


Inhibición de la producción de etileno por ácido salicílico en frutos de café en cuatro estados de maduración

Aristóteles Ortiz * | Claudia P. Valencia Vera ** | Marta Bibiana Escobar Pulgarín ** | Tatiana M. Saldaña-Villota ***

* Investigador Científico I. Fisiología Vegetal, Centro Nacional de Investigaciones de Café–Cenicafé, Manizales, Colombia 
Correspondencia: aristoteles.ortiz@cafedecolombia.com

** Auxiliar de Investigación. Fisiología Vegetal, Cenicafé 

*** Investigador Científico II. Fisiología Vegetal, Cenicafé 

En Colombia, la recolección de café es el resultado de una maduración heterogénea de los frutos durante el año. Para reducir el número de recolecciones, resulta necesario intervenir el desarrollo natural de los frutos empleando retardantes de maduración, como inhibidores de etileno aplicados en la etapa de pre-cosecha. El objetivo del presente estudio fue evaluar la inhibición de etileno en frutos de café mediante la aplicación del ácido salicílico (AS). El experimento se realizó con frutos en cuatro estados de maduración verdes, pintones, maduros y sobremaduros, recolectados de dos lotes de Variedad Castillo® de 36 meses de edad, ubicados en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafé. Se utilizó AS 1 mM como tratamiento, y un testigo absoluto sin inhibidor. En los frutos del testigo se observó un aumento en la emisión de etileno desde el estado verde hasta el maduro, con una variación en la tasa de emisión de etileno de 1,1 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ a 2,2 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$. Con la aplicación del AS a 1,0 mM se evidenció una reducción en la producción de etileno, con una disminución promedio entre el 10% y el 15%. Los frutos verdes mostraron la menor inhibición (10%), seguidos por los sobremaduros (11%), los pintones (12%) y finalmente los maduros (15%), siendo estos últimos los más afectados por el tratamiento. Estos resultados sugieren que, aunque el AS actúa como modulador del etileno, presenta una capacidad limitada para inhibir la producción de etileno en frutos de café.

Palabras clave: Producción de etileno, ácido salicílico, maduración de frutos climatéricos, cromatografía de gases, café, Cenicafé, Colombia.

Inhibition of ethylene production by salicylic acid in coffee fruits at four ripening stages

In Colombia, coffee harvesting results from the asynchronous fruit ripening throughout the year. To reduce the number of harvesting rounds, it is necessary to modify the natural ripening process by using ripening retardants, such as ethylene inhibitors applied during the pre-harvest stage. The objective of this study was to evaluate ethylene inhibition in coffee fruits through the application of salicylic acid (SA). The experiment was conducted using fruits at four ripening stages: green, turning, ripe, and overripe, collected from two 36-month-old plots of Castillo® variety located at the Naranjal Experimental Station–Cenicafé. Salicylic acid at 1 mM was used as treatment, along with an untreated control without inhibitor application. In control fruits, ethylene emission increased from the green to the ripe stage, with emission rates ranging from 1.1 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$ to 2.2 $\mu\text{L kg}^{-1} \text{h}^{-1}$. Application of 1 mM SA reduced ethylene production, with an average inhibition between 10% and 15%. Green fruits showed the lowest inhibition (10%), followed by overripe (11%), turning (12%), and ripe fruits (15%), the latter being the most affected by the treatment. These results suggest that, although SA acts as an ethylene modulator, its capacity to inhibit ethylene production in coffee fruits is limited.

Keywords: Ethylene production, salicylic acid, coffee, climacteric fruit ripening, gas chromatography, coffee, Cenicafé, Colombia.



Recibido: 07/7/2025

Aceptado: 20/4/2026

Publicado: 30/6/2026

Editado por:

Carmenza Góngora
Cenicafé

Citación (APA 7.ª ed.):

Ortiz, A., Valencia, C. P., Escobar, M. B., & Saldaña-Villota, T. M. (2026). Inhibición de la producción de etileno por ácido salicílico en frutos de café en cuatro estados de maduración. *Revista Cenicafé*, 77(1), e77104. <https://doi.org/10.38141/10778/77104>



Introducción

Colombia exporta exclusivamente la especie *Coffea arabica* L. A nivel mundial, también se comercializa la especie *C. canephora* Pierre ex Froehner, que representa el 31,5% de la producción global, mientras que *C. arabica* constituye el 68,5% restante (ICO., 2024). El valor comercial del café depende en gran medida de la calidad de la bebida, que está influenciada principalmente por el estado de maduración del fruto en el momento de la cosecha (DaMatta, 2007; Pereira et al., 2005).

La calidad de la bebida puede verse afectada negativamente cuando hay un 2,5% de frutos inmaduros, lo que genera sabores defectuosos como la denominada “taza a fermento”, también, los frutos secos producen una taza con características de “dureza” (Pezzopane et al., 2012; Puerta, 2000). Sin embargo, los cafés preparados con frutos en estados pintón y sobremaduro suelen presentar una baja calidad sensorial (Marín-López et al., 2003).

En la zona cafetera colombiana, la diversidad climática provoca múltiples eventos de floración a lo largo del año (Camayo-Vélez et al., 2003), y como resultado, los cafetos siempre tienen frutos en diferentes estados de maduración, lo que hace necesaria la recolección selectiva en varias etapas durante los períodos de cosecha. Para abordar esta situación, se han desarrollado distintos métodos de recolección, tanto manuales como mecanizados (Sanz-Uribe & Duque, 2020).

Entre las técnicas de recolección más destacadas se encuentra la retención de pases, que consiste en mantener los frutos maduros en los árboles por más tiempo, para aumentar su disponibilidad al momento de la recolección (Sanz-Uribe et al., 2018). En todos los casos mencionados, la maduración de los frutos ocurre de forma natural.

El fruto del cafeto es una drupa de forma ovalada o elipsoidal ligeramente aplanada, que normalmente contiene dos semillas plano-convexas separadas por el tabique (surco) interno del ovario (Flórez et al., 2013). Durante su desarrollo, el fruto es inicialmente verde, luego adquiere una tonalidad amarilla y, finalmente, madura a un color rojo, aunque algunas variedades presentan una maduración de color amarillo (Arcila-Pulgarín, 2007).

