



<https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2025.04.004>

ES

Sección: Ciencia Agrícola

Tratamientos pre y poscosecha con fitohormonas reducen la incidencia de *Botrytis cinerea* en fresa

Alejandra Gaxiola-Ramírez¹; ^{ORCID}Ángel Ramón Flores-Sosa²; ^{ORCID}Edmundo M. Mercado-Silva^{1*}

¹Universidad Autónoma de Querétaro, Departamento de Investigación y Posgrado de Alimentos, Cerro de las Campanas, Santiago de Querétaro, Querétaro, C.P. 76017, México.

²Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química, Campus Pedro Escobedo, Avenida Panamericana No. 180 Int. 100, Centro, Pedro Escobedo, Querétaro, C.P. 76700, México.

Historial del artículo:

Recibido: Abril 20, 2025

Aceptado: Abril 10, 2026

Publicado en línea:

Agosto 25, 2026

*Autor para correspondencia:

mercado501120@gmail.com

Resumen

La pudrición por *Botrytis cinerea*, es la principal causa de pérdidas poscosecha en fresa. Por este motivo el objetivo del presente estudio fue evaluar el efecto de aplicaciones pre y poscosecha de ácido salicílico (AS) y metil jasmonato (MeJA) en la incidencia de *B. cinerea* en frutos de fresa. El experimento se dividió en dos etapas. En la primera etapa, se hicieron aplicaciones de fungicida Fontelis®, AS 4 y 6 mM y agua como Control, en plantas de fresa cv '3128' en floración, en intervalos de 7 d. Al día 28 se cosecharon los frutos. En la segunda etapa, se trataron frutos en poscosecha con AS 4 y 6 mM, MeJA 0.05 y 0.10 mM y su respectivo Control. En ambas etapas, se midió la incidencia de *B. cinerea* y parámetros de calidad. A los 12 d de almacenamiento, la aplicación precosecha de AS a 4 y 6 mM redujo hasta 11.4 % la incidencia de *B. cinerea* respecto a los frutos control. En tanto, la aplicación poscosecha de MeJA 0.10 mM y AS 4 y 6 mM redujo la incidencia de la enfermedad 12.76 %. Adicionalmente, las aplicaciones de AS y MeJA en pre y poscosecha retrasaron los signos de senescencia y mantuvieron hasta por 12 d los parámetros de calidad. En conclusión, los tratamientos con fitohormonas son una alternativa sustentable a los fungicidas para controlar el desarrollo de *Botrytis cinerea*, alargar la vida de anaquel y mantener la calidad de frutos de fresa.

► **Palabras clave:** *B. cinerea*, ácido salicílico, fresa, incidencia, metil jasmonato.

Introducción

México es uno de los principales productores de fresa a nivel mundial, con una producción anual de 641,552 ton, de las cuales 86, 489 ton se exportaron a Estados Unidos, generando ingresos por 3,258,924.83 millones de pesos (FAOSTAT, 2025) (Sistema de Información de Producción Agrícola y Pecuaria de México [SIAP], 2024). La producción y exportación de fresa puede afectarse por distintos factores pre y poscosecha. Entre las principales causas de pérdidas de frutos de fresa en ambas etapas está la presencia de *Botrytis cinerea*. Este hongo es considerado el segundo fitopatógeno de mayor importancia agroeconómica, debido a su amplia gama de huéspedes ocasionando daños e impactando negativamente la vida de anaquel y la calidad (Youssef et al., 2019).

Para controlar la incidencia de *B. cinerea*, se recurre comúnmente al uso de fungicidas sintéticos convencionales como

Captan® y Fontelis®, 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 un control eficaz y seguro de *B. cinerea* es necesario tomar medidas alternativas. Al respecto, se ha reportado que la aplicación de tratamientos basados en fitohormonas como el ácido salicílico (AS) y el metil jasmonato (MeJA) han mostrado resultados positivos en plantas y sus órganos debido a que inducen actividad fungistática contra *Botrytis* (Dieryckx et al., 2015; Jeyasri et al., 2023).

El AS es un compuesto fenólico simple que activa los sistemas de defensa de las plantas, especialmente la resistencia sistémica adquirida (SAR) (Kumar, 2014). La defensa dada por AS actúa principalmente contra los biotrofos. Asimismo, se ha observado que la aspersión con esta fitohormona induce mayor expresión de genes relacionados

Please cite this article as follows (APA 7): Gaxiola-Ramírez, A., Flores-Sosa, A. R., & Mercado-Silva, E. M. (2026). Tratamientos pre y poscosecha con fitohormonas reducen la incidencia de *Botrytis cinerea* en fresa. *Current Topics in Agronomic Science*, 6, e25004. <https://doi.org/10.5154/r.ctasci.2025.04.004>

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 la expresión de genes asociados con la defensa de la planta (Jeyasri et al., 2023). Bajo este contexto, el trabajo se enfocó en evaluar el efecto de fitohormonas (ácido salicílico y metil jasmonato) aplicadas en pre y poscosecha para reducir la incidencia del hongo *Botrytis cinerea* y conservar la calidad de los frutos, con la ventaja de que estos tratamientos pueden sustituir el uso de fungicidas, generando estrategias de control efectivas y sustentables en fresa.

