



APLICACIÓN DE ÁCIDO SALICÍLICO MEJORA EL RENDIMIENTO Y LA CALIDAD NUTRACÉUTICA EN VID

APPLICATION OF SALICYLIC ACID IMPROVES YIELD AND NUTRACEUTICAL QUALITY IN GRAPEVINE

Pablo Preciado-Rangel¹, Maria A. Sariñana-Navarrete², Dora Ma. Sangerman-Jarquín^{3*}, Diego Eduardo Echegaray¹, Francisco Javier Ruiz-Ortega¹ y Micaela De la O-Olán³

¹Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Torreón, Ejido Ana, Torreón, Coahuila, México. ²Universidad Tecnológica de Rodeo, Rodeo, Durango, México. ³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, Campo Experimental Valle de México, Coatlinchán, Texcoco, Estado de México, México.

*Autora de correspondencia (sangerman.dora@inifap.gob.mx)

RESUMEN

El ácido salicílico es un compuesto fenólico implicado en múltiples procesos fisiológicos de las plantas, como germinación, fotosíntesis, absorción de nutrientes, actividad enzimática y biosíntesis de metabolitos secundarios, esenciales para interactuar con el ambiente. En este estudio se evaluó el efecto de la aplicación foliar de ácido salicílico sobre el rendimiento, actividad antioxidante y calidad nutraceutica del fruto de *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon. Se probaron cinco dosis de ácido salicílico: 0, 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 mM bajo un diseño de bloques completos al azar. Se midieron variables relacionadas con la producción, contenido de compuestos antioxidantes no enzimáticos, proteína y actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa. Los resultados indicaron que la aspersión foliar de ácido salicílico 0.5 mM aumentó significativamente el rendimiento, la acidez titulable, el índice de madurez y la actividad de las enzimas catalasa y peroxidasa. La concentración de compuestos bioactivos secundarios como fenoles, flavonoides y vitamina C incrementó principalmente con la dosis de 1.0 mM. A pesar de una reducción en el contenido proteico, la mayor actividad enzimática antioxidante elevó la presencia de elicitors para activar mecanismos defensivos, incluso en ausencia de estrés. La aplicación foliar de ácido salicílico es una estrategia eficaz para mejorar la biosíntesis de metabolitos secundarios y el rendimiento del cultivo de la vid.

Palabras clave: *Vitis vinifera* L., compuestos bioactivos, elicitors.

SUMMARY

Salicylic acid (SA) is a phenolic compound involved in various physiological processes in plants, such as germination, photosynthesis, nutrient absorption, enzyme activity, and the biosynthesis of secondary metabolites, which are essential for interacting with the environment. In this study the effect of foliar application of salicylic acid on yield, antioxidant activity, and nutraceutical quality of *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon was evaluated. Five increasing doses of salicylic acid were tested: 0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mM using a randomized complete block design. Production-related traits, non-enzymatic antioxidant compounds and protein content, as well as the activity of enzymes catalase and peroxidase were measured. Results showed that foliar spraying of salicylic acid 0.5 mM significantly increased yield, titratable acidity, maturity index, and catalase and peroxidase activity. The concentration of secondary bioactive compounds such as phenols, flavonoids and vitamin C increased mainly with the 1.0 mM dose. Despite the reduction in protein content, the enhanced antioxidant enzyme activity raised the presence of elicitors to activate defense mechanisms, even in the absence of stress. Foliar

application of salicylic acid is an effective strategy for boosting secondary metabolite biosynthesis and improving the yield of grapevine crops.

Index words: *Vitis vinifera* L., bioactive compounds, elicitors.

INTRODUCCIÓN

Los elicitors son compuestos o moléculas capaces de inducir cambios fisiológicos en las plantas al ser aplicados, modulando el metabolismo primario y, en ocasiones, promoviendo la biosíntesis de metabolitos secundarios (Gaddam *et al.*, 2024). El ácido salicílico (AS), uno de los compuestos fenólicos más simples sintetizados por las plantas, participa en diversas respuestas fisiológicas, como la germinación, fotosíntesis, absorción de nutrientes, actividad enzimática y crecimiento; además, en algunas leguminosas interviene en la formación de nódulos (Ali, 2021). La aplicación exógena de AS desempeña un papel clave en la elicitación de moléculas bioactivas (Rani y Murali-Baskaran, 2025). En la agricultura, el uso de AS como elicitor se ha promovido con el propósito de activar los sistemas de defensa de los cultivos y disminuir los efectos del estrés biótico y abiótico, así como para mejorar las características nutraceuticas de los alimentos (Singh, 2023).

Recientemente, diversos estudios se han enfocado en estimular el metabolismo secundario de las plantas mediante la aplicación exógena de AS, cuya biosíntesis natural ocurre vía la ruta metabólica de los fenilpropanoides (Ramos-Sotelo y Figueroa-Pérez, 2023). Los metabolitos secundarios derivados de esta vía poseen efectos beneficiosos para la salud vegetal, principalmente asociados con la capacidad antioxidante, relacionada con la acumulación de compuestos fenólicos y con la actividad de enzimas antioxidantes como catalasa (CAT), peroxidasa (POD) y superóxido dismutasa (SOD) (Hasanvand *et al.*, 2025; Ramos-Sotelo y Figueroa-Pérez, 2023).