El tiempo que transcurre desde la floración hasta la maduración del grano varía según la especie; en *C. arabica*, toma de seis a ocho meses, en *C. canephora* de nueve a 11 meses y en *C. liberica* de 11 a 14 meses (Porte Morales, Cielo Guadalupe, 2021). En promedio, el desarrollo del fruto dura entre 220 y 240 días, dependiendo de la región del país (Arcila-Pulgarín, 2007). Este proceso tiene un impacto directo en la calidad del grano y así, en las características sensoriales y de sabor del café que llega al consumidor (Marín-López et al., 2003).

La maduración de los frutos es un proceso complejo y esencial para la producción agrícola (Martínez-González et al., 2017) e incluye cambios fisiológicos y bioquímicos, que están bajo control genético y hormonal, desencadenando múltiples cambios celulares, así como un aumento de tamaño en los frutos (Brumos, 2021). Durante la etapa de maduración se requiere de la síntesis de proteínas, pigmentos y componentes de sabor, entre otros, procesos que demandan energía proveniente del proceso de respiración (Wills et al., 1998; Wills & Warton, 2004).

La síntesis de etileno, junto con la maduración que ocurre en etapas tempranas del proceso, permiten clasificar los frutos en dos categorías: climatéricos o no climatéricos (Kuntz et al., 1998; Seymour et al., 1993). Estas categorías son definidas dependiendo de la crisis climatérica, que se define por la producción de etileno después de la madurez fisiológica del fruto. Según Herrero & Guardia (1992), la maduración climatérica es un período de evolución en ciertos frutos en el que se producen cambios bioquímicos, comenzando con la producción autocatalítica de etileno. Esto marca el paso del crecimiento hacia la senescencia, acompañado por un aumento en la respiración, lo que conduce a la maduración.

Por otro lado, Wills et al. (1998) mencionan que los frutos no climatéricos muestran un descenso gradual en su respiración, mientras que los frutos climatéricos presentan un pico respiratorio durante la maduración. Según Saltveit (1993) y Villavicencio et al. (2001), los frutos no climatéricos no experimentan una maduración extensa después de ser cosechados, y su patrón de respiración cambia lentamente en respuesta a este proceso.

El término “climatérico” se utilizaba inicialmente para describir solo frutos con un incremento en la respiración (CO₂). Sin embargo, se acepta que tanto la producción de etileno como la de CO₂ son criterios para identificar estos frutos. Además, los frutos climatéricos deben responder a la aplicación exógena de etileno durante la maduración, sintetizándolo de manera autocatalítica (Martínez-González et al., 2017).

En el caso de la cosecha, los frutos climatéricos suelen recolectarse antes de alcanzar la madurez, mientras que los frutos no climatéricos continúan madurando en la planta y contienen una menor proporción de almidón (Herrero & Guardia, 1992). En el caso del café, el proceso de maduración de los frutos se ajusta a un comportamiento climatérico (Pereira et al., 2005). El aumento en la respiración, asociado con la producción de etileno y la sincronización de la maduración en respuesta a aplicaciones exógenas de etileno (Ethephon o Ethrel) refuerzan este comportamiento, existen mecanismos que pueden regular este comportamiento durante la precosecha o la poscosecha, interviniendo la acción del etileno con promotores o inhibidores químicos (Balaguera-López et al., 2015; Burns, 2008; Sággio et al., 2013; Winston et al., 1992).

Promotores químicos como el ácido 2-cloroetilfosfónico, ingrediente activo de productos comerciales se usan para acelerar y uniformizar la maduración en muchos cultivos, incluyendo algodón, café, caña de azúcar, manzana y tomate (Winston et al., 1992). En Colombia, la madurez organoléptica del fruto de café cereza se anticipó en cuatro semanas con el uso de este ingrediente activo, pero la acidez y el cuerpo de la bebida se afectó negativamente (Arcila-Pulgarín, 2007; Camayo-Vélez et al., 2003).

El aminoetoxi-vinil-glicina (AVG) o ácido aminooxiacético (AOA), como inhibidores químicos del etileno, actúan retardando el avance natural de la maduración en frutos, hortalizas y flores (Arora, 2008; Balaguera-López et al., 2015). El 1-metilciclopropeno (1-MCP), el 2,5-norbornadieno (NBD) y el tiosulfato de plata (STS) funcionan inhibiendo la biosíntesis del etileno (Serek et al., 2006). Por su parte, el ácido salicílico actúa de las dos formas (Srivastava & Dwivedi, 2000). Otras moléculas funcionan oxidando el etileno por remoción química, siendo el permanganato de potasio ($KMnO_4$), el producto más usado (Wills & Warton, 2004). También existen productos que combinan el ácido acético e hidróxido de potasio que disminuyeron la caída de frutos en la cosecha mecanizada de café de la variedad Catuaí Vermelho (Dias et al., 2014).

Hormona de la maduración–Etileno

El etileno (C_2H_4) desempeña un papel importante en el proceso de maduración de frutos climatéricos. Parámetros como el reblandecimiento de la pulpa (Haji et al., 2002; Hiwasa et al., 2003), el cambio de color y la producción de volátiles dependen en gran medida de la cantidad producida de C_2H_4 (Alexander & Grierson, 2002; Flores et al., 2002). El etileno es efectivo en concentraciones desde una parte por millón (ppm, $\mu L L^{-1}$) hasta una parte por billón (ppb, $nL L^{-1}$) (Saltveit, 1993) que además de

participar en la maduración y senescencia de los frutos, regula los procesos de germinación en semillas, desarrollo de pelos radicales, nodulación en raíces, iniciación floral, la senescencia foliar y floral (Abeles et al., 1992; Kesari et al., 2007).

El etileno tiene la capacidad de aumentar la actividad metabólica de los frutos, acelerando tanto su maduración como su senescencia. Incluso en concentraciones bajas, el etileno tiene efectos significativos sobre los frutos climatéricos, elevando su tasa respiratoria y promoviendo la degradación de la clorofila (Haji et al., 2002; Hiwasa et al., 2003), en algunos casos, es necesario aplicar etileno de forma exógena para homogeneizar el color, acelerar la maduración o mejorar la presentación del producto. Es importante destacar que el etileno es un gas producido de manera natural por los frutos durante su proceso de maduración (Villavicencio et al., 2001). No obstante, este proceso puede ser modificado mediante la intervención en los mecanismos de acción del etileno, ya sea en la etapa pre-cosecha o poscosecha. En general, el etileno estimula el cambio de color de la corteza, produce ablandamiento y en algunos casos, mejora el sabor de los frutos.

