dosis de 4 mM aunque no se observaron diferencias significativas con el control y el fungicida.

#### 6.1.3.3 Efectos de los tratamientos en el color de los frutos

Los valores de hue y cromaticidad al inicio del almacenamiento (Día 0) mostraron diferencias significativas entre las muestras de los diferentes tratamientos (Figura 18A). Los valores de hue fueron significativamente más altos en los frutos control y los tratados con 4mM de AS (33.1 ° y 33.7 °), los valores más bajos se registraron en los frutos tratados con el fungicida (28.9 °) seguidos por los tratados con 6 mM de AS (32.9 °), los cuales fueron similares estadísticamente a los valores del tratamiento de 4 mM de AS. El valor de cromaticidad (C\*) también mostró diferencias en el día 0 entre los tratamientos. Los frutos tratados con 6 mM de AS registraron los valores más altos (mayor intensidad de color) y estadísticamente significativos (39.1), mientras que los demás tratamientos mostraron valores estadísticamente similares (36.6 a 37.5) (Figura 18B).

El análisis de varianza general del efecto de los tratamientos en estos dos parámetros de color, indicó efectos altamente significativos de los tratamientos, días de almacenamiento y de la interacción tratamiento\*día ( $p < 0.0001$ ). Los valores de hue (pureza del color) indicaron que los frutos tratados con 4 mM de AS y control mostraron los valores más bajos (más cerca de los tonos rojos) y los tratados con fungicida tuvieron los valores de tono más altos (menos rojos). Por su parte, la cromaticidad registró los valores más altos (mayor intensidad de color) en los frutos tratados con 4 o 6 mM de AS y los más bajos (menor intensidad de color) fueron registrados en los frutos control seguidos de los tratados con fungicida. Estos datos indican que los tratamientos con AS indujeron un desarrollo de color rojo mayor que el tratamiento con fungicida y el control (Cuadro 15 y Figura 18).

Cuadro 15. Comparación general de medias y por día de almacenamiento de los valores de color Hue (columna izquierda) y cromaticidad (columna derecha) en frutos de fresa sujetos a diferentes tratamientos durante la floración.

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05)		
	Hue		C*
Control	34.2 <sup>a</sup>		39.3 <sup>a</sup>
Fungicida	34.8 <sup>a</sup>		40.2 <sup>a</sup>
4 mM AS	33.8 <sup>a</sup>		41.2 <sup>a</sup>
6 mM AS	34.6 <sup>a</sup>		41.0 <sup>a</sup>
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
	Hue; C*	Hue; C*	Hue; C*
Control	33.3 <sup>c</sup> ; 43.4 <sup>c</sup>	34.9 <sup>a</sup> ; 36.6 <sup>ab</sup>	34.3 <sup>b</sup> ; 38.0 <sup>c</sup>
Fungicida	37.0 <sup>a</sup> ; 46.8 <sup>a</sup>	32.0 <sup>c</sup> ; 37.2 <sup>a</sup>	35.4 <sup>a</sup> ; 36.7 <sup>d</sup>
4 mM AS	34.6 <sup>b</sup> ; 42.6 <sup>c</sup>	30.9 <sup>d</sup> ; 36.7 <sup>ab</sup>	35.9 <sup>a</sup> ; 44.1 <sup>a</sup>
6 mM AS	35.2 <sup>b</sup> ; 44.3 <sup>b</sup>	33.0 <sup>b</sup> ; 36.3 <sup>b</sup>	35.7 <sup>a</sup> ; 42.3 <sup>b</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

Durante el día 4 almacenamiento, los frutos con fungicida mostraron significativamente mayor valor de hue (37 °) respecto a todos los frutos tratados y el control; mientras que hubo diferencia entre los frutos con AS en comparación con el control. En el día 8 de almacenamiento, los frutos control mostraron mayor valor de hue (menor color rojo) y los tratados con 4 mM de AS, mostraron los menores valores (mayor intensidad del color rojo). Al finalizar el almacenamiento, no hubo diferencias significativas entre los tratamientos de AS y fungicida, no obstante, se mostró diferencia respecto al control; Por su parte, al finalizar el almacenamiento, la cromaticidad mostró diferencias significativas entre todos los tratamientos; el AS a 4 mM, mostró un valor de cromaticidad de 44.1, seguido del grupo tratado con 6 mM AS (42.3), el control con 38 y por último el fungicida con 36.7 (Cuadro 15; Figura 18).

Estos resultados indican que los frutos tratados con AS en ambas concentraciones logran mantener la intensidad del color durante más tiempo (Babalar *et al.*, 2007).

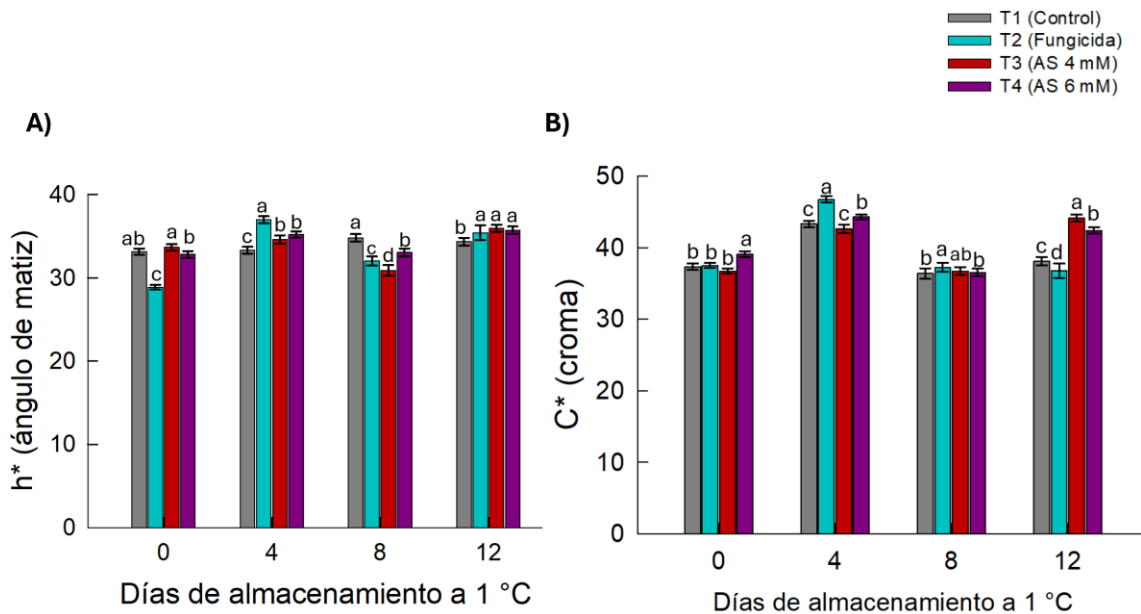


Figura 18. Cambios en el color de los frutos (cromaticidad y ángulo de matiz) de frutos de fresa tratados, con AS (4 y 6 mM) y fungicida, con relación al control durante la floración y almacenados durante 4, 8 y 12 días a 1 °C. **A)**  $h^*$  y **B)**  $C^*$ .

#### 6.1.3.3.1 Cambios en el valor de color $a^*$

El valor de color  $a^*$ , muestra los cambios de color del verde al rojo; por lo que este parámetro también puede ser un indicador para evaluar el color de los frutos de fresa obtenidos de las plantas tratadas con AS y fungicida durante la floración.

Los valores de  $a^*$  al inicio del experimento variaron entre 30.8 hasta 34.5, los tratamientos control, con fungicida y 4mM de AS mostraron los valores menores (30.8-32.6) pero estadísticamente iguales y el tratamiento con 6 mM de AS el que presentó mayor valor de  $a^*$  (34.5).

La comparación general de medias de valor de  $a^*$  durante el almacenamiento de los frutos permite observar que el factor tratamiento y días de almacenamiento fueron altamente significativos ( $p < 0.001$ ) pudiéndose observar que los tratamientos con el AS mantuvieron un valor de  $a^*$  más alto que los frutos control o tratados con el fungicida (Cuadro 16). También el factor días de almacenamiento influyó en el desarrollo de este factor; los frutos almacenados por 4 días mostraron un mayor valor de  $a^*$  respecto de los almacenados por 8 y 12 días que fueron menores pero similares entre sí. La interacción tratamiento\*día de almacenamiento no fue estadísticamente significativa ( $p = 0.085$ ) aunque si permitió observar que en el día 12, los frutos control y tratados con fungicida registraron los valores más bajos.

Cuadro 16. Comparación general de medias del valor de color  $a^*$  y durante los diferentes días de almacenamiento de frutos de fresa de plantas sujetas a diferentes tratamientos durante la floración.

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey $p < 0.05$ ) $a^*$		
Control	32.1 <sup>b</sup>		
Fungicida	32.9 <sup>b</sup>		
4 mM AS	35.8 <sup>a</sup>		
6 mM AS	35.5 <sup>a</sup>		
	Comparación medias por día (Tukey $p < 0.05$ )		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
Control	36.3 <sup>b</sup>	29.9 <sup>b</sup>	29.9 <sup>a</sup>
Fungicida	36.7 <sup>ab</sup>	31.1 <sup>b</sup>	31.0 <sup>a</sup>
4 mM AS	37.6 <sup>a<sup>b</sup></sup>	36.3 <sup>a</sup>	33.8 <sup>a</sup>
6 mM AS	39.6 <sup>a</sup>	35.0 <sup>a</sup>	31.9 <sup>a</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey  $< 0.05$ ).