Los efectos de la elicitación por AS varían entre especies; en algunos casos, se ha reportado una disminución de la calidad de los frutos (Chen *et al.*, 2023), mientras que en otros se ha observado un incremento en el rendimiento y mejoras en atributos organolépticos (García-Pastor *et al.*, 2020); por ejemplo, Erazo-Lara *et al.* (2024) documentaron aumentos en la calidad y el peso de los frutos de pihaya amarilla (*Selenicereus megalanthus* Haw.) tras la aplicación de AS. En plantas medicinales, la elicitación con AS elevó los fenoles totales, aunque redujo la actividad de enzimas antioxidantes (Gjureci *et al.*, 2025). En uvilla (*Physalis peruviana* L.), el tratamiento con AS aumentó los polifenoles, clorofila, y redujo ligeramente los sólidos solubles totales, sin efectos significativos sobre el crecimiento o la acidez (Ríos-Lozano *et al.*, 2023).

La vid (*Vitis vinifera* L.) Cabernet Sauvignon es una de las variedades más relevantes en la viticultura mundial, tanto por su valor económico y social como por su contenido de fitoquímicos bioactivos, incluidos compuestos fenólicos y vitaminas, que aportan beneficios a la salud (Shahab *et al.*, 2023). Estos compuestos influyen directamente en el rendimiento de la uva y en la calidad organoléptica del vino producido (Ghanem *et al.*, 2023). El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación foliar de AS como elicitador sobre parámetros productivos, calidad de la baya y contenido de componentes antioxidantes en plantas de vid cv. Cabernet Sauvignon.

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio y material vegetal

El experimento se realizó en Monterrey, Durango (25° 29' 20" latitud norte, 103° 37' 37" longitud oeste, 1160 m de altitud), donde las condiciones climáticas presentan temperatura media anual de 21 °C, precipitación media anual de 253 mm, el suelo es de textura arenosa (81 % arena, 14 % limo, 5 % arcilla), densidad aparente de 1.67 g cm⁻³, pH de 8.37, capacidad de retención de agua de 25.2 %, conductividad eléctrica de 1.28 dS m⁻¹, materia orgánica de 1.18 mg kg⁻¹, N total de 32.8 mg kg⁻¹, P disponible de 24.4 mg kg⁻¹ y K extraíble de 90.43 mg kg⁻¹. Se utilizaron plantas de *Vitis vinifera* L. cv. Cabernet Sauvignon de nueve años establecidos a una distancia de 1 × 3 m (3333 plantas ha⁻¹). El manejo del cultivo incluyó aplicación preventiva de clorpirifos y dimetoato (1 mL L⁻¹), instalación de malla antipájaros, fertilización edáfica con la dosis de 80-20 (N-P₂O₅) kg ha⁻¹ aplicados proporcionalmente desde brotación hasta envero, y riegos distribuidos cada 20 a 25 días desde brotación hasta cosecha.

Tratamientos y diseño experimental

El experimento se condujo bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro plantas de vid. Como fuente de AS se utilizó ácido salicílico (HOC₆H₄COOH) de grado reactivo (Fermont, 99.5 %) a dosis de 0.5, 1, 1.5 y 2 mM (Champa *et al.*, 2015), más un tratamiento control (agua desionizada). La aplicación de los tratamientos se realizó en tres ocasiones (cuajado, envero e inicio de madurez), con intervalos entre aplicaciones de 30-35 días; para ello, se utilizó una aspersora manual de mochila de 20 L de capacidad. La cantidad de AS correspondiente a cada tratamiento se diluyó en 5 mL de etanol (Morales y González, 2018) y posteriormente, se llevó a un volumen final de 20 L con agua destilada.

Variables de estudio

Rendimiento y volumen de baya

El rendimiento por planta se representó como la suma del peso de todos los racimos, para lo que se empleó una balanza granataria (LEQ 5/10, Torrey, México) de 5 kg de capacidad. Los resultados se expresaron en kg por planta. El peso promedio del racimo se estimó dividiendo el rendimiento por planta entre el número total de racimos por planta y se expresó en g. Para estimar el volumen de la baya (VB) se empleó una probeta graduada de 100 mL de capacidad que contenía 60 mL de agua, se agregaron 10 bayas y se estimó el volumen desplazado. El VB se calculó al dividir el volumen desplazado entre el número de bayas utilizadas y se expresó en cm³. Los frutos cosechados se almacenaron a -4 °C hasta su posterior análisis, para cuantificar acidez titulable, proteína y componentes antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos.

Calidad de las bayas

Los sólidos solubles totales (SST) se midieron al momento de la cosecha con un refractómetro digital portátil (Atago 3810, Tokio, Japón), reportándose los resultados en °Brix. El pH se determinó utilizando un medidor portátil (Laquatwin PH-11, Horiba, Kioto, Japón); para ello, se tomaron cuatro bayas al azar por racimo, se exprimieron manualmente y se registró la lectura inmediatamente, realizando este procedimiento por triplicado para cada unidad experimental. La acidez titulable (AT) se cuantificó mediante el método de titulación, empleando NaOH 0.1 N y fenolftaleína 1 % como indicador y los resultados se expresaron como porcentaje de ácido cítrico (% AC). A partir de los valores de SST y AT, se calculó el índice de madurez. Finalmente, los grados probables de alcohol

(GPA) se estimaron según la metodología propuesta por Walteros *et al.* (2012).