Ácido salicílico como inhibidor del etileno

El ácido salicílico es un compuesto fenólico que se encuentra de manera natural en las plantas y que juega un papel clave en la defensa frente a patógenos y estrés. Su rol en la agricultura ha sido estudiado por su capacidad para inducir respuesta frente a defensa de la planta, pero también ha demostrado ser un regulador en procesos fisiológicos como la maduración de los frutos (Hayat et al., 2010). El ácido salicílico puede inhibir la producción de etileno al interferir con las enzimas clave involucradas en la biosíntesis del etileno, como la ACC sintetasa y oxidasa (Figura 1) (Pech et al., 2012).

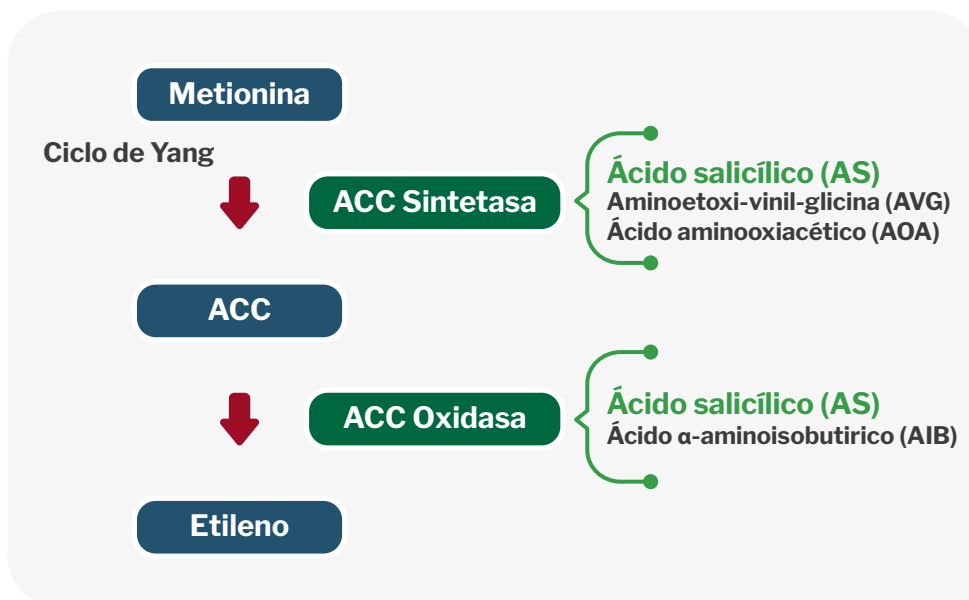


Figura 1. Representación esquemática de la vía de síntesis de etileno. El color azul resalta los compuestos intermedios de la reacción catabólica. El color verde representa las enzimas involucradas en cada paso. Los inhibidores conocidos de esta vía están agrupados en los corchetes.

Algunos estudios han demostrado que el ácido salicílico puede retrasar la maduración de los frutos al inhibir la síntesis de etileno, lo que lleva a una desaceleración de los procesos de senescencia y maduración (Wang et al., 2011). En cultivos como tomate y pepino, se ha encontrado que la aplicación de ácido salicílico reduce la producción de etileno y retrasa la maduración, lo que permite una mayor durabilidad y calidad de los frutos en poscosecha (Cui et al., 2020).

Este efecto de inhibición de etileno podría ser aprovechado en el cultivo de café, donde el control de la maduración es esencial para garantizar una cosecha de calidad.

Comportamiento del ácido salicílico en diferentes estados de maduración de fruto de café

El proceso de maduración del café pasa por varias etapas, desde el inicio del cambio de color en los frutos verdes hasta la completa maduración en la que los frutos adquieren su color rojo característico. En cada una de estas etapas, la producción de etileno varía, lo que afecta directamente la velocidad y la sincronización de la maduración (Alexander & Grierson, 2002; Gu et al., 2000).

Investigaciones previas sugieren que la aplicación de ácido salicílico en los frutos de café en diferentes etapas de madurez puede tener efectos variados. En las primeras etapas de madurez, cuando la producción de etileno es relativamente baja, el ácido salicílico podría ayudar a mantener el fruto en una fase de maduración más controlada (Unigarro et al., 2021). Sin embargo, en etapas más avanzadas de madurez, donde la producción de etileno ya ha alcanzado su pico, el ácido salicílico podría ser más eficaz al retrasar el proceso de maduración, lo que permitiría una cosecha más tardía sin comprometer la calidad del grano.

El ácido salicílico también podría influir en la acumulación de compuestos clave para la calidad del grano de café, como los ácidos fenólicos y los compuestos volátiles que contribuyen al perfil sensorial del café. Se ha observado que el ácido salicílico puede modificar la composición de los compuestos volátiles en otros frutos, lo que sugiere que

podría tener un efecto similar en el café (Shafiee et al., 2010; Wang, et al., 2011).

La sincronización de la maduración y la cosecha de los frutos de café sigue siendo un desafío en la caficultura. En este contexto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto del ácido salicílico en la inhibición de la producción de etileno sobre frutos de café en diferentes estados de maduración.

Materiales y métodos

Localización

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental Naranjal de Cenicafe, ubicada en el municipio de Chinchiná, Caldas, Colombia (4°58' N–75°39' O), a una altitud de 1.381 m. Durante el período de evaluación, la precipitación promedio anual fue de 2.854 mm, temperatura media anual de 21,4°C y humedad relativa promedio de 82,6%.

Metodología

Se seleccionaron los lotes Supía y Manzanares de la Estación Experimental Naranjal, sembrados con la Variedad Castillo®, con una edad de 36 meses. En cada lote se marcaron aleatoriamente 40 plantas, de las cuales 20 recibieron el tratamiento inhibitor de etileno con ácido salicílico (AS), y las otras 20 se utilizaron como testigo.