Materiales y Métodos

Organización general de investigación

La investigación se efectuó en dos etapas. En la primera, se realizaron las aplicaciones del fungicida Fontelis® (Corteva Agriscience), AS a 4 y 6 mM, y de agua como Control, en plantas de fresa cv '3128' en floración con intervalos de 7 d. En la segunda etapa, se trataron frutos en poscosecha con AS a 4 y 6 mM, MeJA a 0.05 y 0.10 mM y su respectivo Control (agua).

La aplicación de los tratamientos en campo durante la primera etapa se realizó en una huerta comercial dedicada a la producción de fresa bajo la tecnología a cielo abierto, ubicada en Camalú, Baja California (30°50'16" N y 116°03'26" O, altitud de 21 msnm). Durante la floración del cultivo se aplicaron los cuatro tratamientos a plantas de fresa cv. '3128': El AS a dos concentraciones diferentes (4 y 6 mM), el fungicida comercial Fontelis® (200 g·L⁻¹) y el tratamiento Control (agua). Estos tratamientos se aplicaron por triplicado a 225 plantas durante 21 d. Cada tratamiento se aplicó en intervalos de 7 d (0, 7, 14 y 21 d). Los frutos se cosecharon en madurez comercial a los 28 d de la primera aplicación, posteriormente se colocaron en empaques clamshells de 170 g para su transporte vía aérea al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas del Posgrado de Alimentos – de la Universidad Autónoma de Querétaro (UAQ), México, en condiciones de refrigeración.

Para la segunda etapa correspondiente a los tratamientos poscosecha, se cosecharon frutos de la misma huerta comercial, en madurez comercial, tratados únicamente con el fungicida Fontelis®. Los frutos se empaquetaron en clamshells de 170 g y se transportaron vía aérea al laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas del Posgrado de Alimentos-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 y el tratamiento control (agua).

Preparación de las soluciones de AS y MeJA

Las soluciones de AS se prepararon siguiendo la metodología descrita por Haider et al. (2020) modificada; el ácido salicílico (ácido 2- hidroxibenzoico, peso molecular 138.125 g·mol⁻¹ y pureza 99 %, Baker Analyzed), se disolvió en etanol al 3 %, luego se agregó agua destilada (3 L de etanol en 7 L de 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 modificaciones; el metil jasmonato (peso molecular 224.30 g·mol⁻¹ y pureza de 95 %, Sigma-Aldrich®), se disolvió en agua destilada utilizando 0.05 % (v/v) de Tween-20 como agente surfactante en concentraciones de 0.05 y 0.10 mM. El fungicida Fontelis® (i.a. pentiopirad 200 g·L⁻¹) se preparó de acuerdo con la ficha técnica y se disolvió en agua (1.5 L·ha⁻¹ de Fontelis® en 500 L de agua·ha⁻¹). Las aplicaciones en campo de AS y Fontelis® se realizaron mediante pulverizaciones con mochila de fumigación y las aplicaciones en poscosecha con MeJA y AS se realizaron mediante atomizaciones.

Inoculación de *Botrytis cinerea* en frutos de fresa

La inoculación de frutos de fresa se realizó con la metodología descrita por Saavedra et al. (2017), realizando ligeras modificaciones. Los frutos se desinfectaron superficialmente con una solución de hipoclorito de sodio (NaClO) al 1.5 % durante 1 min y posteriormente se lavaron con agua destilada estéril. Después, se retiró el exceso de agua con papel absorbente y se realizó la inoculación en el ecuador de cada fruto, utilizando una jeringa estéril, se colocó una alícuota de 20 µL de suspensión con 1×10⁵ esporas·mL⁻¹.

Medición de incidencia de *Botrytis cinerea*

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

$$\text{Incidencia (\%)} = \frac{\text{Cantidad de frutos dañados}}{\text{Cantidad total de frutos}} \times 100 \quad (1)$$

Calidad de los frutos

Pérdida de peso. Se determinó con la metodología descrita por Muncan et al. (2022). Los frutos se pesaron a los 0, 4, 8 y 12 d 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 utilizando la Ecuación (2).