La comparación de medias del efecto de los tratamientos durante el almacenamiento permitió confirmar lo anotado; para el día 4 y 8 los tratamientos con AS mostraron los valores más altos y el día 12 hubo una disminución general del valor a\* sin observarse diferencias entre los tratamientos

Los resultados obtenidos confirman que los tratamientos con AS en precosecha promueven un mayor desarrollo de color rojo de los frutos.

## 6.2 Estudios de aplicaciones en poscosecha

### 6.2.1 Efecto de la aplicación de AS y MeJA en la incidencia de *B. cinerea*.

Siguiendo lo establecido en la metodología sobre el desarrollo de *B. cinerea* en frutos de fresa cv. '3128' inoculados con un cultivo de patógeno a una concentración de  $1 \times 10^5$  esporas por ml y previamente tratados con agua (control), o con soluciones de AS (4 y 6 mM) o soluciones de MeJA (0.05 y 0.10 mM) durante su almacenamiento a 4, 8 y 12 días a 1 °C y 90 % HR, observándose los resultados de incidencia que se registra en la Cuadro 17 así como en la Figura 19.

Cuadro 17. Efecto de la aplicación poscosecha de ácido salicílico (AS) y metil jasmonato (MeJA) en la incidencia de *B. cinerea* en frutos de fresa cv '3128' durante su almacenamiento a 1 °C y HR del 90 %.

Tratamiento/Días Almacenamiento 1 °C	Control	AS 4 mM	AS 6 mM	MeJA 0.05 Mm	MeJA 0.10 Mm
Día 0	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %
Día 4	1/25= 4.5 %	0.0 %	1/25=4.5 %	0.0 %	1/25=4.5 %
Día 8	3/25=12.5 %	1/25= 4.5 %	1/25= 4.5 %	2/25=8.3 %	1/25=4.5 %
Día 12	4/25=16.6 %	1/25=4.5 %	1/25=4.5 %	2/25=8.3 %	1/25=4.5 %

El análisis estadístico utilizando el modelo lineal generalizado mixto a los datos de la incidencia de *B. cinerea*, indicó efectos significativos del tratamiento y de la



interacción tratamiento\*día de almacenamiento, y un efecto altamente significativo de los días de almacenamiento a 1 °C (Cuadro 18).

Cuadro 18. Valor de significancia estadística de los factores fijos experimentales en la incidencia de *B. cinerea* en frutos de fresa tratados con 4 y 6 mM de AS y con MeJA (0.05 y 0.10 mM).

Factores fijos	Probabilidad (valor p)	Significancia $\alpha=0.05$
Tratamiento	0.013	<b>Significativo</b>
Día	<0.0001	<b>Altamente significativo</b>
Tratamiento*día	0.021	<b>Significativo</b>

El uso del modelo lineal generalizado mixto (MGMM), permitió hacer comparaciones por pares de los diferentes tratamientos con el grupo control. Los resultados de este análisis indicaron un efecto significativo de los tratamientos con 4 y 6 mM de AS y con 0.1 mM de MeJA ( $p=0.042$ ) (Cuadro 19). El tratamiento con 0.05 mM de MeJA no mostró diferencias significativas en el grupo control respecto del desarrollo del fitopatógeno.

Cuadro 19. Comparación estadística por pares de tratamientos en la reducción de la incidencia de *B. cinerea* en frutos de fresa.

Comparación	Valor p (Ajustado)	Significación ( $\alpha=0.05$ )
4mM AS vs Control	0.042	<b>Significativo</b>
6 mM AS vs Control	0.042	<b>Significativo</b>
0.1 mM MeJA vs Control	0.042	<b>Significativo</b>
0.05 mM MeJA vs Control	1.000	No Significativo

Los resultados anteriores sugieren que las aplicaciones de AS (4 y 6 mM) y 0.1 mM de MeJA fueron adecuadas para inhibir el desarrollo del moho gris en cortos periodos de almacenamiento. Para confirmación de estos datos se muestran imágenes representativas de la incidencia de este hongo en los diferentes tratamiento y días de almacenamiento (Figura 19).

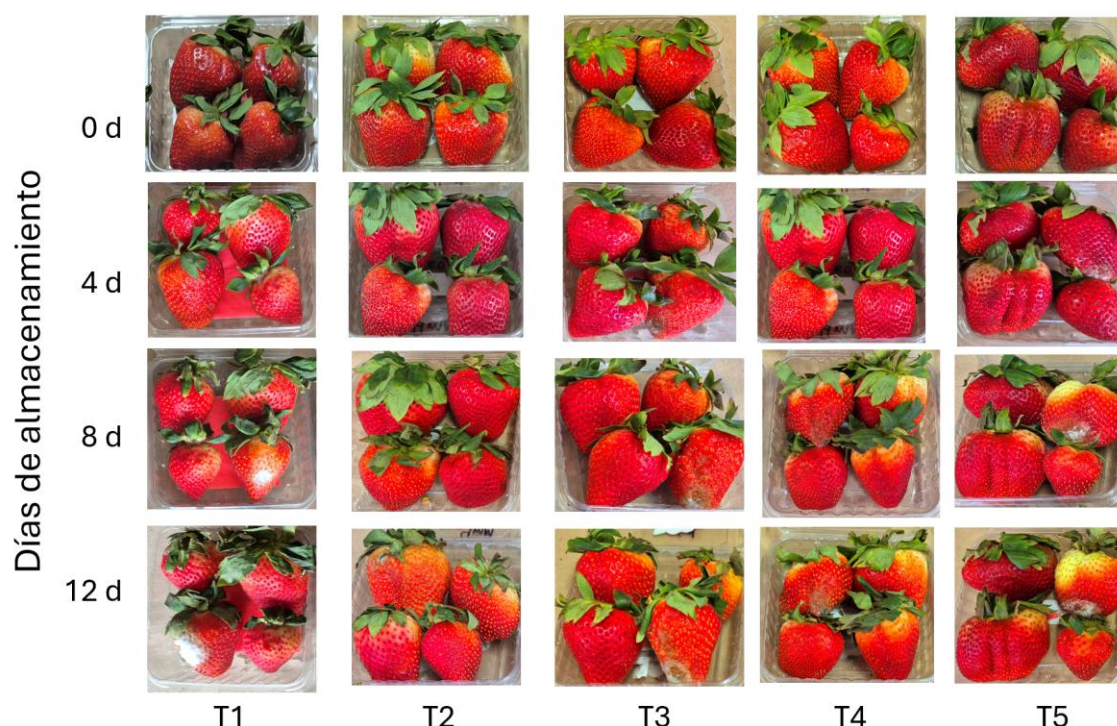


Figura 19. Evolución de incidencia de *B. cinerea* en frutos de fresa cv '3128' tratados en poscosecha con: T1 (control), T2 (AS 4 mM), T3 (AS 3 Mm), T4 (MeJA 0.05 mM) y T5 (MeJA 0.10 mM), al día 0, 4, 8 y 12 de almacenamiento a 1 °C y HR del 90 %.

Estos resultados indican que la aplicación poscosecha de AS o MeJA es un método eficaz que reduce significativamente la pudrición por *B. cinerea* y permiten mantener la vida de anaquel de fresa. Observaciones similares han sido reportadas previamente en diferentes frutos; Yu *et al.* (2009) reportaron que, en tomate, el MeJA aplicado en poscosecha retrasó la presencia de *B. cinerea* los primeros 6 días de almacenamiento. Asimismo, nuestros resultados difieren de lo encontrado por Vaezi *et al.* (2022) quienes reportaron que el MeJA en concentraciones de 0.010 mM redujo significativamente la pudrición por moho gris en fresas cv. 'Sabrosa', con solo una incidencia de 2.66 % a los 12 días de almacenamiento. Nuestros resultados indicaron que solo a concentraciones más altas de MeJA (0.1 mM) tuvieron una influencia en el control del crecimiento de este hongo fitopatógeno y que concentraciones menores (0.05 mM) no tuvieron

efecto en el control del desarrollo de *B. cinerea*. Estos datos parecen señalar respuestas diferenciales entre variedades.

Los datos anteriores inducen a considerar el mecanismo por el cual el MeJA ejerce su acción inhibitoria del fitopatógeno. Las investigaciones al respecto ubican al ácido jasmónico y al MeJA como partes centrales en la señalización y control de una variedad de procesos que incluyen el crecimiento, generación de metabolitos secundarios y respuestas al estrés biótico, (como el ataque de patógenos), y abiótico, como las bajas temperaturas (Li *et al.*, 2022).

#### 6.2.2 Cambios en el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas

El análisis de contenido de fenoles totales, al inicio del almacenamiento mostró diferencias significativas entre los frutos con 6 mM de AS respecto de los frutos con 4 mM AS, frutos control y frutos con MeJA 0.05 Mm (Figura 20A).

Se midió el contenido fenólico y antocianinas como en la etapa anterior. Los datos obtenidos sobre el contenido fenólico y antocianinas en los frutos fueron sometidos a un análisis de comparación general de medias y comparación de medias por día de almacenamiento (Cuadro 20). El análisis general indicó que tanto el factor tratamiento, el factor día de almacenamiento y la interacción tratamiento\*día fueron altamente significativos ( $p < 0.0001$ ). Así mismo, este análisis para los datos de contenido de antocianinas mostró la misma significancia estadística de estos factores.