Antioxidantes no enzimáticos en las bayas

El contenido de vitamina C en las bayas fue determinado por el método 2,6-dicloroindofenol, mediante titulación (Padayatty y Levine, 2001), los resultados se reportaron en mg equivalentes de ácido ascórbico por cada 100 g de peso fresco (mg EAA 100 g⁻¹ PF). Para cuantificar la capacidad antioxidante DPPH⁺ se hizo un extracto etanólico, 2 g de fruto congelado se maceraron y se vertieron en 10 mL de etanol puro, esta mezcla se llevó a agitación constante por 24 h a 70 rpm a una temperatura fija de 5 °C; en seguida, la mezcla se centrifugó a 3000 rpm, durante 5 min. La estimación de compuestos fenólicos se llevó a cabo mediante el método Folin-Ciocalteu (2 M, Folin & Ciocalteu's phenol reagent, Sigma Aldrich, Alemania) a 765 nm (Ainsworth y Gillespie, 2007) y los resultados se expresaron en mg EAG g⁻¹ PF. La cuantificación de flavonoides se realizó por colorimetría (Shraim *et al.*, 2021) a 510 nm, con algunas modificaciones, y los resultados se expresaron en mg EQ g⁻¹ PF. La capacidad antioxidante total se midió por el método *in vitro* DPPH⁺ (Brand-Williams *et al.*, 1995) a 517 nm. Los resultados se reportaron en μM equivalentes en Trolox 100 g⁻¹ PF. El contenido de antocianinas se estimó con la metodología descrita por Medrano *et al.* (2021), los resultados se expresaron en μg equivalentes de malvidin-3-glucósido por gramo de fruto (μg M3G g⁻¹ PF).

Proteína

Para estimar el contenido proteico y actividad enzimática se emplearon 0.5 g de fruto congelado que se maceró con buffer Tris-HCl 50 mM como solvente, que contenía 10 mM de ácido etilendiaminotetraacético (EDTA), 2 mM de MgSO₄, 20 mM de cisteína, 10 % de glicerol (v/v) y 2 % de polivinilpirrolidona (PVPP, p/v). La proteína en el extracto se determinó por el método Bradford (1976) usando albúmina sérica bovina como estándar. Los resultados se expresaron en mg g⁻¹ PF.

Antioxidantes enzimáticos en las bayas

La actividad enzimática de catalasa (CAT 1.11.1.6) se estimó siguiendo el protocolo descrito por Elavarthi y Martin (2010), con H₂O₂ como sustrato. La actividad enzimática de peroxidasa (POD 1.11.1.7) se midió de acuerdo con el procedimiento descrito por Hernández-Esquivel *et al.* (2021). Las unidades enzimáticas para cada enzima se definieron como CAT: una U enzimática es equivalente a la cantidad de H₂O₂ en mM consumida por 1 min; POD: una U enzimática es equivalente a la cantidad de

tetraguayacol (mM) formado por 1 min.

Análisis estadístico

La información recabada de las evaluaciones fue sujeta a análisis de normalidad (Anderson-Darling; $p > 0.05$), análisis de varianza de una vía y una prueba de comparación múltiple de medias (Tukey, $p \leq 0.05$), con apoyo del paquete estadístico Statistical Analysis System, Versión 9.3. (SAS Institute, 2011).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Rendimiento y sus componentes

Hubo diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en rendimiento por planta y peso de racimo tras la aplicación foliar de AS. La dosis de 1.0 mM de AS presentó el mayor rendimiento (2.30 kg por planta), lo que representó un incremento de 79 % (1.28 kg por planta) respecto al control, aunque estadísticamente no difirió de este último (Cuadro 1). La dosis de 0.5 mM también mostró un efecto positivo (2.01 kg por planta), pero sin diferencias significativas frente al control; en contraste, la dosis de 2.0 mM redujo el rendimiento a 0.83 kg por planta, siendo significativamente inferior al tratamiento de 1.0 mM; las concentraciones de 1.5 y 2.0 nM de AS presentaron una tendencia a reducir el rendimiento.

En relación con el peso de racimo, el control presentó el valor más alto (105.25 g), que al igual que la dosis de 2.0 mM de AS, fue estadísticamente igual, mientras que todos los tratamientos con AS resultaron en una disminución significativa de esta variable con respecto al control, con valores entre 50.05 y 83.83 g. Las reducciones numéricamente más marcadas se observaron entre 1.0 y 1.5 mM de AS, aunque estadísticamente fueron iguales y ambas presentaron un decremento del 52.45 % y 42.22 %, respectivamente en comparación con el control. Por otro lado, el volumen de las bayas no presentó diferencias significativas entre tratamientos, con valores que oscilaron entre 7.75 y 8.75 cm³.