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \times 100 \quad (2)$$

Firmeza. Se determinó con un analizador de textura CT3 (Brookfield, Canadá). Se utilizó una sonda cilíndrica de 25.4 mm de diámetro, la cual comprimió 10 % del diámetro máximo de la fresa a una velocidad de $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$ 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 10 % del diámetro máximo del fruto.

Acidez titulable y sólidos solubles totales. Se preparó un extracto acuoso, tomando 3 g de fresa y 35 mL de agua destilada; posteriormente se homogeneizó con un equipo Ultraturrax T-25 (IKA, Staufen, Alemania) a 10,000 rpm durante 1 min. La muestra homogeneizada se centrifugó durante 15 min a 10,000 rpm y a 4 °C. El sobrenadante se filtró con manta de cielo. Del extracto acuoso se tomaron 10 mL y se tituló con NaOH 0.01 N hasta alcanzar un pH de 8.2 ± 0.2 (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 1990).

La acidez titulable se expresó como porcentaje de ácido cítrico en 100 g de muestra utilizando la Ecuación (3).

$$\% \text{ Acidez} = \frac{\text{Volumen NaOH gastado} \cdot N(\text{NaOH}) \cdot \text{Vol. aforado} \cdot \text{meq ácido cítrico} \cdot 100}{\text{Volumen muestra} \cdot \text{Peso de la muestra} \cdot 1000} \quad (3)$$

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

Diseño experimental y análisis estadístico

Para la primera etapa (precosecha) se estableció un diseño experimental completamente aleatorizado con tres réplicas, donde los tratamientos fueron: AS, a concentraciones de 4 y 6 mM, fungicida Fontelis® (200 g · L⁻¹)

y el Control (agua). Para la segunda etapa, se realizó un diseño experimental completamente aleatorizado con tres réplicas, donde se evaluaron los siguientes tratamientos: AS a 4 y 6 mM, MeJA a 0, 0.05 y 0.10 mM y un tratamiento Control (agua). En ambas etapas los frutos se evaluaron durante 0, 4, 8 y 12 d de almacenamiento poscosecha. Como unidad experimental durante la poscosecha se utilizaron seis clamshells de fresas. Las variables respuesta fueron analizadas estadísticamente con el paquete estadístico JMP, mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía y para los datos que presentaron diferencia se realizó una comparación de medias con la prueba de Tukey ($p < 0.05$). A efecto de evaluar estadísticamente la variable incidencia, 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).

Resultados y discusión

Efecto de la aplicación precosecha de AS en frutos de fresa

La aplicación de ácido salicílico (AS) en precosecha redujo la incidencia de *B. cinerea* en fresa, la aplicación en campo redujo la pudrición de la fruta durante el almacenamiento; los frutos tratados con AS y fungicida comercial (Fontelis®) presentaron el mismo porcentaje de incidencia de moho gris (*B. cinerea*), el cual fue menor en comparación con los frutos del tratamiento Control. Después de 4 d de almacenamiento, las fresas tratadas con 4 mM de AS redujeron en 12.1 % la presencia de pudriciones, con relación al Control. Por otro lado, los frutos asperjados con la solución de AS de 6 mM mostraron una disminución del 8.3 % en comparación con el control, lo cual sugiere que la concentración de AS 4 mM fue la más efectiva para inhibir el desarrollo de *B. cinerea*.

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

Tiempo de almacenamiento	Control	Fungicida (Fontelis® 1.5 L/ha)	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 %

Cuadro 2. Valor de significancia estadística de los factores fijos experimentales en la incidencia de *Botrytis cinerea* en frutos de fresa.

Factores fijos	Probabilidad (valor p)	Significance ($\alpha=0.05$)
Tratamiento	0.015	Significativo
Día	0.098	No significativo
Tratamiento*día	0.380	No significativo

Al día 8 de almacenamiento, los frutos de todos los tratamientos mostraron un incremento de la incidencia de *B. cinerea*. No obstante, los tratamientos con AS a 4 mM y el fungicida comercial redujeron la pudrición un 4.1 % en comparación con el Control. Por otro lado, la aplicación de AS a 6 mM no redujo la presencia de moho gris en los frutos de fresa, mostrando mayor incidencia en comparación con el tratamiento Control. Al finalizar el almacenamiento a los 12 d, la fruta del Control mostró la mayor incidencia de *B. cinerea* (28 %), la cual fue 1.7 veces mayor que la fruta tratada con fungicida comercial y ácido salicílico a 4 y 6 mM (Cuadro 1). Estos resultados indican que el tratamiento con AS 4 mM es una alternativa igual de efectiva que el fungicida comercial para reducir pudriciones generadas por *B. cinerea*.