El análisis de varianza general indicó un contenido significativamente menor de fenoles totales en el grupo control, mientras que todos los frutos tratados con AS o MeJA mostraron contenidos estadísticamente mayores pero similares entre sí. Respecto al contenido de antocianinas el grupo control y el tratado con 0.05 mM de MeJA mostraron los contenidos más bajos, mientras que los grupos tratados con AS (4 y 6 mM) y con 0.1 mM de MeJA mostraron valores significativamente más altos e iguales entre sí (Cuadro 20).

El análisis de varianza en los diferentes días de almacenamiento señaló al control como el grupo de menor contenido de fenoles totales. Mientras que los grupos tratados con AS y MeJA mostraron contenidos significativamente mayores que el grupo control, pero estadísticamente iguales entre sí (Cuadro 20 y Figura 20A). No obstante, se percibió una tendencia a disminuir los contenidos de fenoles en el transcurso del almacenamiento en todos los grupos analizados.

Cuadro 20. Comparación general y por día de almacenamiento de la media del contenido fenólico (columna izquierda) y antocianinas (columna derecha) de frutos control de fresa y tratados con con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM).

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05)		
	Contenido fenólico mg equiv. AG/g	Antocianinas mg/ 100 g muestra fresca	
Control	0.68 <sup>b</sup>	13.2 <sup>b</sup>	
4 mM AS	0.84 <sup>ab</sup>	17.5 <sup>a</sup>	
6 mM AS	0.85 <sup>a</sup>	17.6 <sup>a</sup>	
0.05 mM MeJA	0.83 <sup>ab</sup>	13.9 <sup>bc</sup>	
0.10 mM MeJA	0.82 <sup>a</sup>	15.7 <sup>ab</sup>	
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
	Fenoles; Antocianinas	Fenoles; Antocianinas	Fenoles; Antocianinas
Control	0.8 <sup>b</sup> ; 16.2 <sup>a</sup>	0.6 <sup>b</sup> ; 13.8 <sup>cd</sup>	0.6 <sup>b</sup> ; 9.7 <sup>c</sup>
4 mM AS	1.0 <sup>a</sup> ; 17.4 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup> ; 22.0 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup> ; 13.2 <sup>ab</sup>
6 mM AS	1.1 <sup>a</sup> ; 19.4 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup> ; 17.8 <sup>b</sup>	0.7 <sup>a</sup> ; 15.6 <sup>a</sup>
0.05 mM MeJA	1.1 <sup>a</sup> ; 16.9 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup> ; 12.1 <sup>d</sup>	0.7 <sup>a</sup> ; 12.7 <sup>b</sup>
0.10 mM MeJA	1.0 <sup>a</sup> ; 17.6 <sup>a</sup>	0.7 <sup>a</sup> ; 16.2 <sup>bc</sup>	0.7 <sup>a</sup> ; 13.3 <sup>ab</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

Respecto a los cambios del contenido de antocianinas durante el periodo de almacenamiento a 1 °C; el análisis de varianza indicó que el día 4 todos los grupos tratados y el control tuvieron un contenido estadísticamente similar. Mientras que, en los días 8 y 12, el grupo control y el tratado con 0.05 mM de MeJA mostraron los contenidos más bajos, en tanto que los grupos tratados con AS (4 y 6 mM) y con 0.1mM de MeJA tuvieron contenidos de antocianinas significativamente más altos (Cuadro 20 y Figura 20B). Al igual que los fenoles totales, el contenido de antocianinas disminuyó durante el almacenamiento en todos los grupos. Es posible que este mayor contenido de antocianinas sea un componente de la resistencia al ataque de *B. cinerea*.

Estos resultados parecen explicar que los frutos tratados con AS y MeJA 0.10 mM inducen la biosíntesis de fenoles al inicio de los tratamientos y estos persisten más durante el almacenamiento lo que permite al fruto mayor resistencia al ataque de *B. cinerea* durante el almacenamiento.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por otros autores quienes registraron un incremento de compuestos fenólicos, (hasta 35 %), después de 7 días de almacenamiento de frutos de fresa tratados con MeJA y almacenados hasta 11 días a 4 °C (De la Peña Moreno *et al.*, 2010). En otro estudio, se evaluó el efecto de MeJA (0.01 y 0.1 mM) en frutos de frambuesa 'Autumn Bliss' y 'Jewel', observando que los tratamientos con MeJA incrementaron significativamente el contenido de compuestos fenólicos y antocianinas (Wang & Zheng, 2005).

Wang *et al.* (2007) evaluaron frutos de mora tratados con MeJA a concentraciones de 0.01 y 0.1 mM, observando un mayor contenido de antocianinas totales en los frutos tratados con MeJA a 0.1 mM respecto de los frutos control lo que parece confirmar nuestros resultados.

Las aplicaciones de AS y de 0.1 mM de MeJA, parecen inducir la síntesis de compuestos fenólicos y de antocianinas, los cuales podrían ser parte del

mecanismo de resistencia y explicar la menor incidencia de *B. cinerea* en los frutos de fresa.

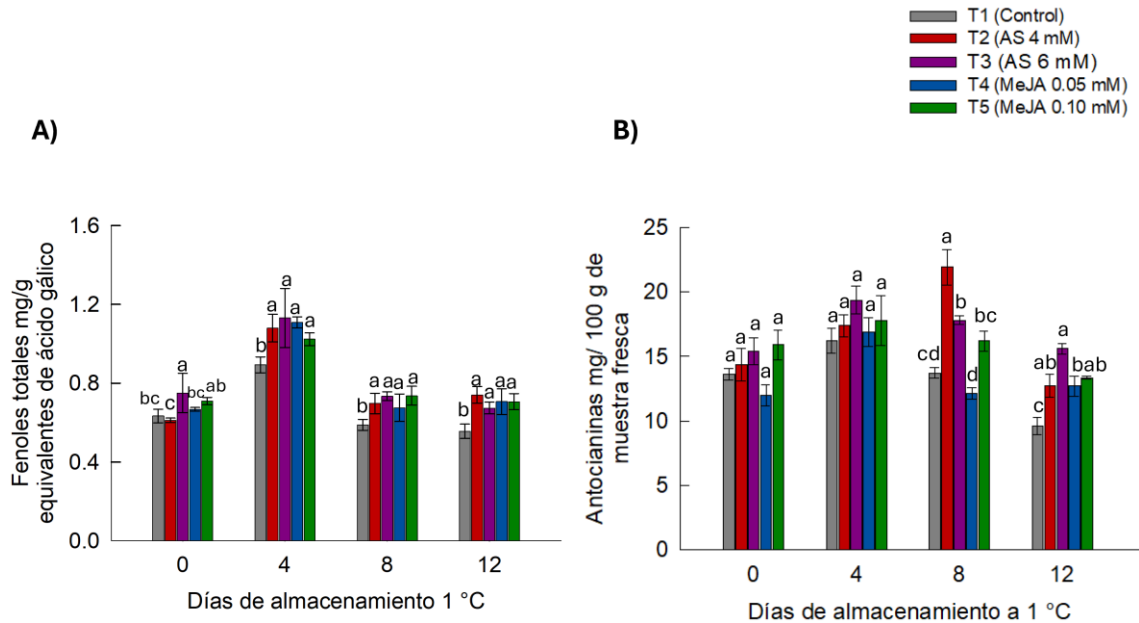


Figura 20. Cambios en el contenido de fenoles totales y antocianinas en frutos de fresa tratados con AS (4 y 6 mM), y MeJA (0.05 y 0.10 mM) y grupo control almacenados durante 12 días a 1 °C. **A)** Fenoles totales y **B)** Antocianinas.

### 6.2.3 Efectos de los tratamientos en la calidad del fruto.

Para comprobar que el tratamiento con AS y MeJA, además de reducir la incidencia de *B. cinerea*, mantiene la calidad en los frutos de fresa, se evaluó, la pérdida de peso, firmeza, sólidos solubles totales, acidez titulable y color.

#### 6.2.3.1 Efecto de los tratamientos sobre la pérdida de peso y firmeza de los frutos.

El análisis general de los efectos de los tratamientos en la pérdida de peso mostró diferencias significativas del factor tratamiento, los días de almacenamiento y la interacción tratamiento\*día de almacenamiento ( $p < 0.0001$ ).

Los frutos control perdieron significativamente más peso (4.6 %) respecto de los frutos tratados con AS y MeJA sin mostrar diferencias estadísticas entre sí (Cuadro 21) con valores de pérdida de peso entre 2.9 y 3.2 %.

Cuadro 21. Comparación general y por día de almacenamiento de la media de la pérdida de peso de frutos control de fresa y con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM).