El tratamiento de inhibición de etileno consistió en la aplicación de una solución de ácido salicílico (1 mM), disuelto en etanol al 0,01%, a la cual se agregó el coadyuvante agrícola Silwet® L-77 AG (Adama Agricultural Solutions, Raleigh, NC, USA) en una concentración de 0,5 mL L⁻¹. El tratamiento testigo consistió en una solución de etanol al 0,01% con la misma dosis del coadyuvante agrícola, sin la inclusión de ácido salicílico.

El tratamiento y el testigo fueron evaluados durante la cosecha principal y la cosecha de mitaca del cultivo de la región central cafetera; estos momentos de la aplicación se describen en la **Tabla 1**. Se aplicaron entre 150–250 mL de cada tratamiento sobre cada planta. Los tratamientos

Tabla 1. Frecuencia de aplicación del tratamiento inhibitor de etileno con ácido salicílico y el testigo.

Lote	Aplicación	Fecha de aplicación (Cosecha principal)	Fecha de aplicación (Cosecha mitaca)
Supía	1	28 agosto de 2023	27 mayo de 2024
	2	25 septiembre 2023	24 junio de 2024
Manzanares	1	11 septiembre de 2023	10 de junio de 2024
	2	9 octubre de 2023	8 de julio de 2024

se aplicaron sobre los frutos con un equipo de aspersión manual operado a 200 kpa de presión, apuntando la boquilla de la bomba desde la parte ventral de la rama hacia los frutos, a una distancia de 10 cm.

Toma de muestras

La muestra estaba compuesta de 120 frutos por cada estado de maduración. Las muestras se tomaron antes de la aplicación de los tratamientos (tiempo cero) y en cinco tiempos después de la aplicación del producto (una hora, un día, 4 días, 8 días y 12 días). Posteriormente, se llevaron al Laboratorio de Fisiología Vegetal para ser analizados.

Las muestras recolectadas en el tiempo cero fueron utilizadas para la determinación del comportamiento en la producción de etileno en los diferentes estados de maduración, y con las muestras tomadas en los cinco tiempos después de la aplicación de los tratamientos, se determinó la cantidad de etileno inhibido por el tratamiento AS.

VARIABLES A EVALUAR

Las muestras fueron pesadas y empacadas en frascos de vidrio para la determinación de la concentración de etileno (ppm). Las muestras permanecieron selladas durante 8 h, y luego se extrajo 1,0 mL del aire contenido en el espacio de cabeza del frasco (Figura 2a). Posteriormente, esta muestra fue inyectada directamente en el puerto de inyección del

cromatógrafo de gases (Hewlett Packard 6890) acoplado al detector de masas (Hewlett Packard 5973) (Figura 2b).

Las condiciones cromatográficas fueron columna Plot referencia 1006 de 30 m de longitud, 0,32 mm de diámetro y 1 μm de ancho de película. El horno se programó a 150°C constante durante 20 min. Adicionalmente, se preparó una curva de calibración de etileno, de 5,0 $\mu\text{L L}^{-1}$ a 100 $\mu\text{L L}^{-1}$, para calcular la concentración de etileno en cada muestra utilizando la regresión lineal de la curva de calibración. Una vez calculada esta cantidad en $\mu\text{L L}^{-1}$ del gas producido, se calculó la velocidad de producción de etileno (Vel) en unidades de $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, utilizando el tiempo de producción de etileno, la masa de los frutos y el volumen del espacio de cabeza (HS), según la Ecuación <1>.

$$Vel_{\left(\frac{\mu\text{L}}{\text{kg}\cdot\text{h}}\right)} = \frac{\text{Etileno ppm} \left(\frac{\mu\text{L}}{\text{L}}\right) * vol_HS(L)}{\text{tiempo (h)} * \text{peso frutos (kg)}} \quad <1>$$

Vel: velocidad de producción de etileno; **ppm:** parte por millón; **vol_HS:** volumen del espacio de cabeza.

Análisis de la información

Para el análisis, cada estado de maduración fue considerado como una población, por lo tanto, el promedio, con su respectivo intervalo de confianza, con un coeficiente del 95% de la variable de respuesta (concentración de etileno) se estimó para cada uno de ellos.

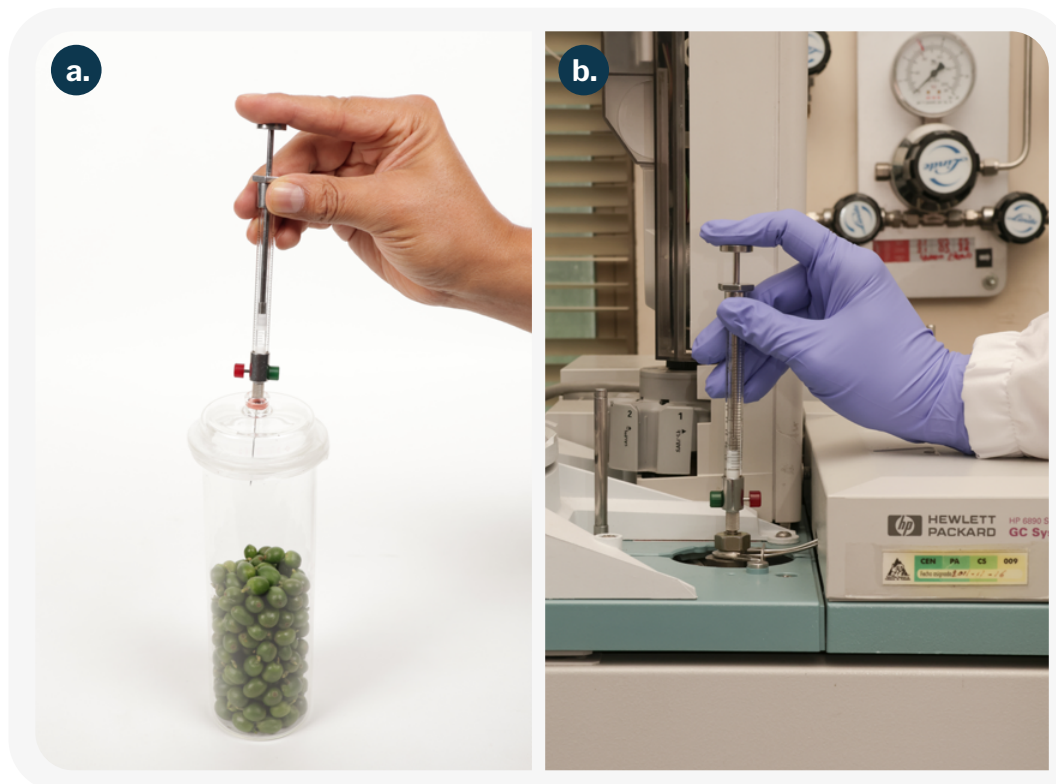


Figura 2. Extracción de muestra de etileno mediante la técnica Espacio de Cabeza Estático (a). Inyección de la muestra en el puerto de inyección del cromatógrafo de gases masas (b).