El número de racimos por planta mostró una asociación consistente con el rendimiento, siendo mayor en las plantas tratadas con 0.5 y 1.0 mM de AS, lo que sugiere que el incremento en la producción está relacionado con una mayor floración y cuajado de frutos. Lo observado en este documento coincide con lo reportado por Li *et al.* (2022), quienes documentaron que altas concentraciones de AS endógeno pueden inducir respuestas fisiológicas adversas, mientras que su aplicación exógena tiene efectos promotores o inhibidores, según la dosis y la especie vegetal. De igual forma, Kaur *et al.* (2022) reportaron que la aplicación

Cuadro 1. Efecto del ácido salicílico sobre el rendimiento y sus componentes en plantas de vid.

Dosis de AS (mM)	Rendimiento por planta (kg)	Peso de racimo (g)	Racimos por planta	Volumen de baya (cm ³)
0.5	2.01 ab	70.46 b	26.43 ab	8.25 a
1.0	2.30 a	50.05 b	41.78 a	8.30 a
1.5	1.13 ab	60.80 b	22.80 b	8.50 a
2.0	0.83 b	83.83 ab	10.23 b	8.75 a
Control	1.28 ab	105.25 a	12.50 b	7.75 a

Medias con letras minúsculas iguales, en una misma columna, no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$).

de 0.5 mM de AS estimuló la floración y productividad en el cultivo de garbanzo. En este análisis, las dosis bajas de AS solo favorecieron el número de racimos por planta y el rendimiento por planta; en contraste, las dosis de 1.5 y 2.0 mM redujeron esta variable, aunque con racimos de mayor peso para el caso de la dosis de 2.0 mM de AS, lo que sugiere una posible redistribución de los fotoasimilados hacia un menor número de estructuras reproductivas.

Calidad de las bayas

No se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en los SST, el pH ni en los GPA en respuesta a la aplicación foliar (Cuadro 2); sin embargo, se detectaron diferencias significativas en la AT, y en consecuencia, en el IM. Las bayas provenientes de plantas tratadas con AS presentaron una menor concentración de ácidos orgánicos respecto al tratamiento control, con reducciones de 37.04 y 58.62 % en las dosis de 0.5 y 1.0 mM, respectivamente. También se observaron disminuciones significativas en la AT con las dosis de 1.5 y 2.0 mM, aunque de menor magnitud (Cuadro 2).

La disminución en la AT resultó en un aumento significativo del IM en todos los tratamientos con AS, con excepción de la dosis de 2.0 mM que resultó similar al control. El mayor efecto se obtuvo con la dosis de 0.5 mM, donde el IM fue 2.81 veces superior al del control, lo que fue superado por la dosis de 1.0 al obtener con esta un IM de 3.26, superior a todos los tratamientos.

Estos resultados sugieren que el AS exógeno puede modular el proceso de maduración de la baya al alterar el equilibrio entre azúcares y ácidos orgánicos. El ácido salicílico, además de ser un ácido fenólico natural, actúa como fitohormona involucrada en procesos de crecimiento, desarrollo y maduración de frutos (Alam *et al.*, 2023). Su aplicación exógena ha demostrado regular la maduración al influir en la conversión de ácidos orgánicos en azúcares, acelerando así la madurez fisiológica del fruto (Kaur *et al.*, 2025). En este estudio, aunque los SST y los GPA no

se modificaron significativamente, se observó una ligera tendencia al alza en estos parámetros, lo que respalda la hipótesis de una maduración temprana inducida por AS. Resultados similares han sido reportados en fresa (Almutairi *et al.*, 2024) y zarzamora (Sakaldaş *et al.*, 2024), donde el AS redujo la acidez y favoreció el desarrollo de características organolépticas propias de frutos maduros.

Antioxidantes no enzimáticos

La aplicación foliar de AS influyó significativamente en la acumulación de compuestos bioactivos en las bayas de vid (Cuadro 3). En comparación con el control, la aplicación de AS 1.0 mM incrementó el contenido de vitamina C en un factor de 3.0, mientras que las dosis de 0.5 y 1.5 mM provocaron aumentos de 1.82 y 1.76 veces, respectivamente. La dosis de 2.0 mM no mostró diferencias estadísticas con el control, e incluso se registró una leve reducción en el contenido de vitamina C.

El contenido de compuestos fenólicos totales también se vio favorecido por la aplicación de 1.0 mM de AS. Las dosis de 1.0, 1.5 y 2.0 mM generaron incrementos de 44.19, 26.97 y 43.56 %, respectivamente, en comparación con el control; en contraste, la dosis de 0.5 mM no mostró diferencias significativas con respecto al control. En cuanto a los flavonoides totales, se observó una mayor acumulación en las bayas tratadas con 0.5 y 1.0 mM de AS, con incrementos del 82.98 y 104.12 %, respectivamente, con respecto al control. Aunque las dosis altas (1.5 y 2.0 mM) también promovieron una mayor acumulación de flavonoides, las diferencias no fueron estadísticamente significativas en comparación con el control. No se detectaron efectos significativos de los tratamientos con AS sobre la capacidad antioxidante ni en el contenido de antocianinas, aunque se observó una ligera tendencia al alza en este último parámetro en los tratamientos con AS a las dosis de 1.0 a 2.0 mM. Los efectos observados podrían explicarse por la acción del AS como modulador de la vía de los fenilpropanoides, en cuya actividad participa