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05) % pérdida de peso		
Control	4.6 <sup>a</sup>		
4 mM AS	3.2 <sup>b</sup>		
6 mM AS	3.0 <sup>b</sup>		
0.05 mM MeJA	3.3 <sup>b</sup>		
0.10 mM MeJA	2.9 <sup>b</sup>		
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
Control	2.2 <sup>a</sup>	4.4 <sup>a</sup>	7.0 <sup>a</sup>
4 mM AS	1.6 <sup>b</sup>	3.4 <sup>b</sup>	4.6 <sup>b</sup>
6 mM AS	1.8 <sup>ab</sup>	3.0 <sup>b</sup>	3.6 <sup>d</sup>
0.05 mM MeJA	2.1 <sup>ab</sup>	4.0 <sup>ab</sup>	3.7 <sup>cd</sup>
0.10 mM MeJA	2.4 <sup>a</sup>	2.2 <sup>c</sup>	4.1 <sup>bc</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

La comparación de medias de pérdida de peso durante los días de almacenamiento señaló que en el día 4, el tratamiento 4 mM de AS presentó una pérdida de peso significativamente menor (1.6 %) respecto de los demás tratamientos y el control, los cuales mostraron pérdidas de peso estadísticamente iguales. En los días 8 y 12 los frutos control perdieron significativamente más peso respecto de los grupos tratados. En el día 8, los frutos tratados con MeJA a 0.10 mM presentaron la menor pérdida de peso (2.2 %), seguidos por los tratados con 6 y 4 mM de AS. El tratamiento con 0.05 mM

de MeJA perdió peso de manera similar que el grupo control (Cuadro 21 y Figura 21A). En el día 12 de almacenamiento el grupo control había perdido más peso que todos los grupos tratados (7 %), y todos los tratamientos presentaron pérdidas de peso significativamente menores. Los frutos tratados con 6 mM de AS y 0.05 mM de MeJA, presentaron la menor pérdida de peso seguidos por el grupo tratado con 4 mM de AS y después por el grupo de 0.1 mM de MeJA (Cuadro 21 y Figura 21A).

Lo obtenido indica que el AS en la concentración más alta (6 mM) y MeJA en la concentración más baja (0.05 mM) fueron los tratamientos más efectivos para reducir la pérdida de agua en los frutos durante la vida poscosecha de los frutos. También, desde el punto de vista fisiológico, estos tratamientos posiblemente ralentizan el metabolismo del fruto obteniéndose así una menor pérdida de peso.

Lo obtenido indica que el AS en la concentración más alta (6 mM) y MeJA en la concentración más baja (0.05 mM) son tratamientos efectivos para reducir la pérdida de agua en los frutos durante la vida poscosecha de los frutos.

Los efectos de los tratamientos con MeJA, son similares a los reportados por Geransayeh *et al.* (2015) quienes evaluaron aplicaciones de MeJA a 10, 30 y 60 µl/L mediante pulverizaciones en poscosecha de fresas cv. 'Gaviota' almacenadas 12 días a 4 °C observando que los tratamientos con MeJA disminuyeron la pérdida de peso en comparación con el grupo control, y no observaron diferencias significativas entre las diferentes concentraciones de MeJA utilizadas. Bagheri y Esna-Ashari (2021) evaluaron la aplicación poscosecha de MeJA a 8, 16 y 24 µl/L en frutos de persimmon almacenados a 0 – 1 °C, mostrando que los frutos tratados con MeJA perdieron menos peso que el grupo control. Después de 120 días de almacenamiento, los frutos tratados con MeJA a 24 µl/L perdieron menos peso (6.4 %).



Estos datos sugieren la importancia del MeJA dentro de la fisiología de los frutos que debe ser aprovechada para reducir las infecciones por *B. cinerea* y mejorar la calidad de los frutos.

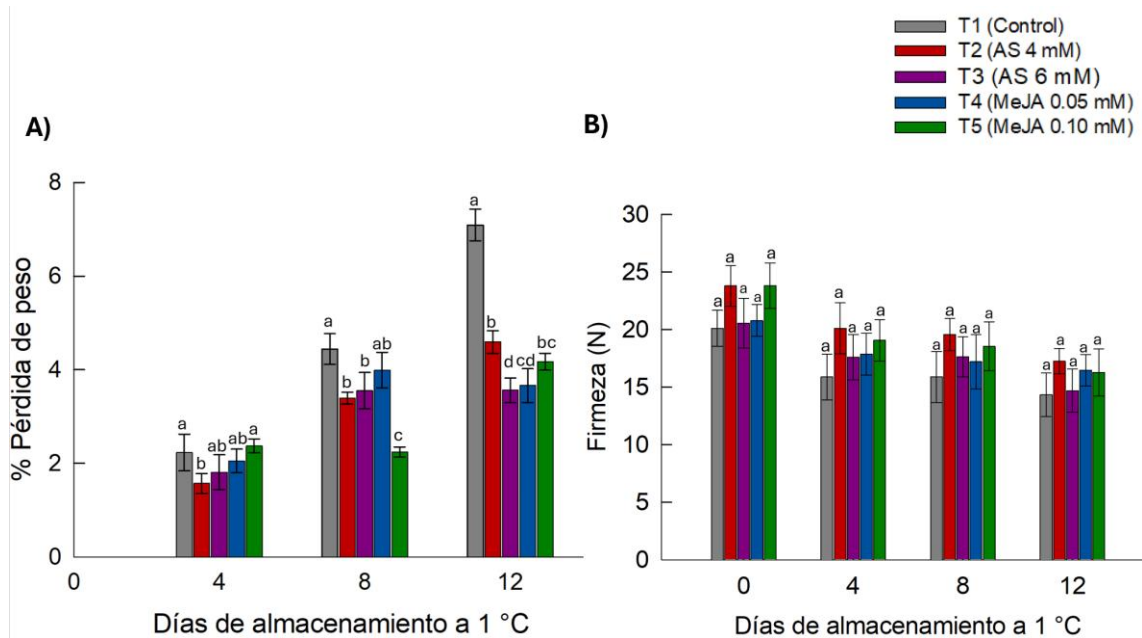


Figura 21. Cambios en la pérdida de peso y firmeza de los frutos de fresa, almacenados durante 12 días a 1 °C, con la aplicación poscosecha de AS (4 y 6 mM) y MeJA (0.05 y 0.10 mM), así como su respectivo control. **A)** % Pérdida de peso y **B)** Firmeza (N).

El análisis de varianza general de los tratamientos aplicados indicó que los efectos del tratamiento, los días de almacenamiento y la interacción tratamiento\*días no fueron significativos en la firmeza (probabilidades de 0.1932, 0.1224 y 0.9998 respectivamente).

No obstante, la no influencia significativa de los tratamientos y el día de almacenamiento, los valores más bajos de firmeza fueron registrados en el grupo control y los más altos se registraron en los frutos tratados con 4 mM de AS y en aquellos frutos tratados con MeJA 0.1 mM (Cuadro 22 y Figura 21B).

Estos resultados indican que la aplicación de 4 mM de AS o la aplicación de 0.05 o 0.1 mM de MeJA permiten mantener mejor firmeza por más de 12 días, lo cual se traduce en un incremento en la vida de anaquel del producto.

Estudios similares, (El-Mogy *et al.* 2019), en frutos de fresa cv. 'Festival' tratados con AS (2 y 4 mmol/L) y MeJA (0.25 y 0.50 mmol/L), almacenados a 4 °C y HR del 90 % por 12 días, indicaron que los tratamientos, MeJA a 0.25 mM y AS a 4 mM mostraron la mayor firmeza de la fruta durante todo el período de almacenamiento.

Cuadro 22. Comparación general y por día de almacenamiento de la firmeza de frutos de fresa sujetos a diferentes tratamientos poscosecha con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM).

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05) Firmeza (N)		
Control	15.4 <sup>a</sup>		
4 mM AS	19.0 <sup>a</sup>		
6 mM AS	16.6 <sup>a</sup>		
0.05 mM MeJA	17.2 <sup>a</sup>		
0.10 mM MeJA	18.0 <sup>a</sup>		
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
Control	15.9 <sup>a</sup>	15.9 <sup>a</sup>	14.3 <sup>a</sup>
4 mM AS	20.1 <sup>a</sup>	19.6 <sup>a</sup>	17.3 <sup>a</sup>
6 mM AS	17.6 <sup>a</sup>	17.6 <sup>a</sup>	14.0 <sup>a</sup>
0.05 mM MeJA	17.9 <sup>a</sup>	17.2 <sup>a</sup>	16.5 <sup>a</sup>
0.10 mM MeJA	19.0 <sup>a</sup>	18.5 <sup>a</sup>	16.3 <sup>a</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

#### 6.2.3.2 Efectos de los tratamientos en la acidez titulable y contenido de sólidos solubles o ° Brix.

De igual manera que en la etapa precosecha, fue necesario evaluar si las aplicaciones de AS y MeJA influyen en el sabor de los frutos en poscosecha, mediante el registro de los valores de acidez y SST.

El análisis de varianza general de los valores de acidez señaló que los factores tratamiento, días de almacenamiento y la interacción tratamiento\*día fueron altamente significativos ( $p < 0.0001$ ). En cuanto al contenido de sólidos solubles totales, este análisis también indicó un efecto altamente significativo del tratamiento y de los días de almacenamiento ( $p < 0.0001$ ) pero no fue significativa la interacción tratamiento\*días ( $p = 0.1045$ ) (Cuadro 23). Los valores más altos de acidez y sólidos solubles totales los registró el grupo control (1.0 y 12.9 respectivamente) mientras que los valores más bajos de acidez los registraron el grupo tratado con 4 mM de AS (0.69 %) y para los sólidos solubles no se encontraron diferencias significativas variando los valores entre 9.3 y 10.

El análisis general de varianza por día de almacenamiento indicó que la acidez y los sólidos solubles totales fueron mayores en el grupo control y durante los tres días de almacenamiento; mientras que los grupos tratados con AS o con MeJA mostraron valores más bajos, pero estadísticamente similares entre sí (Cuadro 23 y Figura 22). En todos los tratamientos se observa una tendencia a reducir los valores de acidez y contenido de sólidos solubles totales, tanto en los controles como en los frutos tratados (Figuras 22). Aunque estos parámetros variaron durante el almacenamiento, permiten anotar que el valor de ellos indica que los frutos cumplieron con el estándar de calidad para los frutos de fresa un rango de acidez dentro del establecido para cumplir el factor de calidad máximo (0.80 % máximo) indicado por Mitcham, (2023).