Resultados y discusión

La **Figura 3** muestra cómo varía la producción de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) en frutos de café en el tiempo cero (antes de la aplicación de los tratamientos), en cada uno de los cuatro estados de maduración estudiados: verde, pintón, maduro y sobremaduro. Los valores promedio observados fueron: verde: $1,1 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, pintón: $1,5 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, maduro: $2,2 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ y sobremaduro: $1,5 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$; esta tendencia coincide con los datos reportados por Pereira et al. (2005) y Ságio et al., (2013), donde los frutos de café son constitutivamente climatéricos. Desde el punto de vista práctico, donde los frutos verdes presentan la producción más baja de etileno ($1,1 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), no permitiría madurar los frutos de café debido a que la síntesis de etileno es mínima en estados inmaduros (Ochoa-Ascencio et al., 2009; Sonawane et al., 2023).

En frutos pintones, la producción de etileno es mayor en un 36%, respecto a los frutos verdes, reflejando una activación gradual de las enzimas ACC sintetasa y ACC oxidasa durante la síntesis de pigmentos y la degradación de clorofila (Mariño-González et al., 2019; Martínez-González et al., 2017). Este comportamiento señala el inicio del proceso de maduración, sin llegar a los picos típicos de emisión de etileno en frutos climatéricos.

La mayor producción de etileno se observó en frutos maduros, que es mayor en un 47% respecto a los frutos pintones. Este pico de emisión de etileno, coincide con el momento en que el fruto adquiere su color rojo intenso y se activan plenamente las rutas de biosíntesis del etileno (Martínez-González et al., 2017; Unigarro et al., 2021).

Aunque en frutos climatéricos la producción de etileno puede superar los $100 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ en estados maduros, en café se mantiene en rangos menores, permitiendo confirmar su clasificación como fruto constitutivamente climatérico.

En frutos sobremaduros, la producción de etileno es menor en un 33% respecto a frutos maduros. Esta reducción en la emisión de etileno, puede explicarse por la disminución del sustrato (ACC) disponible, la inactivación de las enzimas biosintéticas o la inducción de rutas de senescencia que desvían recursos metabólicos (Asghari & Aghdam, 2010). Además, la acumulación de especies reactivas de oxígeno en frutos sobremaduros podría inhibir indirectamente la síntesis de etileno (Kader et al., 2002).

Conocer este comportamiento de producción de etileno, permite diseñar tratamientos que regulen la producción de etileno y extienda el tiempo de conservación del fruto en el árbol (Unigarro et al., 2021).

La inhibición de la producción de etileno una hora después de la aplicación de los tratamientos se presenta en la **Figura 4**. Las barras rojas representan el testigo (emisión de etileno en frutos sin aplicación del inhibidor), mientras que las barras verdes corresponden a la producción de etileno tras la aplicación de ácido salicílico 1 mM como inhibidor.

En frutos verdes, la tasa de producción fue de $1,06 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ en el testigo y de $0,95 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ con el inhibidor. Esta reducción equivale a una inhibición del 10% a favor del tratamiento; sin embargo, la diferencia no fue estadísticamente significativa. En frutos pintones, la producción fue de $1,56 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ en el testigo y de $1,37 \mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ con el inhibidor. Esta disminución,

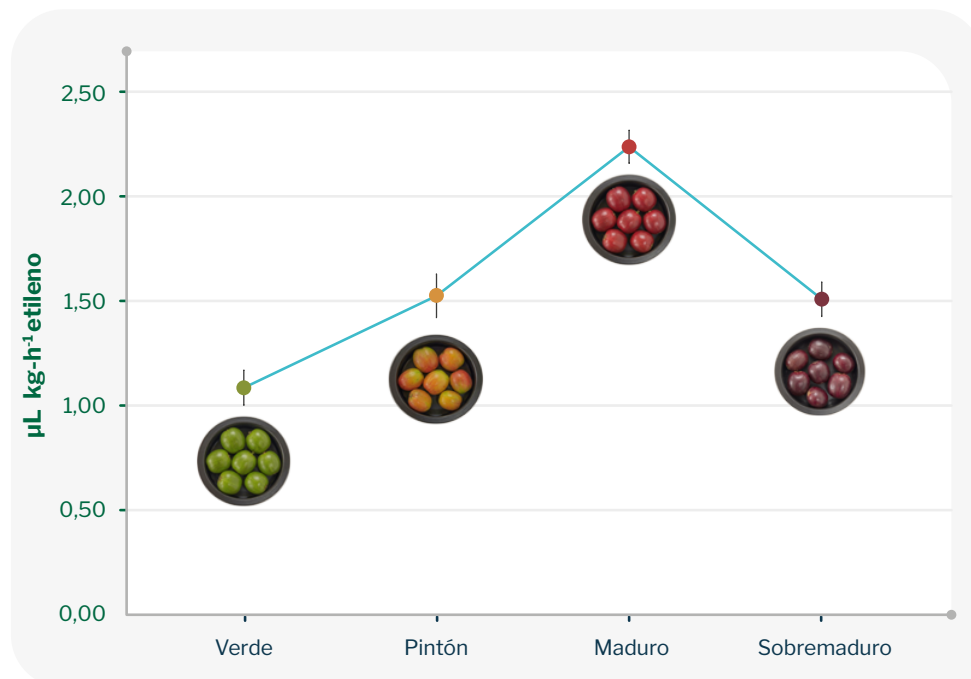


Figura 3. Comportamiento de la producción de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) en frutos de café Variedad Castillo® sin la aplicación de los tratamientos de ácido salicílico.

estadísticamente significativa, corresponde a una inhibición del 12%. En frutos maduros, los valores fueron de 2,39 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ en el testigo y 2,08 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ con inhibidor, lo que representa una inhibición significativa del 13%.