la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), codificada por los genes *PAL1* y *PAL2*. Diversos estudios han reportado que la aplicación de AS regula positivamente la expresión de estos genes (Salinas *et al.*, 2025), lo cual se asocia con la biosíntesis de compuestos fenólicos, pigmentos y metabolitos secundarios con funciones antioxidantes (Ali *et al.*, 2024); además, estos compuestos tienen relevancia nutracéutica debido a sus beneficios para la salud humana (Hernández-Pérez *et al.*, 2020). En esta investigación la dosis de 1.0 mM de AS resultó efectiva para promover la acumulación de vitamina C, fenoles y flavonoides, sin afectar la capacidad antioxidante total ni el contenido de antocianinas. Esto es consistente con lo reportado en otras especies como *Phaseolus vulgaris* L., donde el pretratamiento de semillas con AS incrementó los compuestos antioxidantes incluso bajo condiciones de estrés salino (Karimi *et al.*, 2025) y en tabaco, donde se ha documentado una mayor acumulación de metabolitos fenólicos por la regulación positiva de la actividad de la enzima fenilalanina amoniaco-liasa (PAL) tras la aplicación exógena de AS (Song *et al.*, 2025). Lo anterior sugiere que el AS actúa como un elicitador eficaz para inducir la biosíntesis de compuestos nutracéuticos, incluso en ausencia de estrés ambiental.

Se observaron variaciones significativas en el contenido de proteínas solubles en las bayas de vid en respuesta a la aplicación foliar de AS (Cuadro 4). Todos los tratamientos con AS (0.5 a 2.0 mM) indujeron una disminución en esta variable respecto al control, siendo la reducción más importante y significativa con la dosis de 0.5 mM, que presentó una disminución del 40.74 % en comparación con el tratamiento sin AS. Diversos estudios han señalado que el AS puede influir en la regulación de proteínas y enzimas, principalmente por su implicación en los mecanismos de defensa celular y en la modulación del estado redox (Gupta *et al.*, 2024); no obstante, Canakci (2011) indicó que bajo condiciones de crecimiento estándar los salicilatos ejercen un efecto limitado sobre la síntesis proteica. En este estudio, las plantas no fueron sometidas a condiciones de estrés biótico ni abiótico, pero se observó una acumulación significativa de compuestos bioactivos con capacidad antioxidante, como vitamina C, fenoles y flavonoides (Cuadro 3). Este incremento en metabolitos antioxidantes podría relacionarse con una mayor producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) que inducen mecanismos de respuesta antioxidante en detrimento de procesos como síntesis de proteínas estructurales o de reserva. Una respuesta similar fue reportada en *Vitis vinifera* L., donde se documentó una reducción del contenido de proteínas tras

Cuadro 2. Efecto del ácido salicílico sobre la calidad de bayas de vid.

Dosis de AS (mM)	Sólidos solubles totales (°Brix)	pH	Acidez titulable (%)	Grados probables de alcohol (%)	Índice de maduración (%)
0.5	21.88 a	3.93 a	10.56 b	11.68 a	2.08 b
1.0	20.75 a	3.90 a	6.94 c	11.92 a	3.26 a
1.5	21.13 a	4.05 a	9.09 b	12.18 a	2.32 b
2.0	20.38 a	4.00 a	10.62 b	11.67 a	1.94 bc
Control	19.50 a	3.93 a	16.77 a	11.08 a	1.16 c

Medias con letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 3. Efecto del ácido salicílico sobre el contenido de antioxidantes no enzimáticos en bayas de vid.

Dosis de AS (mM)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹ PF)	Fenoles (mg GAE g ⁻¹ PF)	Flavonoides (mg QE g ⁻¹ PF)	Capacidad antioxidante (µM Eq Trolox 100 g ⁻¹ PF)	Antocianinas (µM M3G g ⁻¹ PF)
0.5	3.41 b	11.57 ab	3.55 a	81.48 a	130.38 a
1.0	5.61 a	13.90 a	3.96 a	84.76 a	161.19 a
1.5	3.30 b	12.24 a	2.96 ab	81.51 a	185.71 a
2.0	1.54 c	13.84 a	2.23 b	80.83 a	178.33 a
Control	1.87 c	9.64 b	1.94 b	75.39 a	140.58 a

Medias con letras diferentes en una misma columna indican diferencia estadísticamente significativa (Tukey, $p \leq 0.05$).

Cuadro 4. Efecto del ácido salicílico sobre el contenido de proteína y la actividad de enzimas antioxidantes en bayas de vid.

Dosis de AS (mM)	Proteína (mg g ⁻¹ PF)	CAT (U)	POD (U)
0.5	3.41 b	0.043 ab	0.433 a
1.0	5.61 a	0.045 ab	0.241 b
1.5	3.30 b	0.035 bc	0.262 b
2.0	1.54 c	0.050 a	0.262 b
Control	1.87 c	0.028 c	0.246 b

Medias con letras diferentes en una misma columna, indican diferencias estadísticamente significativas (Tukey, $p \leq 0.05$).

la aplicación de AS 0.1 mM bajo condiciones controladas (Nazari *et al.*, 2022). En conjunto, estos resultados sugieren que aunque el AS promueve la acumulación de compuestos nutraceuticos, puede modular negativamente el contenido proteico, posiblemente como parte de un ajuste metabólico hacia la defensa antioxidante en ausencia de estrés evidente.