Asimismo, se observó que desde el día 0 y hasta el día 12 de almacenamiento el contenido de SST en los frutos tratados con AS y MeJA en poscosecha se mantuvo en un intervalo de 7.5 – 11.4 % y de 8.3 – 11.4 %, respectivamente, lo

cual indica que, aunque el contenido sea menor que en los controles, los frutos se encuentran por encima del contenido mínimo de calidad (7 %), lo que sugiere que conservan un sabor óptimo para su consumo. Al día 12 de almacenamiento, se observó que los frutos tratados con AS presentaron una diferencia de 1.53 veces menor respecto al contenido de azúcares (° Brix) que los frutos control (Cuadro 23). En la Figura 22B se muestra la tendencia a la disminución de este parámetro a medida que transcurrió el almacenamiento del contenido de SST en los frutos.

Cuadro 23. Comparación general y por día de almacenamiento de la media de la acidez titulable (columna izquierda) y SST (columna derecha) de frutos control y tratados con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM).

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05)		
	% AT		% SST
Control	1.0 <sup>a</sup>		12.1 <sup>a</sup>
4 mM AS	0.69 <sup>c</sup>		9.5 <sup>b</sup>
6 mM AS	0.79 <sup>bc</sup>		9.3 <sup>b</sup>
0.05 MeJA	0.71 <sup>bc</sup>		10.0 <sup>b</sup>
0.10 MeJA	0.77 <sup>b</sup>		9.5 <sup>b</sup>
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
	% AT; SST	% AT; SST	% AT; SST
Control	0.96 <sup>a</sup> ; 12.8 <sup>a</sup>	1.0 <sup>a</sup> ; 12.0 <sup>a</sup>	1.02 <sup>a</sup> ; 11.4 <sup>a</sup>
4 mM AS	0.77 <sup>c</sup> ; 11.4 <sup>a</sup>	0.74 <sup>b</sup> ; 9.1 <sup>b</sup>	0.57 <sup>c</sup> ; 7.5 <sup>c</sup>
6 mM AS	0.86 <sup>b</sup> ; 10.8 <sup>a</sup>	0.75 <sup>b</sup> ; 10.0 <sup>b</sup>	0.68 <sup>b</sup> ; 7.6 <sup>c</sup>
0.05 MeJA	0.78 <sup>c</sup> ; 11.4 <sup>a</sup>	0.68 <sup>b</sup> ; 9.4 <sup>b</sup>	0.68 <sup>b</sup> ; 9.1 <sup>b</sup>
0.10 MeJA	0.88 <sup>ab</sup> ; 11.4 <sup>a</sup>	0.80 <sup>b</sup> ; 8.7 <sup>b</sup>	0.64 <sup>bc</sup> ; 8.3 <sup>bc</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

Estos resultados son similares a los reportados por Haider *et al.* (2020) en donde presentaron que la mandarina 'Kinnow' tratada en poscosecha con AS a 2, 4, 6, 8 y 12 mM, mostró mayor contenido de SST en la fruta control en comparación con la fruta tratada con AS a diferentes concentraciones.

Estos resultados indican que los frutos tratados con AS y MeJA mantienen un equilibrio entre la acidez y SST, por lo que la aceptación por parte del consumidor no debería afectarse.

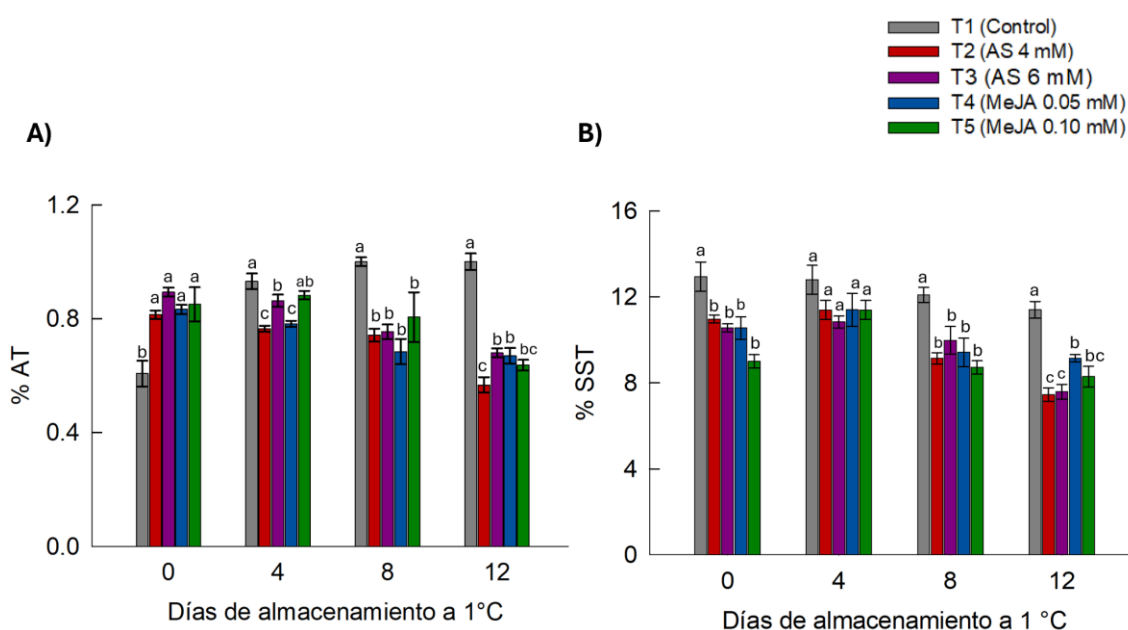


Figura 22. Cambios en los contenidos de acidez titulable y de sólidos solubles totales de frutos de fresa, tratados en poscosecha con AS (4 y 6 mM) y MeJA (0.05 y 0.10 mM), así como su respectivo control. **A)** Cambios en la acidez titulable (AT) y **B)** Cambios de los sólidos solubles totales durante el almacenamiento.

#### 6.2.3.3 Cambios en el color de los frutos

Se midió la apariencia visual de los frutos como en las aplicaciones precosecha, realizando mediciones de color y calculando los valores del ángulo de matiz ( $h^*$ ), cromaticidad ( $C^*$ ) y el valor de  $a^*$ .

Los análisis de varianza generales del efecto de los factores tratamiento, días de almacenamiento y la interacción tratamiento\*día de almacenamiento en el valor de  $h^*$  como en el valor de  $C^*$  mostraron efectos altamente significativos de los tres factores, ( $p < 0.0001$ ). Los frutos control y tratados con 4 mM de AS y 0.1 mM de MeJA mostraron valores significativamente más altos, ( $32.5^\circ$  a  $32.7^\circ$ ), y los grupos tratados con 6 mM de AS y 0.05 mM de MeJA, los valores más bajos ( $31.1^\circ$  y  $30.7^\circ$ ). Respecto de la cromaticidad, el grupo control mostró el valor más alto (38.8) y el tratado con 0.05 mM de MeJA el valor más bajo (35.9) (Cuadro 24).

Cuadro 24. Comparación general y por día de almacenamiento de la media del valor de h\* (columna izquierda) y C\* (columna derecha) de frutos de fresa tratados con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM).

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05)		
	Hue	*C	
Control	32.7 <sup>a</sup>	38.8 <sup>a</sup>	
4 mM AS	32.7 <sup>a</sup>	37.9 <sup>b</sup>	
6 mM AS	31.1 <sup>b</sup>	37.5 <sup>bc</sup>	
0.05 MeJA	30.7 <sup>b</sup>	35.9 <sup>d</sup>	
0.10 MeJA	32.5 <sup>a</sup>	37.1 <sup>c</sup>	
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4 Hue; C*	Día 8 Hue; C*	Día 12 Hue; C*
Control	34.9 <sup>a</sup> ; 37.5 <sup>a</sup>	28.9 <sup>d</sup> ; 40.7 <sup>ab</sup>	34.3 <sup>ab</sup> ; 38.0 <sup>a</sup>
4 mM AS	30.6 <sup>b</sup> ; 33.9 <sup>b</sup>	34.3 <sup>a</sup> ; 41.2 <sup>a</sup>	33.1 <sup>c</sup> ; 38.5 <sup>a</sup>
6 mM AS	30.9 <sup>b</sup> ; 37.3 <sup>a</sup>	28.8 <sup>d</sup> ; 40.7 <sup>ab</sup>	33.6 <sup>bc</sup> ; 34.6 <sup>c</sup>
0.05 MeJA	28.8 <sup>c</sup> ; 32.4 <sup>c</sup>	30.3 <sup>c</sup> ; 39.1 <sup>c</sup>	33.0 <sup>c</sup> ; 36.0 <sup>b</sup>
0.10 MeJA	30.6 <sup>b</sup> ; 32.6 <sup>c</sup>	31.7 <sup>b</sup> ; 40.2 <sup>b</sup>	35.0 <sup>a</sup> ; 38.6 <sup>a</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

Respecto del valor de C\*, de forma general, los frutos mostraron un comportamiento similar en el transcurso del almacenamiento; sin embargo, al inicio del almacenamiento (día 0), hubo diferencias significativas en los frutos control y frutos con AS 6 mM respecto a los frutos con MeJA y la dosis más baja de AS (Figura 23B).