El análisis general utilizando el modelo lineal generalizado mixto (MGMM) (Cuadro 2), indicó que el factor tratamiento fue significativo ($p < 0.05$). La no significancia del factor día sugiere que no hubo incremento general significativo en la incidencia de la infección a medida que avanzó el almacenamiento, en tanto que la no significancia de la interacción tratamiento*día sugirió que el progreso de la infección no difiere significativamente entre los tratamientos. Sin embargo, el efecto significativo del factor tratamiento indicó que, aunque no hubo una diferencia por efecto del tiempo, sí hubo un efecto significativo del tratamiento aplicado.

Estos hallazgos coinciden con lo reportado por otros autores, quienes demostraron que el AS a 1 mM mostró un efecto inhibitor del moho gris en frutos de fresa cv Festival, comparable al fungicida fenhexamida (Sekina et al., 2022). La disminución de la pudrición de la fruta se atribuye al aumento de la resistencia a enfermedades dentro de la fruta (Haider et al., 2020). Además, se puede observar en la Figura 1, que el AS aplicado en campo no afectó la calidad visual de los frutos y se conservó, por lo menos, durante 12 d de almacenamiento.

La aplicación en precosecha de AS retrasa la senescencia en fresa. La pérdida de peso y la firmeza son variables estrechamente relacionadas con la senescencia de los frutos de fresa, donde frutos con alta pérdida de peso y reducida firmeza tienen menor vida de anaquel. 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 en los días 4 y 12 de almacenamiento a 1°C. En tanto, en el día 8 se observaron diferencias significativas entre los tratamientos aplicados (Figura 2A). Los frutos del tratamiento Control mostraron una mayor pérdida de peso (5.9 %), mientras que los frutos tratados con 4 mM de AS mostraron los menores valores (3.5%).

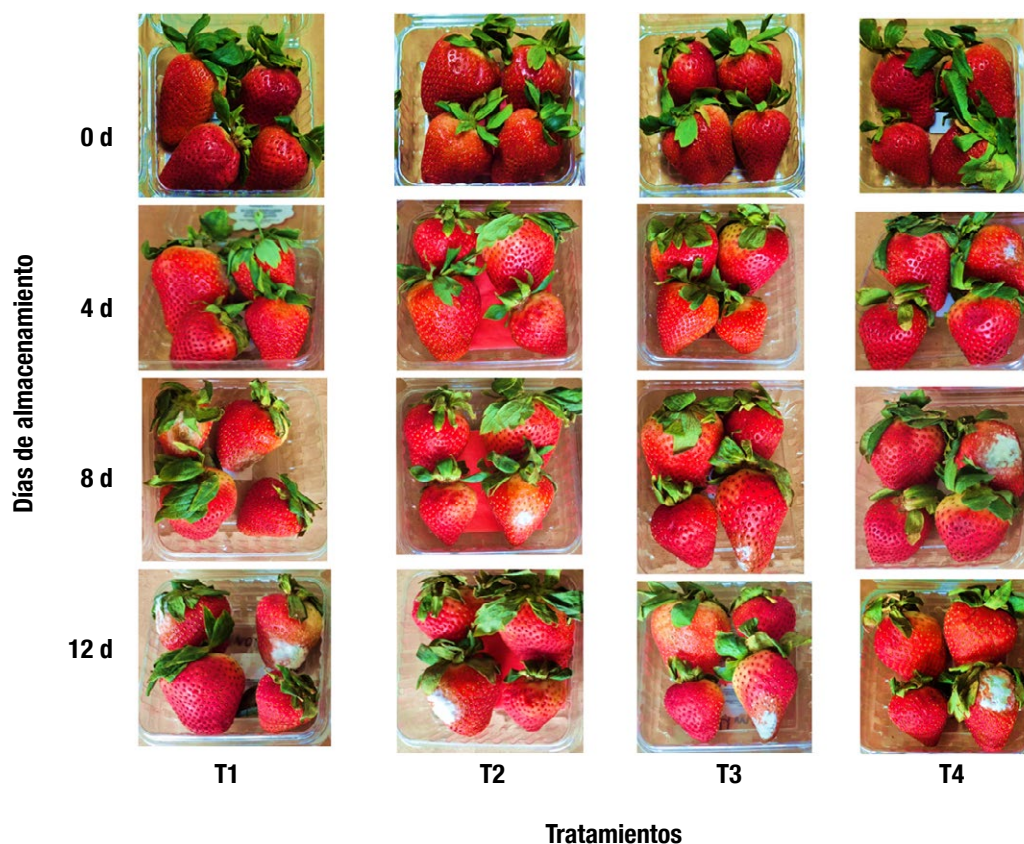


Figura 1. Evolución de incidencia de *Botrytis cinerea* en frutos de fresa cv '3128' tratados en precosecha con Fontelis® y AS. T1 (control), T2 (fungicida fontelis), T3 (AS 4 Mm) y T4 (AS 6 mM), al día 0, 4, 8 y 12 de almacenamiento a 1 °C y HR del 90 %.