Antioxidantes enzimáticos

La aplicación exógena de AS afectó significativamente la actividad de las enzimas antioxidantes catalasa (CAT) y peroxidasa (POD) en las bayas de vid (Cuadro 4). La actividad CAT se incrementó significativamente con las concentraciones de 0.5, 1.0 y 2.0 mM de AS, superando al tratamiento control en más de 53.57 %; en contraste, la dosis de 1.5 mM mostró un pequeño incremento respecto al control, pero sin alcanzar diferencias estadísticas. Respecto a la POD, solo la aplicación de 0.5 mM de AS indujo un aumento significativo en su actividad, las demás concentraciones (1.0 a 2.0 mM) no presentaron diferencias estadísticas con el control. Estos datos coinciden con estudios previos que destacan el papel del AS en la modulación de enzimas antioxidantes, al regular el equilibrio Redox celular y activar vías de señalización relacionadas con la defensa vegetal (Mishra *et al.*, 2024). El AS puede inducir la producción controlada de especies reactivas de oxígeno (ROS), las cuales actúan como señales moleculares para estimular la síntesis de enzimas antioxidantes; sin embargo, en exceso, las ROS pueden desencadenar estrés oxidativo (Saleem *et al.*, 2021). El efecto del AS sobre las enzimas antioxidantes depende en gran medida de su concentración, especie vegetal y estado fisiológico. En este estudio, las dosis de 0.5, 1.0 y 2.0 mM resultaron eficaces para inducir la actividad de catalasa, mientras que sólo la dosis más baja (0.5 mM) tuvo un efecto positivo sobre peroxidasa. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Phong *et al.* (2024), quienes documentaron una activación enzimática significativa

en *Agastache rugosa* con aplicaciones de AS entre 0.1 y 1.6 mM. Si bien algunos autores señalan que el AS podría suprimir la actividad de ciertas enzimas antioxidantes en concentraciones elevadas (Mishra *et al.*, 2024), los resultados obtenidos en esta investigación sugieren que, en vid, las dosis evaluadas fueron en general favorables para inducir una respuesta antioxidante. En conjunto, los resultados sugieren que la aplicación exógena de AS en dosis bajas a intermedias puede fortalecer los sistemas de defensa antioxidante en la vid, incluso en ausencia de condiciones de estrés evidentes, contribuyendo así a una mayor calidad fisiológica y nutraceutica de las bayas.

CONCLUSIONES

La aplicación foliar de ácido salicílico en vid promovió la acumulación de compuestos bioactivos, como vitamina C, fenoles y flavonoides, especialmente con dosis de 0.5 y 1.0 mM se mejora el perfil antioxidante de las bayas. Aunque hay una disminución en el contenido de proteínas, el incremento significativo en la actividad de las enzimas antioxidantes catalasa y peroxidasa sugiere un fortalecimiento del sistema de defensa oxidativo de la planta, aun en ausencia de estrés ambiental. En conjunto, estos resultados evidencian el potencial del AS como un elicitador efectivo para mejorar la calidad nutraceutica de la vid, con implicaciones relevantes para la producción de uvas con mayor valor funcional.

BIBLIOGRAFÍA

- Ainsworth E. A. and K. M. Gillespie (2007) Estimation of total phenolic content and other oxidation substrates in plant tissues using Folin-Ciocalteu reagent. *Nature Protocols* 2:875-877, <https://doi.org/10.1038/nprot.2007.102>
- Alam A. U., H. Ullah, S. K. Himanshu, P. Praseartkul, R. Tisarum, S. Cham and A. Datta (2023) Seed priming and foliar application of salicylic acid is equally beneficial in mitigating drought stress in cucumber. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 23:6299-6316, <https://doi.org/10.1007/s42729-023-01485-z>
- Ali B (2021) Salicylic acid: an efficient elicitor of secondary metabolite production in plants. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*