El análisis de comparación de medias durante el almacenamiento no indicó una tendencia clara del efecto de los tratamientos sobre los valores de ángulo de matiz y cromaticidad, aunque se midieron diferencias significativas de diferentes

tratamientos en los diferentes días; estas no mostraron un patrón de cambio claro adjudicable a los tratamientos.

Es de llamar la atención que los cambios de color en estos tratamientos poscosecha, no siguieron un comportamiento como el encontrado en los tratamientos precosecha. Es posible, que esto se deba a la variabilidad de coloración que tuvieron los frutos al momento de la cosecha y antes de la aplicación poscosecha de los tratamientos. También es posible que la fisiología de las plantas tratadas modificara el metabolismo de los compuestos de color; lo cual no se tuvo en las aplicaciones poscosecha.

Al comparar los valores de hue y cromaticidad entre los frutos con tratamiento poscosecha con los frutos tratados en precosecha (Figura 23 y Figura 18), se observaron valores menores de hue y cromaticidad en los frutos con aplicaciones poscosecha respecto de los frutos tratados en precosecha. Esto parece sustentar que el metabolismo de la planta puede ejercer un efecto adicional a los tratamientos para mejorar el color.



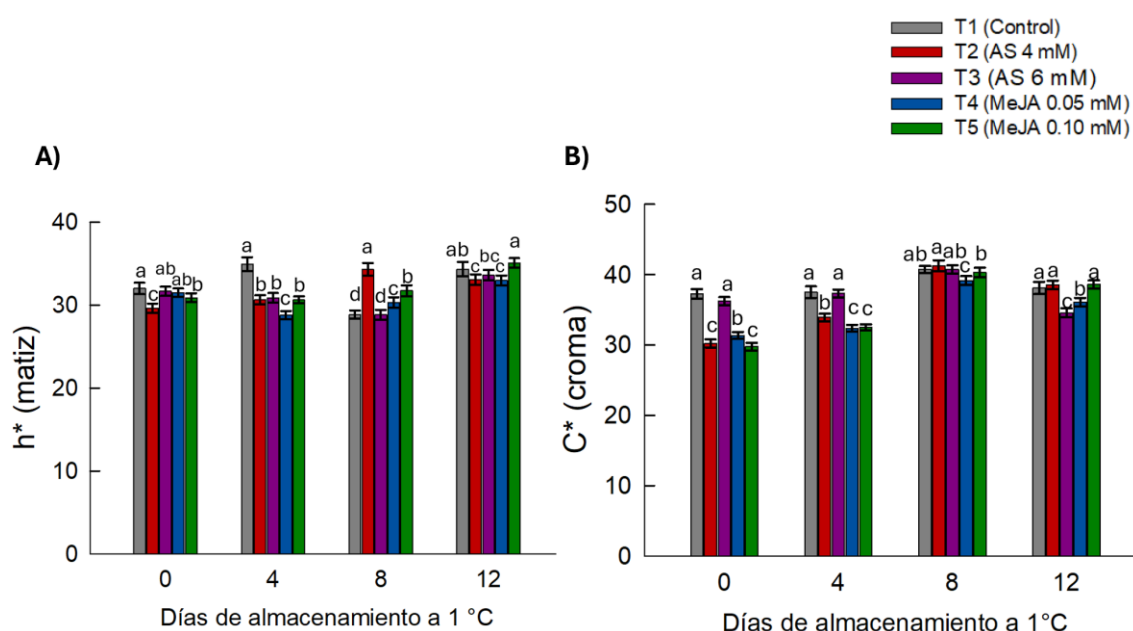


Figura 23. Cambios en el color (cromaticidad y ángulo de matiz) de los frutos de fresa, almacenados durante 12 días a 1 °C, después de la aplicación poscosecha de AS (4 y 6 mM) y MeJA (0.05 y 0.10 mM), así como su respectivo control. **A) h\*** y **B) C\***.

#### 6.2.3.3.1 Cambios en el valor de color a\*

El análisis de varianza general aplicado a los datos del valor a\* en frutos de fresa sometida a los diferentes tratamientos, permitió señalar que el factor tratamiento y el factor días de almacenamiento fueron altamente significativos ( $p < 0.0001$ ), mientras que la interacción tratamiento\*día de almacenamiento no fue significativa ( $p = 0.1772$ ). Los frutos tratados con 0.1 mM de MeJA mostraron los valores más bajos (menor desarrollo del color rojo) y el grupo tratado con 6 mM de AS mostro los valores más altos (mayor desarrollo de color rojo). Los demás tratamientos mostraron valores de a\* intermedios y estadísticamente iguales (32.3 – 33.1). Respecto de los días de almacenamiento, el día 4, los frutos mostraron un valor de color a\* más alto que disminuyó a medida que avanzó el almacenamiento (Cuadro 25).

Cuadro 25. Comparación general y por día de almacenamiento de la media del valor de color  $a^*$  en frutos de fresa cv '3178' tratados con ácido salicílico (4 y 6 mM) y metil jasmonato (0.05 y 0.10 mM) en poscosecha.

Tratamiento	Comparación general de medias (Tukey 0.05) $a^*$		
Control	32.5 <sup>ab</sup>		
4 mM AS	33.1 <sup>ab</sup>		
6 mM AS	33.9 <sup>a</sup>		
0.05 mM MeJA	32.3 <sup>ab</sup>		
0.10 mM MeJA	31.4 <sup>b</sup>		
	Comparación medias por día (Tukey 0.05)		
Tratamiento	Día 4	Día 8	Día 12
Control	35.4 <sup>ab</sup>	30.5 <sup>a</sup>	31.3 <sup>a</sup>
4 mM AS	36.0 <sup>a</sup>	31.5 <sup>a</sup>	31.8 <sup>a</sup>
6 mM AS	36.4 <sup>ab</sup>	32.7 <sup>a</sup>	33.7 <sup>a</sup>
0.05 mM MeJA	34.4 <sup>a</sup>	30.9 <sup>a</sup>	31.6 <sup>a</sup>
0.10 mM MeJA	31.4 <sup>b</sup>	30.6 <sup>a</sup>	32.4 <sup>a</sup>

Letras diferentes dentro de la misma columna, indican diferencias significativas (Tukey <0.05).

El análisis de varianza por día de almacenamiento no permitió observar diferencias significativas en los días 4 y 12. En el día 4, los grupos con mayor valor de  $a^*$  fueron el grupo de 4 mM de AS y el de menor valor de  $a^*$  fue el grupo tratado con 0.1 mM de MeJA. Entre estos dos grupos, se ubicaron los demás tratamientos sin mostrar diferencias significativas entre ellos (Cuadro 25).

## 7. Conclusiones

Los resultados del presente trabajo permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

La aplicación de ácido salicílico 4 mM en precosecha durante la floración de la fresa, mostró un control de *Botrytis cinerea* similar al mostrado por el fungicida comercial Fontelis®, durante 12 días de almacenamiento a 1 °C, por lo tanto, este tratamiento puede ser utilizado como una alternativa viable y sustentable para el control del fitopatógeno.

Los resultados de las aplicaciones poscosecha, señalaron que la aplicación de AS (4 o 6 mM) o MeJA (0.1 mM), constituyen procedimientos eficaces que reducen significativamente la pudrición por *B. cinerea* y permiten mantener la vida de anaquel de fresa.

La aplicación del ácido salicílico o de MeJA, tanto en precosecha como en poscosecha, indujeron la biosíntesis de compuestos fenólicos y antocianinas como una respuesta, de la planta, en contra del desarrollo de *Botrytis cinerea*, lo cual los señala como parte del sistema de defensa al estrés patológico.

No obstante, se debe desarrollar un procedimiento de aplicación para no alterar el proceso de cosecha y manejo poscosecha de los frutos de fresa. Una posible vía es la aplicación de los compuestos en forma volátil.

Las aplicaciones de ácido salicílico en precosecha indujeron un mejor desarrollo de color rojo de los frutos en comparación con el grupo control. No obstante, las aplicaciones poscosecha de este compuesto o de MeJA, no tuvieron un efecto significativo en el desarrollo del color.

Las aplicaciones de ácido salicílico en precosecha o poscosecha (4 y 6 mM) así como de MeJA, (0.10 mM) no afectaron la calidad general de los frutos (peso,

firmeza, AT, SST, color, tamaño, forma). No representando un problema para el proceso de comercialización.