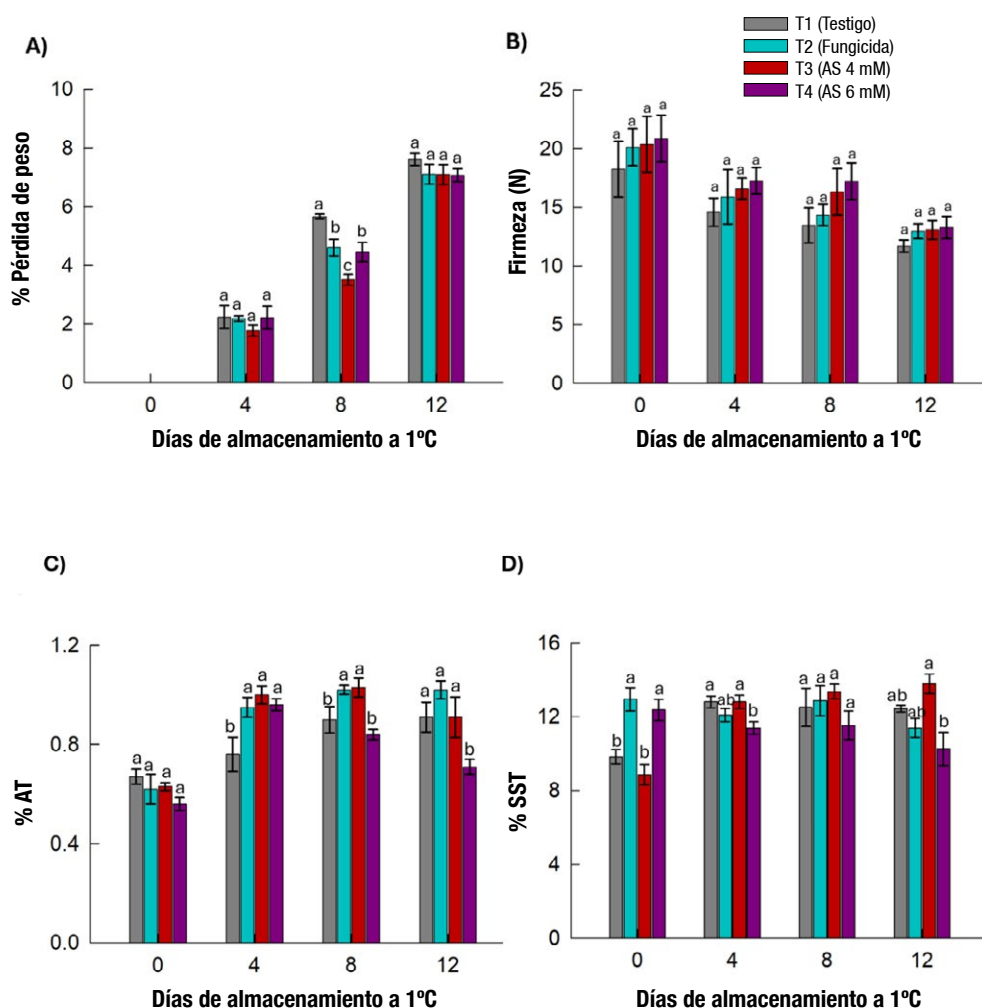


Figura 2. Aplicaciones precosecha de ácido salicílico retrasa la senescencia en los frutos de fresa y mantiene un sabor aceptable en los frutos de fresa. A) % Pérdida de peso B) Firmeza (N), C) % AT y D) % SST.

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. El análisis de varianza general indicó que ni el tratamiento ni la interacción tratamiento*día fueron significativos (valores de $p > 0.05$) y sólo el factor día de almacenamiento fue significativo ($p < 0.05$). Al respecto, los días 4 y 8 mostraron los valores de firmeza más altos y el día 12 los más bajos (Figura 2B).

La disminución de la firmeza en todos los tratamientos fue lo que se esperaba, 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.