- 31:101884, <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101884>
- Ali A., K. Kant, N. Kaur, S. Gupta, P. Jindal, S. S. Gill and M. Naeem (2024) Salicylic acid: homeostasis, signalling and phytohormone crosstalk in plants under environmental challenges. *South African Journal of Botany* 169:314-335, <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2024.04.012>
- Almutairi K. F., A. R. Alharbi, M. E. Abdelaziz and W. F. A. Mosa (2024) Salicylic acid and chitosan effects on fruit quality when applied to fresh strawberries or during different periods of cold storage. *BioResources* 19:6057-6075, <https://doi.org/10.15376/biores.19.3.6057-6075>
- Bradford M. M. (1976) A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry* 72:248-254, [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Brand-Williams W., M. E. Cuvelier and C. Berset (1995) Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 28:25-30, [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Canakci S. (2011) Effects of salicylic acid on growth, biochemical constituents in pepper (*Capsicum annum* L.) seedlings. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 14:300-304, <https://doi.org/10.3923/pjbs.2011.300.304>
- Champa W. A. H., M. I. S. Gill, B. V. C. Mahajan and N. K. Arora (2015) Preharvest salicylic acid treatments to improve quality and postharvest life of table grapes (*Vitis vinifera* L.) cv. Flame Seedless. *Journal of Food Science and Technology* 52:3607-3616, <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1422-7>
- Chen C., C. Sun, Y. Wang, H. Gong, A. Zhang, Y. Yang, ... and X. Li (2023) The preharvest and postharvest application of salicylic acid and its derivatives on storage of fruit and vegetables: a review. *Scientia Horticulturae* 312:111858, <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2023.111858>
- Elavarthi S. and B. Martin (2010) Spectrophotometric assays for antioxidant enzymes in plants. In: Plant Stress Tolerance: Methods and Protocols. Vol. 639. R. Sunkar (ed.). Humana Press. Totowa, New Jersey, USA. pp:273-280, https://doi.org/10.1007/978-1-60761-702-0_16
- Erazo-Lara A. E., M. E. García-Pastor, P. A. Padilla-González, M. Serrano and D. Valero (2024) Yellow pitahaya (*Selenicereus megalanthus* Haw.) growth and ripening as affected by preharvest elicitors (salicylic acid, methyl salicylate, methyl jasmonate, and oxalic acid): enhancement of yield, and quality at harvest. *Horticulturae* 10:493, <https://doi.org/10.3390/horticulturae10050493>
- Gaddam N. R., T. M. Devi, J. S. Rupali, N. S. S. Darapureddy and G. R. Reddy (2024) Exploiting induced plant resistance for sustainable pest management: mechanisms, elicitors, and applications: a review. *Journal of Experimental Agriculture International* 46:586-599, <https://doi.org/10.9734/jeai/2024/v46i92857>
- García-Pastor M. E., P. J. Zapata, S. Castillo, D. Martínez-Romero, D. Valero, M. Serrano and F. Guillén (2020) Preharvest salicylate treatments enhance antioxidant compounds, color and crop yield in low pigmented-table grape cultivars and preserve quality traits during storage. *Antioxidants* 9:832, <https://doi.org/10.3390/antiox9090832>
- Ghanem C., J. Bouajila, Z. Rizk, M. E. Beyrouthy, C. Sadaka, E. S. Güler, ... and Y. El Rayess (2023) Comparative analysis of pre-fermentation treatments on phenolic compounds and bioactivity in *Vitis vinifera* var. Syrah and var. Cabernet Sauvignon grapes. *Nutrire* 48:25, <https://doi.org/10.1186/s41110-023-00207-w>
- Gjureci B., M. Todorovska, J. P. Stanoeva, O. Tusevski and S. G. Simic (2025) Elicitation of *Hypericum perforatum* L. hairy root cultures with salicylic acid and jasmonic acid enhances the production of phenolic compounds and naphthodianthrones with biological activities. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 160:61, <https://doi.org/10.1007/s11240-025-03005-6>
- Gupta M., S. Kumar, V. Dwivedi, D. G. Gupta, D. Ali, S. Alarifi, ... and V. K. Yadav (2024) Selective synergistic effects of oxalic acid and salicylic acid in enhancing amino acid levels and alleviating lead stress in *Zea mays* L. *Plant Signaling & Behavior* 19:2400451, <https://doi.org/10.1080/15592324.2024.2400451>
- Hasanvand Z., A. Iranbakhsh, S. Saadatmand and Z. O. Ardebili (2025) Exploring effectiveness of salicylic acid and methyl jasmonate elicitors in influencing growth performance, epigenetic regulation, gene transcription, and secondary metabolism in pepper (*Capsicum annum*): an *in vitro* biological assessment. *Protoplasma* 263:105-117, <https://doi.org/10.1007/s00709-025-02092-8>
- Hernández-Esquivel A. A., E. Castro-Mercado and E. García-Pineda (2021) Comparative effects of *Azospirillum brasilense* Sp245 and *Pseudomonas aeruginosa* PAO1 lipopolysaccharides on wheat seedling growth and peroxidase activity. *Journal of Plant Growth Regulation* 40:1903-1911, <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10241-x>
- Hernández-Pérez T., M. R. Gómez-García, M. E. Valverde and O. Paredes-López (2020) *Capsicum annum* (hot pepper): an ancient Latin-American crop with outstanding bioactive compounds and nutraceutical potential. A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 19:2972-2993, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12634>
- Karimi M. R., M. Sabokdast, H. K. Beheshti, A. R. Abbasi and M. R. Bihamta (2025) Seed priming with salicylic acid enhances salt stress tolerance by boosting antioxidant defense in *Phaseolus vulgaris* genotypes. *BMC Plant Botany* 25:489, <https://doi.org/10.1186/s12870-025-06376-2>
- Kaur H., S. J. Hussain, G. Kaur, P. Poor, S. Alamri, M. H. Siddiqui and M. I. R. Khan (2022) Salicylic acid improves nitrogen fixation, growth, yield and antioxidant defense mechanisms in chickpea genotypes under salt stress. *Journal of Plant Growth Regulation* 41:2034-2047, <https://doi.org/10.1007/s00344-022-10592-7>
- Kaur K., M. Gupta, H. S. Rattanpal, A. Kaur, S. Anand and M. Singh (2025) Influence of exogenously applied growth regulators on mitigating fruit splitting and enhancing yield and quality in 'Daisy' mandarin in an arid irrigated region of the Punjab. *Applied Fruit Science* 67:94, <https://doi.org/10.1007/s10341-025-01323-9>
- Li A., X. Sun and L. Liu (2022) Action of salicylic acid on plant growth. *Frontiers in Plant Science* 13:878076, <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.878076>
- Medrano M. J., M. G. López C., E. N. Rivas M., W. A. Narváez O., A. Benavides M. and P. Martínez L. (2021) Enhancement to salt stress tolerance in strawberry plants by iodine products application. *Agronomy* 11:602, <https://doi.org/10.3390/agronomy11030602>
- Mishra S., R. Roychowdhury, S. Ray, A. Hada, A. Kumar, U. Sarker, ... and R. Das (2024) Salicylic acid (SA)-mediated plant immunity against biotic stresses: an insight on molecular components and signaling mechanism. *Plant Stress* 11:100427, <https://doi.org/10.1016/j.stress.2024.100427>
- Morales G. P. E. y E. R. González H. (2018) Efecto de las aplicaciones de ácido salicílico en la producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo Invernadero en dos localidades del altiplano del Departamento de San Marcos, Guatemala. Programa Consorcios Regionales de Investigación Agropecuaria. Ciudad de Guatemala, Guatemala. 79 p.
- Nazari F., M. Maleki and M. Rasouli (2022) Effect of salicylic acid on changes in superoxide dismutase enzyme activity, protein, proline, and some photosynthetic pigments in grape (*Vitis vinifera* L.) Bidane Ghermez and Bidane Sefid cultivars at two growth stages. *Erwerbs-Obstbau* 64:37-45, <https://doi.org/10.1007/s10341-022-00683-w>
- Padayatty S. J. and M. Levine (2001) New insights into the physiology and pharmacology of vitamin C. *Canadian Medical Association Journal* 164:353-355.
- Phong L. V., D. N. Loi, J. Shin, L. K. Mi and J. Park (2024) Optimization of salicylic acid concentrations for increasing antioxidant enzymes and bioactive compounds of *Agastache rugosa* in a plant factory. *PLoS ONE* 19:e0306340, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0306340>
- Ramos-Sotelo H. and M. G. Figueroa-Pérez (2023) Use of salicylic acid during cultivation of plants as a strategy to improve its metabolite profile and beneficial health effects. *Italian Journal of Food Science* 35:79-90, <https://doi.org/10.15586/ijfs.v35i1.2332>
- Rani M. and R. K. Murali-Baskaran (2025) Synthetic elicitors-induced defense in crops against herbivory: a review. *Plant Science* 352:112387, <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2025.112387>