## 8. Referencias

- Agrios, G. N. (2005). Plant Pathology. 5th Edition. Academic Press. INC San Diego CA. USA pp 922.  
<https://books.google.com.ec/books?id=CnzbgZgby60C&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- Álvarez-Medina, Adán, Silva-Rojas, Hilda V., Leyva-Mir, Santos G., Marbán-Mendoza, Nahum, & Rebollar-Alviter, Ángel. (2017). Resistencia de *Botrytis cinerea* de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) a fungicidas en Michoacan México. *Agrociencia*, 51(7), 783-798. Recuperado en 11 de junio de 2025, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1405-31952017000700783&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1405-31952017000700783&lng=es&tlng=es).
- AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, VA.
- Asghari, M., & Aghdam, M. S. (2010). Impact of salicylic acid on post-harvest physiology of horticultural crops. *Trends In Food Science And Technology*, 21(10), 502-509. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2010.07.009>
- Babalar, M., Asghari, M., Talaei, A., & Khosroshahi, A. (2007). Effect of pre- and postharvest salicylic acid treatment on ethylene production, fungal decay and overall quality of Selva strawberry fruit. *Food Chemistry*, 105(2), 449-453. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.03.021>
- Bagheri, M., & Esna-Ashari, M. (2021). Effects of postharvest methyl jasmonate treatment on persimmon quality during cold storage. *Scientia Horticulturae*, 294, 110756. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110756>
- Bastida Cañada, O. A. (2024). Etapas fenológicas del cultivo de la fresa. Blog Agricultura. Recuperado 2 de mayo de 2024, de <https://blogagricultura.com/etapas-fenologicas-fresa/>

- Bi, K., Liang, Y., Mengiste, T., & Sharon, A. (2023). Killing softly: a roadmap of *Botrytis cinerea* pathogenicity. *Trends In Plant Science*, 28(2), 211-222. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2022.08.024>
- Bolda, M., Dara, S. K., Fallon, J., Sánchez, M., & Peterson, K. (2015). Manual de Producción de Fresa para los Agricultores de la Costa Central (J. De Soto & M. Paredes, Trads.; 2.a ed.). <https://drive.google.com/file/d/1oz0LZeRFPxktXOSoOIDNaVuHFBPdeQIZ/view>
- Bulger, M. A., Ellis, M. A., & Madden, L. V. (1987). Influence of Temperature and Wetness Duration on Infection of Strawberry Flowers by *Botrytis cinerea* and Disease Incidence of Fruit Originating from Infected Flowers. *Phytopathology*, 77(8), 1225. <https://doi.org/10.1094/phyto-77-1225>
- Cultifort. (2023). Recomendaciones para el cultivo de fresa. Página de internet: Cultifort. <https://www.cultifort.com/recomendaciones-cultivo-fresa-potenciador-color/> . Consulta 29 de abril 2024
- Da Silva Ripardo-Filho, H., Ruíz, V. C., Suárez, I., Moraga, J., Aleu, J., & Collado, I. G. (2023). From Genes to Molecules, Secondary Metabolism in *Botrytis cinerea*: New Insights into Anamorphic and Teleomorphic Stages. *Plants*, 12(3), 553. <https://doi.org/10.3390/plants12030553>
- Darwish, O. S., Ali, M. R., Khojah, E., Samra, B. N., Ramadan, K. M. A., & El-Mogy, M. M. (2021). Pre-Harvest Application of Salicylic Acid, Abscissic Acid, and Methyl Jasmonate Conserve Bioactive Compounds of Strawberry Fruits during Refrigerated Storage. *Horticulturae*, 7(12), 568. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120568>
- De la Peña Moreno, F., Monagas, M., Blanch, G. P., Bartolomé, B., & Del Castillo, M. L. R. (2010). Enhancement of anthocyanins and selected aroma compounds in strawberry fruits through methyl jasmonate vapor

treatment. *European Food Research And Technology*, 230(6), 989-999.  
<https://doi.org/10.1007/s00217-010-1243-5>

Dieryckx, C., Gaudin, V., Dupuy, J., Bonneau, M., Girard, V., & Job, D. (2015). Beyond plant defense: insights on the potential of salicylic and methylsalicylic acid to contain growth of the phytopathogen *Botrytis cinerea*. *Frontiers In Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00859>

Ding, L., Yue-Tao, L., Wu, Y., Li, T., Geng, R., Cao, J., Zhang, W., & Tan, X. (2022). Plant Disease Resistance-Related Signaling Pathways: Recent Progress and Future Prospects. *International Journal Of Molecular Sciences*, 23(24), 16200. <https://doi.org/10.3390/ijms232416200>

El-Mogy, M. M., Ali, M. R., Darwish, O. S., & Rogers, H. J. (2019). Impact of salicylic acid, abscisic acid, and methyl jasmonate on postharvest quality and bioactive compounds of cultivated strawberry fruit. *Journal Of Berry Research*, 9(2), 333-348. <https://doi.org/10.3233/jbr-180349>

Emam, S., & Abdelghany, R. (2023). Effect of Pre-Harvest Application of Salicylic Acid on Strawberry Growth and Resistance Against Gray Mold Disease. *International Journal Of Sustainable Development And Science*, 6(1), 37-56. <https://doi.org/10.21608/ijrsrd.2023.281179>

Estrategia Aduanera., (2021). Anónimo. México se convierte en el mayor exportador de fresas en el mundo. *Revista digital del 12 de mayo*. <https://www.estrategiaaduanera.mx/mexico-se-convierte-en-el-mayor-exportador-de-fresas-en-el-mundo/> . Consulta 30 de mayo 2025.

Fagard, M., Launay, A., Clément, G., Courtial, J., Dellagi, A., Farjad, M., Krapp, A., Soulié, M., & Masclaux-Daubresse, C. (2014). Nitrogen metabolism meets phytopathology. *Journal Of Experimental Botany*, 65(19), 5643-5656. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru323>

FAOSTAT. (2023). Página de internet:  
<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize> Consulta 23 de  
abril de 2024.

Feng J., M. Zhang, K. N. Yang and C. X. Zheng. (2020). Salicylic acid-prime defence response in octoploid strawberry 'Benihoppe' leaves induces resistance against *Podosphaera aphanis* through enhanced accumulation of proanthocyanidins and upregulation of pathogenesis-related genes. BMC Plant. Biol. 20(1). 149. doi: 10.1186/s12870-020-02353-z

Gačnik, S., Veberič, R., Hudina, M., Koron, D., & Mikulič-Petkovšek, M. (2021). Salicylate Treatment Affects Fruit Quality and Also Alters the Composition of Metabolites in Strawberries. Horticulturae, 7(10), 400. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7100400>

Garrido, C., Carbú, M., Fernández-Acero, F.J., González-Rodríguez, V.E., & Cantoral, J.M. (2011). New Insights in the Study of Strawberry Fungal Pathogens. Genes, Genomes and Genomic. 1:24-39. Global Science Books

Garzón, G. A. (2008). Las antocianinas como colorantes naturales y compuestos bioactivos: revisión. Acta Biológica Colombiana, 13(3), 27-36. <http://scielo.org.co/pdf/abc/v13n3/v13n3a2.pdf>

Geransayeh, M., Sepahvand, S., Abdossi, V., & Zarrinnia, V. (2015). Efecto del tratamiento con jasmonato de metilo sobre la podredumbre, la vida postcosecha y la calidad del fruto de Fresa (*Fragaria ananassa* L. cv. Gaviota). Int. J. Curr. Ciencias, 15, 123-131.

Ghaouth, A. E. (1992). Antifungal Activity of Chitosan on Two Postharvest Pathogens of Strawberry Fruits. Phytopathology, 82(4), 398. <https://doi.org/10.1094/phyto-82-398>



- Giusti, M. M., & Wrolstad, R. E. (2001). Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. *Current protocols in food analytical chemistry*. 00: F1.2.1-F1.2.13. <https://doi.org/10.1002/0471142913.faf0102s00>
- Grellet-Bournonville C.F., M. G. Martínez-Zamora, A. P. Castagnaro and J. C. Diaz-Ricci. (2012). Temporal accumulation of salicylic acid activates the defense response against *Colletotrichum* in strawberry. *Plant Physiology and Biochemistry*. 54. 10-16. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.01.019>
- Gupta, R., Pizarro, L., Leibman-Markus, M., Marash, I., & Bar, M. (2020). Cytokinin response induces immunity and fungal pathogen resistance, and modulates trafficking of the PRR LeEIX2 in tomato. *Molecular Plant Pathology*, 21(10), 1287-1306. <https://doi.org/10.1111/mpp.12978>
- Gupta, R., Anand, G., Pizarro, L., Laor, D., Kovetz, N., Sela, N., Yehuda, T., Gazit, E., & Bar, M. (2021). Cytokinin Inhibits Fungal Development and Virulence by Targeting the Cytoskeleton and Cellular Trafficking. *MBio*, 12(5). <https://doi.org/10.1128/mbio.03068-20>
- Hahn, M. (2014). The rising threat of fungicide resistance in plant pathogenic fungi: Botrytis as a case study. *Journal Of Chemical Biology*, 7(4), 133-141. <https://doi.org/10.1007/s12154-014-0113-1>
- Haider, S., Ahmad, S., Khan, A. S., Anjum, M. A., Nasir, M. A., & Naz, S. (2020). Effects of salicylic acid on postharvest fruit quality of “Kinnow” mandarin under cold storage. *Scientia Horticulturae*, 259, 108843. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108843>
- Hernández-Muñoz, P., Almenar, E., Del Valle, V., Vélez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria×ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2), 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020>