Para evaluar si las aplicaciones de AS influyen en el sabor de los frutos se realizaron análisis de acidez y SST. Desde el día 0 y hasta el día 12 de almacenamiento, los frutos tratados con AS presentaron contenido de SST entre 8.9 – 13.8 % (Figura 2D), contenido mayor al 7 % mínimo de SST que debe tener la fresa (Mitcham, 2023). Al finalizar los 12 d de almacenamiento, los frutos tratados con AS mostraron

mayor contenido de SST (13.78 %), en comparación con los no tratados. Por otro lado, respecto al parámetro de acidez, al inicio del periodo de almacenamiento (día 0), no se encontraron diferencias significativas entre todos los tratamientos (0.57-0.67). A partir del día 8, el tratamiento con el fungicida y con 4 mM de AS registraron los valores más alto de acidez, mientras que el tratamiento Control y los tratados con 6 mM de AS registraron los valores menores (Figura 2C). El alto porcentaje de acidez obtenido puede deberse a la variedad utilizada y necesariamente atribuirse a los tratamientos, esto debido a que los frutos no tratados mostraron un comportamiento similar. Estos resultados sugieren que los frutos tratados con AS pueden presentar un sabor aceptable para el consumidor, siendo ligeramente ácidos y dulces, además de retrasar la senescencia.

Efecto de la aplicación poscosecha de AS y MeJA en frutos de fresa

La aplicación en poscosecha de AS y MeJA redujo la incidencia de *B. cinerea* en frutos inoculados de fresa (Cuadro 3). Se observó que los tratamientos redujeron la presencia de

Cuadro 3. 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 %.

Tiempo de almacenamiento	Control	MeJA 0.05 mM	MeJA 0.10 mM	AS 4 mM	AS 6 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 %

**Figura 3. Evolución de incidencia de *Botrytis cinerea* en frutos de fresa cv '3128' tratados en poscosecha con AS y MeJA. T1 (control sin tratamiento), T2 (MeJA 0.05 mM), T3 (MeJA 0.10 mM), T4 (AS 4 mM) y T5 (AS 6 mM), al día 0, 4, 8 y 12 de almacenamiento a 1 °C y HR del 90 %.**

podriciones; la incidencia de *B. cinerea* en frutos tratados con MeJA y AS fue menor en comparación con la incidencia que presentaron los frutos no tratados. En el día 4 de almacenamiento, los frutos tratados con AS 4 mM y 0.05 MeJA mM no mostraron síntomas de *B. cinerea*, lo cual sugirió que estas concentraciones son óptimas para inhibir el desarrollo del moho gris en cortos periodos de almacenamiento.

A partir del día 8 de almacenamiento, las fresas tratadas con AS 6 mM y MeJA 0.05 y 0.10 mM mostraron la menor cantidad de pudriciones, con una incidencia del 4.5 %, manteniéndose así hasta el día 12, lo cual es significativamente inferior a lo observado en los frutos control con 16.6% (Figura 3). Estos resultados sugieren que la aplicación poscosecha de AS y MeJA es un método eficaz que reduce significativamente la pudrición por *B. cinerea*, permitiendo alargar la vida de anaquel de fresa.

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 4). Al respecto han sido reportadas observaciones comparables en diferentes frutos. Yu et al. (2009) reportaron que el MeJA aplicado en tomates cosechados retrasó la presencia de *B. cinerea* los primeros 6 d de almacenamiento. Asimismo, Vaezi et al. (2022) reportaron que el MeJA a 0.01 y 0.10 mM redujo significativamente la pudrición por moho gris en fresas cv 'Sabrosa', alcanzando un 2.66 % de descomposición a los 12 d de almacenamiento.

Calidad de frutos tratados en poscosecha

Los tratamientos con MeJA y AS mostraron resultados positivos para mantener los parámetros de calidad. A los

Cuadro 4. 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).