En frutos sobremaduros, la producción alcanzó 1,37 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ en el testigo y 1,22 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ con el inhibidor. Esta reducción corresponde a un 11% de inhibición a favor del tratamiento, aunque sin diferencias estadísticas significativas.

En frutos verdes, la producción de etileno es naturalmente baja, de acuerdo con lo descrito para frutos constitutivamente climatéricos en etapa inmadura (Ochoa-Ascencio et al., 2009; Unigarro et al., 2021). La aplicación de ácido salicílico tiene un efecto modesto en este estado de maduración, que confirma la limitada actividad de las enzimas ACC sintetasa y ACC oxidasa en esta fase (Martínez-González et al., 2017). Dado que la síntesis basal de etileno aún no está plenamente activada, el AS apenas logra hacer efecto en las enzimas ACC disponibles.

Al iniciar la transición de maduración (frutos pintones), las rutas de biosíntesis de etileno comienzan a activarse, como lo evidencian valores intermedios de su producción (Cuaspuud Cuaical et al., 2019; Ortiz-Franco et al., 2016). En este estado de maduración, el AS disminuye 2% más la emisión de etileno que en los frutos verdes, probablemente por la mayor expresión de ACC sintetasa que ofrece un objetivo más claro para la inhibición (Asghari & Aghdam, 2010).

En frutos maduros se observó el pico máximo de etileno (aproximadamente 2,2 $\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$), indicando la culminación de procesos como la degradación de clorofila

y la acumulación de compuestos aromáticos (Unigarro et al., 2021). En este estado de maduración, la aplicación de AS es más efectivo como inhibidor de la emisión de etileno, cuando la vía biosintética está plenamente activa y las concentraciones de ACC y ACC sintetasa/oxidasa son máximas.

En frutos sobremaduros, la producción de etileno es menor respecto a los frutos maduros. Esto se explica por el agotamiento del sustrato ACC y la activación de rutas de senescencia (Kader et al., 2002). El AS mantiene una inhibición del 11% en estos frutos sobremaduros, similar al estado pintón, indicando que incluso en la fase final de maduración, el ácido salicílico continúa ejerciendo un efecto moderado sobre las enzimas biosintéticas de etileno.

La producción de etileno aumenta desde frutos verdes hasta maduros y luego desciende en sobremaduros, confirmando el perfil constitutivamente climatérico (Pereira et al., 2005; Sággio et al., 2013). El AS es más efectivo como inhibidor de la síntesis de etileno en frutos maduros, es decir, durante la etapa de mayor actividad de la vía de producción de esta hormona, lo que muestra que el AS actúa preferentemente cuando los niveles de ACC sintetasa/oxidasa son elevados (Asghari & Aghdam, 2010; Unigarro et al., 2021).

La aplicación de ácido salicílico podría ser más ventajosa al inicio o justo antes del pico de producción de etileno (estado pintón–maduro), permitiendo mayor efectividad para prolongar la vida útil de los frutos o retrasar la senescencia.

En la **Tabla 2** se presenta la variación temporal de la inhibición de etileno hasta 12 días después de la aplicación de los tratamientos. Se reporta el porcentaje de reducción

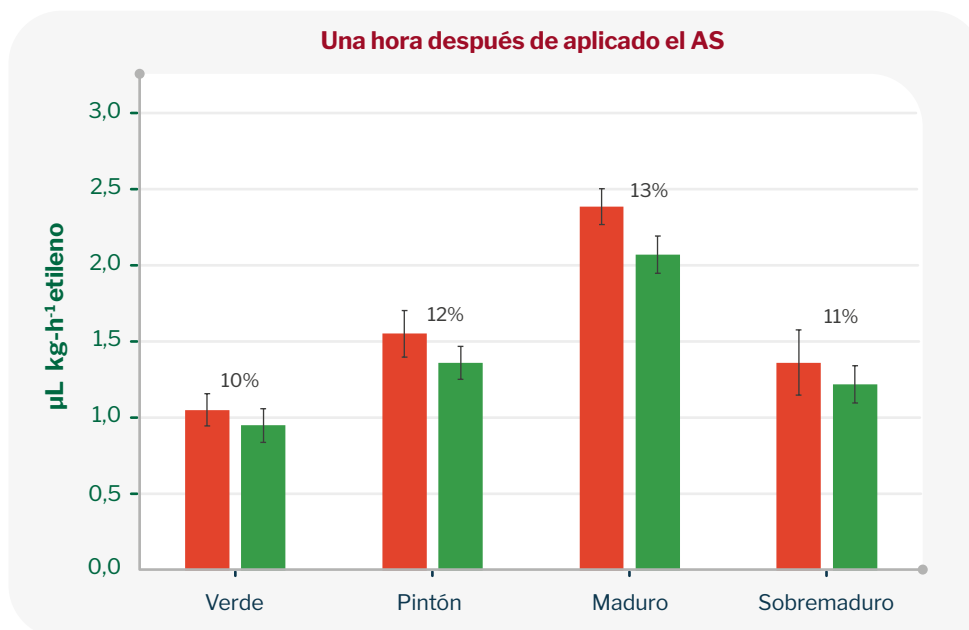


Figura 4. Comportamiento de ácido salicílico 1 mM en la producción de etileno en frutos de café Variedad Castillo®. Las barras rojas corresponden a la producción de etileno ($\mu\text{L kg}^{-1}\text{h}^{-1}$) del testigo y las barras de color verde corresponden a la producción de etileno del tratamiento con inhibidor. Las barras de error representan el límite superior e inferior.

Tabla 2. Porcentaje de reducción de etileno con el inhibidor AS (1 mM) respecto al testigo, en los diferentes estados de maduración y su permanencia a través del tiempo.

Estado de maduración	Tiempo después de la aplicación de los tratamientos				
	1 hora	1 día	4 días	8 días	12 días
Verde	10%	13%	13%	10%	7%
Pintón	12%	12%	12%	10%	6%
Maduro	13%	13%	15%	12%	9%
Sobremaduro	11%	12%	13%	10%	9%

en la producción de etileno en frutos de café tratados con 1 mM de ácido salicílico (AS), discriminado por estado de maduración (verde, pintón, maduro y sobremaduro).