- Ríos-Lozano A., H. Ramos-Sotelo, C. Reyes-Moreno and M. G. Figueroa-Pérez (2023) Enhancement of nutraceutical properties of goldenberry (*Physalis peruviana* L.) leaves through foliar application of salicylic acid during cultivation. *Food Science and Technology Research* 29:499-507, <https://doi.org/10.3136/fstr.fstr-d-23-00106>
- Sakaldaş M., F. Şen, M. Gundogdu and E. Aglar (2024) Alterations in quality characteristics and bioactive compounds of blackberry fruits subjected to postharvest salicylic acid treatment during cold storage. *Food Science and Nutrition* 12:9123-9135, <https://doi.org/10.1002/fsn3.4490>
- Saleem M., Q. Fariduddin and C. D. M. Castroverde (2021) Salicylic acid: a key regulator of redox signalling and plant immunity. *Plant Physiology and Biochemistry* 168:381-397, <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.10.011>
- Salinas P., S. Velozo and A. Herrera-Vásquez (2025) Salicylic acid accumulation: emerging molecular players and novel perspectives on plant development and nutrition. *Journal of Experimental Botany* 76:1950-1969, <https://doi.org/10.1093/jxb/erae309>
- SAS Institute (2011) SAS/STAT® 9.3 User's Guide. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina, USA. 8621 p.
- Shahab M., S. R. Roberto, M. Adnan, S. Fahad, R. Koyama, M. H. Saleem, ... and T. Nawaz (2023) Phenolic compounds as a quality determinant of grapes: a critical review. *Journal of Plant Growth Regulation* 42:5325-5331, <https://doi.org/10.1007/s00344-023-10953-w>
- Shraim A. M., T. A. Ahmed, M. M. Rahman and Y. M. Hijji (2021) Determination of total flavonoid content by aluminum chloride assay: a critical evaluation. *LWT* 150:111932, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111932>
- Singh S. (2023) Salicylic acid elicitation improves antioxidant activity of spinach leaves by increasing phenolic content and enzyme levels. *Food Chemistry Advances* 2:100156, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2022.100156>
- Song X., J. Chen, C. Xu, X. Cai, W. Song, A. Chang, ... and C. Luo (2025) Physiological and molecular mechanisms of exogenous salicylic acid in enhancing salt tolerance in tobacco seedlings by regulating antioxidant defense system and gene expression. *Frontiers in Plant Science* 16:1545865, <https://doi.org/10.3389/fpls.2025.1545865>
- Walteros I. Y., D. C. Molano, P. J. Almanza-Merchán, M. Camacho y H. E. Balaguera-López (2012) Efecto de la poda sobre la producción y calidad de frutos de *Vitis vinifera* L. 'Cabernet Sauvignon' en Sutamarchán (Boyacá, Colombia). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 6:19-30.