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

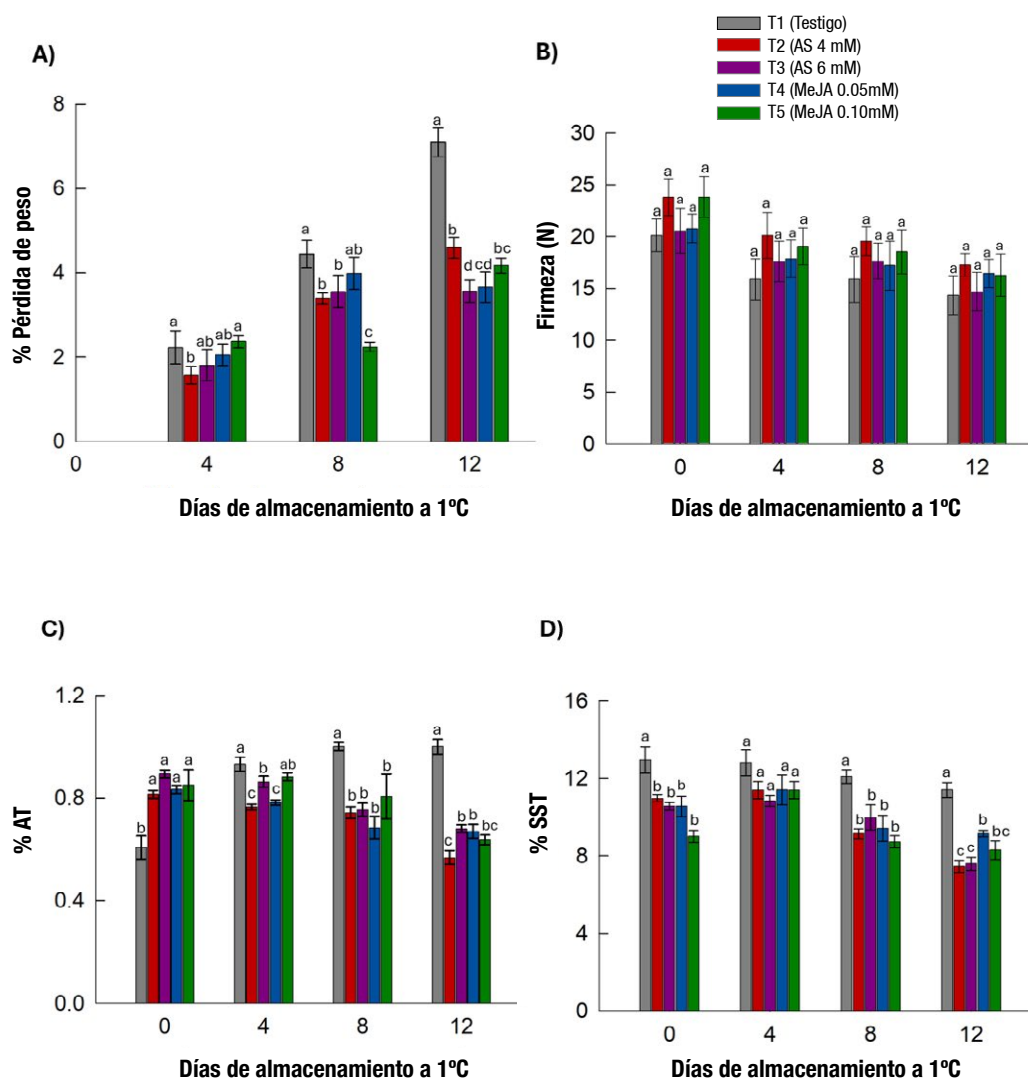


Figura 4. Aplicaciones poscosecha de ácido salicílico (AS) y metil jasmonato (MeJA) en los frutos de fresa y su efecto en la calidad. A) % Pérdida de peso, B) Firmeza (N), C) % SST y D) % AT (acidez total).

4 d de almacenamiento, los frutos tratados en poscosecha con 4 mM de AS perdieron menos peso que el resto de los frutos. A los 8 d de almacenamiento, los frutos con 4 mM de AS mantuvieron su menor pérdida de agua. No obstante, los frutos con 0.10 de MeJA redujeron significativamente su pérdida, reduciendo la pérdida de peso 1.0 y 2.2 veces, respectivamente, en comparación con los frutos del tratamiento control (Figura 4A). Asimismo, después de finalizar los 12 d de almacenamiento, independientemente

de la concentración, todos los frutos tratados con AS y MeJA presentaron menor pérdida de peso con respecto a los del tratamiento Control, lo cual sugiere que la aplicación poscosecha de AS y MeJA contribuye a reducir la pérdida de agua en los frutos. Observaciones comparables han sido reportadas previamente en diferentes frutos. Haider et al. (2020), reportan que frutos de mandarina tratados en poscosecha con AS 4 mM perdieron 11.97 % menos peso que los frutos control.

Por otro lado, los frutos tratados con AS y MeJA, independientemente de la concentración, no presentaron cambios significativos en la firmeza durante los días de almacenamiento. Sin embargo, los frutos tratados con MeJA en ambas concentraciones y AS a 4 mM se mantuvieron más firmes al día 12 del almacenamiento (Figura 4B). Estos resultados indican que la aplicación de AS en concentraciones de 4 y 6 mM y MeJA a 0.05 y 0.10 mM permiten reducir la pérdida de peso y mantener la firmeza por más de 12 d, lo cual se traduce en un incremento en la vida de anaquel del producto, que permitirá a los productores comercializar la fresa por un periodo más prolongado.