- Hurrell, J. A., Bazzano, D. H., & Delucchi, G. (Eds.). (2006). Biota rioplatense XI. Dicotiledóneas herbáceas: nativas y exóticas (Vol. 1). Ed LOLA. 288 p. Buenos Aires Arg. Consulta junio 15 2025, <file:///C:/Users/merca/Downloads/Biota11Dico1.pdf>
- Javier, Z. C. P., & Vicente, S. E. (2024). Efectos del ácido salicílico en tratamientos pre-cosecha en la calidad del fruto del Finger Lime y su conservación durante el almacenamiento en frío. <https://hdl.handle.net/11000/32665>
- Jeyasri, R., Muthuramalingam, P., Karthick, K., Shin, H., Choi, S. H., & Ramesh, M. (2023). Methyl jasmonate and salicylic acid as powerful elicitors for enhancing the production of secondary metabolites in medicinal plants: an updated review. *Plant Cell, Tissue And Organ Culture*, 153(3), 447-458. <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02485-8>
- Juárez, J. A., & Alvarado, C. Ó. (2016). Paquete tecnológico para la producción de fresa. Fundación Produce Sinaloa. Retrieved from Agroproyectos: <https://drive.google.com/file/d/0B37hUU0ZxXAbLXhveXFpSXFamDA/view?resourcekey=0-PLg8vuLR7hslnUTvJKRaBw> Consulta marzo 2025
- Katel, S., Mandal, H. R., Kattel, S., Yadav, S. P. S., & Sharma, B. (2022). Impacts of plant growth regulators in strawberry plant: A review. *Heliyon*, 8(12), e11959. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e11959>
- Kumar, D. (2014). Salicylic acid signaling in disease resistance. *Plant Science*, 228, 127-134. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.04.014>
- Li C., Xu M, Cai X-, Han Z., Si J. and Chen D. (2022). Jasmonate Signaling Pathway Modulates Plant Defense, Growth, and Their Trade-Offs. *Int. J. Mol. Sci.* 2022, 23, 3945. <https://doi.org/10.3390/ijms23073945>
- López-Vázquez E., M.A. Herrera-Oropeza, M.A. Lagunes-Arellano, S.A. Luna-Galaviz, G. Mozqueda-Lazcares, & J.A. Dorantes Sánchez. (2017).

Planeación Agrícola Nacional. Fresa Mexicana. Pg 1-20. Pagina de internet. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/257075/Potencial-Fresa.pdf. Consulta junio 15. 2025

Maas, J. (1998). Compendium of Strawberry Diseases, Second Edition. Online APS Publications. <https://doi.org/10.1094/9780890546178>

McGuire, R. G. (1992). Reporting of objective color measurements. HortScience, 27(12), 1254-1255.

Mitcham, E. J. (2023). Recommendations for Maintaining Postharvest Quality. UCDAVIS Department of Plant Sciences. <https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets/strawberry> (consultado el 18 de febrero de 2024)

Mohamed, R. A., Abdelbaset, A. K., & Abd-Elkader, D. Y. (2018). Salicylic acid effects on growth, yield, and fruit quality of strawberry cultivars. Journal of Medicinally Active Plants, 6(1-4).

Mouden, S., Bac-Molenaar, J. A., Kappers, I. F., Beerling, E., & Leiss, K. A. (2021). Elicitor Application in Strawberry Results in Long-Term Increase of Plant Resilience Without Yield Loss. Frontiers In Plant Science, 12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.695908>

Munćan, J., Anantawittayanon, S., Furuta, T., Kaneko, T., & Tsenkova, R. (2022). Aquaphotomics monitoring of strawberry fruit during cold storage – A comparison of two cooling systems. Frontiers In Nutrition, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1058173>

Muthamilarasan, M. (2013). Plant innate immunity: An updated insight into defense mechanism. Journal Of Biosciences, 38(2), 433-449. <https://doi.org/10.1007/s12038-013-9302-2>

- Navarro, A., & Pizarro Yáñez, R. (2024, 25 marzo). Avances en el control de *Neopestalotiopsis rosae* en fresas. Redagícola. Recuperado 18 de junio de 2025, de <https://redagricola.com/avances-en-el-control-de-neopestalotiopsis-rosae-en-fresas/>
- Newerli-Guz, J., Śmiechowska, M., Drzewiecka, A., & Tylingo, R. (2023). Bioactive Ingredients with Health-Promoting Properties of Strawberry Fruit (*Fragaria x ananassa* Duchesne). *Molecules* (Basel, Switzerland), 28(6), 2711. <https://doi.org/10.3390/molecules28062711>
- Patzke H. & A. Schieber. (2018). Growth-inhibitory activity of phenolic compounds applied in an emulsifiable concentrate - ferulic acid as a natural pesticide against *Botrytis cinerea*. *Food Research International*. 113. 18-23.
- Petrasch, S., Knapp, S. J., Van Kan, J., & Blanco-Ulate, B. (2019). Grey mould of strawberry, a devastating disease caused by the ubiquitous necrotrophic fungal pathogen *Botrytis cinerea*. *Molecular Plant Pathology*, 20(6), 877-892. <https://doi.org/10.1111/mpp.12794>
- Promyou, S., Raruang, Y., & Chen, Z. (2023). Melatonin Treatment of Strawberry Fruit during Storage Extends Its Post-Harvest Quality and Reduces Infection Caused by *Botrytis cinerea*. *Foods*, 12(7), 1445. <https://doi.org/10.3390/foods12071445>
- Riccio, B. V. F., Spósito, L., Carvalho, G. C., Ferrari, P. C., & Chorilli, M. (2020). Resveratrol isoforms and conjugates: A review from biosynthesis in plants to elimination from the human body. *Archiv Der Pharmazie*, 353(12). <https://doi.org/10.1002/ardp.202000146>
- Roca-Couso, R., Flores-Félix, J. D., & Rivas, R. (2021). Mechanisms of Action of Microbial Biocontrol Agents against *Botrytis cinerea*. *Journal Of Fungi*, 7(12), 1045. <https://doi.org/10.3390/jof7121045>

- Saavedra, G. M., Sanfuentes, E., Figueroa, P., & Figueroa, C. R. (2017). Independent Preharvest Applications of Methyl Jasmonate and Chitosan Elicit Differential Upregulation of Defense-Related Genes with Reduced Incidence of Gray Mold Decay during Postharvest Storage of *Fragaria chiloensis* Fruit. *International Journal Of Molecular Sciences*, 18(7), 1420. <https://doi.org/10.3390/ijms18071420>
- Shao, W., Zhao, Y., & Ma, Z. (2020). Advances in Understanding Fungicide Resistance in *Botrytis cinerea* in China. *Phytopathology*, 111(3), 455-463. <https://doi.org/10.1094/phyto-07-20-0313-ia>
- SIAP, (2023). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. (2023). Página de internet: [https://nube.agricultura.gob.mx/cierre\\_agricola/](https://nube.agricultura.gob.mx/cierre_agricola/) Consultado 24 de abril de 2024.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal Of Enology And Viticulture*, 16(3), 144-158. <https://doi.org/10.5344/ajev.1965.16.3.144>
- USDA U.S Department Of Agriculture. (2019, 4 enero). FoodData Central. Fresas Crudas. Página de internet: <https://fdc.nal.usda.gov/fdc-app.html#/food-details/167762/nutrients>. Consulta 2 de mayo 2024
- USDA U.S Department of Agriculture. (2014). Natural Resources Conservation Service. Plants Database. Página de internet: <https://plants.usda.gov/plant-profile/FRAGA> Consulta 2 de mayo 2025
- Vaezi S., M. Asghary, SA. Farokhzad, M. S. Aghdam and M. Mahna. (2022). Exogenous methyl jasmonate enhances phytochemicals and delays senescence in harvested strawberries by modulating GABA shunt pathway. *Food Chemistry* 293 (1). 133418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133418>

- Wang, S. Y., & Zheng, W. (2005). Preharvest application of methyl jasmonate increases fruit quality and antioxidant capacity in raspberries. *International Journal Of Food Science & Technology*, 40(2), 187-195. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.00930.x>
- Wang, S., Bowman, L., & Ding, M. (2007). Methyl jasmonate enhances antioxidant activity and flavonoid content in blackberries (*Rubus* sp.) and promotes antiproliferation of human cancer cells. *Food Chemistry*. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.09.065>
- Weber, R. W., & Petridis, A. (2023). Fungicide Resistance in *Botrytis* spp. and Regional Strategies for Its Management in Northern European Strawberry Production. *Biotech*, 12(4), 64. <https://doi.org/10.3390/biotech12040064>
- Xu, D., Yu, G., Xi, P., Kong, X., Wang, Q., Gao, L., & Jiang, Z. (2018). Synergistic Effects of Resveratrol and Pyrimethanil against *Botrytis cinerea* on Grape. *Molecules*, 23(6), 1455. <https://doi.org/10.3390/molecules23061455>
- Yadav, I., Singh, J., Meena, B., Singh, P., Meena, S., Neware, S., & Patidar., D. K. (2017). Strawberry Yield and Yield Attributes after Application of Plant Growth Regulators and Micronutrients on Cv. Winter Dawn. *Chemical Science Review and Letters*. 6(21) 589-594. Article CS122048032
- Youssef, K., Roberto, S. R., & De Oliveira, A. G. (2019). Ultra-Structural Alterations in *Botrytis cinerea*—The Causal Agent of Gray Mold—Treated with Salt Solutions. *Biomolecules*, 9(10), 582. <https://doi.org/10.3390/biom9100582>
- Yu, M. H., Shen, L., Fan, B., Zhao, D., Yi, Z., & Sheng, J. (2009). The effect of MeJA on ethylene biosynthesis and induced disease resistance to

*Botrytis cinerea* in tomato. *Postharvest Biology And Technology*, 54(3), 153-158. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2009.07.001>

Zhang, J., Wang, X., Yu, O., Tang, J., Gu, X., Wan, X., & Fang, C. (2011). Metabolic profiling of strawberry (*Fragaria×ananassa* Duch.) during fruit development and maturation. *Journal Of Experimental Botany*, 62(3), 1103-1118. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq343>