La dinámica hormonal en frutos verdes muestra una reducción inicial del 10% una hora después de la aplicación, alcanzando un máximo de 13% en el primer y cuarto día. Posteriormente, el efecto disminuye a 10% en el día ocho y a 7% en el día 12. Este comportamiento es consistente con la limitada actividad de ACC sintetasa y ACC oxidasa en este estadio (Ochoa-Ascencio et al., 2009), lo que explica un efecto breve y moderado del AS, el ACC se renueva lentamente y el inhibidor se diluye conforme avanza el desarrollo del fruto (Unigarro et al., 2021).

En frutos pintones, la reducción se mantiene en 12% desde la primera hora hasta el cuarto día, seguida de un descenso a 10% en el día ocho y 6% en el día 12. En esta fase, la vía biosintética del etileno ya se encuentra activada (Martínez-González et al., 2017; Ortiz-Franco et al., 2016), lo que permite un efecto más sostenido del AS en comparación con los frutos verdes. No obstante, la progresión de la maduración y la posible metabolización o translocación del AS limitan su persistencia (Ochoa-Ascencio et al., 2009).

En frutos maduros se observa la mayor eficacia del inhibidor. La reducción inicia en 13% desde la primera hora y se mantiene hasta el primer día. Posteriormente aumenta a 15% en el cuarto día y desciende a 12% y 9% en los días ocho y 12, respectivamente. El pico de 15% coincide con el máximo de actividad de ACC sintetasa y ACC oxidasa, lo que sugiere que el AS dispone de mayor cantidad de enzimas blanco para ejercer su acción (Asghari & Aghdam, 2010). La disminución posterior indica un efecto transitorio, que podría requerir re-aplicación para prolongar la inhibición.

En frutos sobremaduros, la reducción es de 11% en la primera hora, aumenta a 12% y 13% en el primer y cuarto día, y posteriormente, desciende a 10% y 9% en los días ocho y 12. Aunque en esta fase la vía de etileno comienza a declinar por agotamiento de sustratos y activación de

procesos de senescencia (Kader et al., 2002), el AS mantiene un efecto moderado hasta el cuarto día y conserva un remanente cercano al 9% al día 12.

En términos generales, el estado maduro presenta el mayor porcentaje de inhibición, con un máximo de 15% al cuarto día, seguido por los estados verde, pintón y sobremaduro (13%). Este patrón es coherente con la mayor tasa de emisión de etileno en frutos maduros respecto a los demás estados. Desde el punto de vista práctico, el uso de AS como inhibidor implica su aplicación en precosecha, idealmente poco antes de alcanzar la madurez fisiológica, para maximizar el efecto y prolongar la permanencia de frutos maduros en el árbol (Asghari & Aghdam, 2010). Así mismo, la reducción progresiva del efecto después del cuarto día sugiere la necesidad de considerar una re-aplicación para sostener la inhibición en el tiempo (Kader et al., 2002).

Conclusiones

El ácido salicílico (1 mM) ejerce una inhibición moderada y transitoria sobre la producción de etileno en frutos de café. El mayor efecto se observó en el estado maduro, con un pico de inhibición al cuarto día después de la aplicación. Posteriormente, la eficacia disminuye de forma progresiva, lo que sugiere que, para mantener el efecto, serían necesarias re-aplicaciones estratégicas, idealmente antes de que el fruto alcance la máxima tasa de producción de etileno.

Se confirma el comportamiento constitutivamente climatérico de *Coffea arabica* L. Sin embargo, dado que las tasas absolutas de emisión de etileno son bajas en comparación con otros frutos climatéricos, el uso de reguladores para inducir maduración artificial en poscosecha no presenta viabilidad técnica ni comercial.

Estos resultados establecen una línea base para el manejo hormonal del cultivo y evidencian la necesidad de evaluar inhibidores de mayor potencia, como AVG o 1-MCP, así como el uso de coadyuvantes que mejoren la penetración y

absorción cuticular. Esto permitiría superar las limitaciones observadas y aumentar los porcentajes de inhibición alcanzables en condiciones de campo.

Contribuciones de los Autores

Conceptualización, Curación de datos, Administración de proyecto, Redacción–borrador original: **AO**; Análisis formal, Metodología: **AO**, **CPVV** y **MBEP**; Redacción–revisión y edición: **AO** y **TMSV**. Todos los autores han leído y aceptado la versión del manuscrito.

Financiación

Los autores declaran que recibieron apoyo financiero para la investigación y/o publicación de este artículo. Esta investigación fue financiada por el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé (Crossref Funder ID 100019597), código FIS104005.

Declaración de disponibilidad de datos

Los datos de investigación no están disponibles debido a que están sujetos a restricciones institucionales. Las solicitudes de acceso pueden dirigirse al autor de correspondencia y serán consideradas previa aprobación.

Declaración de conflictos de interés

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un posible conflicto de intereses.

Declaración de uso de IA

Durante el proceso de redacción se empleó tecnología asistida por inteligencia artificial con el fin de mejorar la legibilidad y la calidad del lenguaje del manuscrito.

Literatura citada

Abeles, F. B., Morgan, P. W., & Saltveit, J. (1992). *Ethylene in Plant Biology* (2a ed.). Academic Press.

Alexander, L., & Grierson, D. (2002). Ethylene biosynthesis and action in tomato: A model for climacteric fruit ripening. *Journal of Experimental Botany*, 53(377), 2039–2055. <https://doi.org/10.1093/jxb/erf072>

Arcila-Pulgarín, J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En J. Arcila, F.F. Farfán, A. M. Moreno, L.F.

Salazar, & E. Hincapié (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 21–60). Cenicafé. <http://hdl.handle.net/10778/720>

Arora, A. (2008). Biochemistry of flower senescence. En G. Paliyath, D. P. Murr, A. K. Handa, & S. Lurie (Eds.), *Postharvest biology and technology of fruits, vegetables and flowers* (pp. 51–85). Blackwell Publishing.