Respecto a los parámetros de calidad de acidez y SST, el contenido de acidez tuvo diferencias significativas durante todo el almacenamiento, siendo ligeramente más ácidos los frutos del tratamiento Control que los tratados con AS y MeJA, después del cuarto día de almacenamiento (Figura 4C). Respecto al contenido de SST, se observó que desde el día 0 y hasta el día 12 de almacenamiento el contenido de 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 sugiere que estos resultados se encuentran por arriba del contenido mínimo de calidad, sin embargo, los frutos tratados con AS tuvieron 3.87 % menos contenido de SST respecto a los frutos del control al finalizar los 12 d de almacenamiento (Figura 4D). Estos resultados fueron similares a los reportados por Haider et al. (2020) quienes obtuvieron mayor contenido de SST con el tratamiento control en comparación con la fruta tratada con AS.

Los valores más altos de acidez y sólidos solubles totales se registraron en los frutos del tratamiento Control (1.0 y 12.9 % respectivamente), mientras que los valores más bajos en esta variable se obtuvieron con el tratamiento de 4 mM de AS (0.69 %), en cuanto a los SST, no se encontraron diferencias significativas, obteniendo valores entre 9.3 y 10.0 %. En todos los tratamientos se observó una tendencia a la reducción de los valores de acidez y contenido de sólidos solubles totales, tanto en los tratamientos control como en los frutos tratados con AS y MeJA (Figuras 4C y 4D). Aunque estos parámetros variaron durante el almacenamiento, el valor obtenido indica que los frutos cumplieron con el estándar de calidad para los frutos de fresa, este rango de acidez se encuentra dentro de lo establecido para cumplir el factor de calidad máximo (0.80 % máximo) señalado por Mitcham (2023). Estos resultados indicaron que los frutos tratados con AS y MeJA mantuvieron un equilibrio entre la acidez y los SST, por lo que la aceptación por parte del consumidor no debería afectarse.

Conclusiones

Las aplicaciones con AS (4 y 6 mM) y MeJA (0.05 y 0.10 mM) tanto en precosecha como en poscosecha son tratamientos alternativos efectivos en la reducción de las pudriciones en los frutos ocasionadas por *Botrytis cinerea*,

por lo tanto, se prolonga la vida de anaquel de los frutos. Lo anterior indica que el sistema de defensa de las plantas se puede activar y generar resistencia al ataque de patógenos, sin la necesidad de recurrir al uso de fungicidas para el control de daños ocasionados por hongos en el cultivo y frutos. Además, se conservan los parámetros de calidad más importantes para la comercialización de los frutos.

Referencias

- Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (1990). *Official Methods of Analysis*. 15th ed.
- Dieryckx, C., Gaudin, V., Dupuy, J.-W., 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>
- FAOSTAT. (2025). *Food and agriculture data*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/>
- Feng, J., Zhang, M., Yang, K.-N., & Zheng, C.-X. (2020). Salicylic acid-primed 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 Biology*, 20(1), 149. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02353-z>
- 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. A., Ahmad, S., Sattar Khan, A., Anjum, M. A., Nasir, M., & 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., Valle, V. Del, Velez, D., & Gavara, R. (2008). Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria x ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry*, 110(2), 428–435. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.02.020>
- 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 (PCTOC)*, 153(3), 447–458. <https://doi.org/10.1007/s11240-023-02485-8>
- Kumar, D. (2014). Salicylic acid signaling in disease resistance. *Plant Science*, 228, 127–134. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.04.014>
- Mitcham, E. J. (2023). *Recommendations for maintaining postharvest quality*. UCDAVIS. (consultado el 18 de febrero de 2024). <https://postharvest.ucdavis.edu/produce-facts-sheets/strawberry>
- Muncan, 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>
- Saavedra, G., Sanfuentes, E., Figueroa, P., & Figueroa, C. (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>
- Sekina, S. E., Marzouk, A. S., & Abdelghany, R. A. (2022). Effect of pre-harvest application of salicylic acid on strawberry growth and resistance against gray mold disease. *International Journal of Scientific Research and Sustainable Development*, 6(1), 37–56. <https://doi.org/10.21608/ijrsrd.2023.281179>
- Sistema de Información de Producción Agrícola y Pecuaria de México [SIAP]. (2024). Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera. SADER. <https://www.gob.mx/siap>
- Vaezi, S., Asghari, M., Farokhzad, A., Soleimani Aghdam, M., & Mahna, N. (2022). Exogenous methyl jasmonate enhances phytochemicals and delays senescence in harvested strawberries by modulating GABA shunt pathway. *Food Chemistry*, 393, 133418. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133418>
- 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., Shen, L., Fan, B., Zhao, D., Zheng, Y., & 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>