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>

Balaguera-López, H. E., Salamanca-Gutiérrez, F. A., García, J. C., & Herrera-Árevalo, A. (2015). Etileno y retardantes de la maduración en la poscosecha de productos agrícolas. Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), 302. <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3222>

Brumos, J. (2021). Gene regulation in climacteric fruit ripening. *Current Opinion in Plant Biology*, 63, 102042. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2021.102042>

Burns, J. K. (2008). 1-Methylcyclopropene Applications in Preharvest Systems: Focus on Citrus. *HortScience*, 43(1), 112–114. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.43.1.112>

Camayo-Vélez, G., Chaves, B., Arcila, J., & Jaramillo, A. (2003). Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná, Caldas. *Revista Cenicafé*, 54(1), 35-49. <http://hdl.handle.net/10778/264>

Cuaspué Cuaical, S., Moreno Guerrero, C., Andrade-Cuvi, M. J., Alcivar León, C. D., & Guerrero, M. J. (2019). Efecto de la aplicación de 1-metilciclopropeno (1-MCP) sobre la calidad poscosecha de uvilla orgánica (*Physalis peruviana*). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 20(1). <https://www.redalyc.org/journal/813/81359562007/>

Cui, K., Shu, C., Zhao, H., Fan, X., Cao, J., & Jiang, W. (2020). Preharvest chitosan oligochitosan and salicylic acid treatments enhance phenol metabolism and maintain the postharvest quality of apricots (*Prunus armeniaca* L.). *Scientia Horticulturae*, 267, 109334. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109334>

DaMatta, F. M. (2007). Ecophysiology of tropical tree crops: An introduction. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19(4), 239–244. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400001>

Porte Morales, C. G. (2021). *Factores que afectan la calidad física y fisiológica de semilla de café (Coffea arabica L.) durante el manejo poscosecha*. [Tesis de Maestría, Colegio de Postgraduados]. <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/4660>

- Dias, R. E. B. A., Silva, F. M. da, Cunha, J. P. B., Avelar, R. C., & Fernandes, F. C. (2014). Influence of the use of biosynthesis inhibitor ethylene on the efficiency of combine harvesting. *Coffee Science*, 9(4), 527–536. <https://coffeescience.ufla.br/index.php/Coffeescience/article/view/746>
- Flores, F., El Yahyaoui, F., De Billerbeck, G., Romojaro, F., Latché, A., Bouzayen, M., Pech, J., & Ambid, C. (2002). Role of ethylene in the biosynthetic pathway of aliphatic ester aroma volatiles in Charentais Cantaloupe melons. *Journal of Experimental Botany*, 53(367), 201–206. <https://doi.org/10.1093/jexbot/53.367.201>
- Flórez, C. P., Ibarra, L. N., Gómez, L. F., Carmona, C. Y., Castaño, A., & Ortiz, A. (2013). Estructura y funcionamiento de la planta de café. En Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Ed.), *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura* (Vol. 1, pp. 123–168). Cenicafé.
- Gu, Y.-Q., Yang, C., Thara, V. K., Zhou, J., & Martin, G. B. (2000). *Pti4* Is Induced by Ethylene and Salicylic Acid, and Its Product Is Phosphorylated by the Pto Kinase. *The Plant Cell*, 12(5), 771–785. <https://doi.org/10.1105/tpc.12.5.771>
- Haji, T., Yaegaki, H., & Yamaguchi, M. (2002). Softening of Stony Hard Peach by Ethylene and the Induction of Endogenous Ethylene by 1-Aminocyclopropane-1-Carboxylic Acid (ACC). *Engei Gakkai Zasshi*, 72(3), 212–217. <https://doi.org/10.2503/jjshs.72.212>
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, Mohd., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: A review. *Environmental and Experimental Botany*, 68(1), 14–25. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2009.08.005>
- Herrero, A., & Guardia, J. (1992). *Conservación de frutos: Manual técnico*. Mundi Prensa Libros. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/libro?codigo=80160>
- Hiwasa, K., Kinugasa, Y., Amano, S., Hashimoto, A., Nakano, R., Inaba, A., & Kubo, Y. (2003). Ethylene is required for both the initiation and progression of softening in pear (*Pyrus communis* L.) fruit. *Journal of Experimental Botany*, 54(383), 771–779. <https://doi.org/10.1093/jxb/erg073>
- ICO. (2024). Informe del mercado de café. *Organización Internacional del Café*, 1-13.
- Kader, A.A. (editor). *Postharvest technology of horticultural crops*. Third edition. University of California, Agriculture and Natural Resources, 535p, 2002. <https://postharvest.ucdavis.edu/publication/postharvest-technology-horticultural-crops-3rd-edition>
- Kesari, R., Trivedi, P. K., & Nath, P. (2007). Ethylene-induced ripening in banana evokes expression of defense and stress related genes in fruit tissue. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2), 136–143. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2007.04.010>
- Kuntz, M., Chen, H. C., Simkin, A. J., Römer, S., Shipton, C. A., Drake, R., Schuch, W., & Bramley, P. M. (1998). Upregulation of two ripening-related genes from a non-climacteric plant (pepper) in a transgenic climacteric plant (tomato). *Plant Journal*, 13(3), 351–361. <https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.1998.00032.x>
- Marín-López, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya, E. C., & Oliveros-Tascón, C. E. (2003). Escala de maduración para los frutos del cafeto *Coffea arabica* L. *Avances Técnicos Cenicafé*, 315, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0315>
- Marín-López, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E. C., & Oliveros-Tascón, C. E. (2003). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Revista Cenicafé*, 54(4), 297–315. <http://hdl.handle.net/10778/254>
- Mariño-González, L. A., Buitrago, C. M., Balaguera Lopez, H. E., & Martínez-Quintero, E. (2019). Effect of 1-methylcyclopropene and ethylene on the physiology of peach fruits (*Prunus persica* L.) cv. Dorado during storage. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 13(1), e8543. <https://doi.org/10.17584/rcch.2019v13i1.8543>
- Martínez-González, M. E., Balois Morales, R., Alia-Tejagal, I., Cortes-Cruz, M. A., Palomino-Hermosillo, Y. A., & López-Gúzman, G. G. (2017). Postcosecha de frutos: Maduración y cambios bioquímicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (19), 4075–4087. <https://doi.org/10.29312/remexca.v0i19.674>
- Ochoa-Ascencio, S., Hertog, M. L. A. T. M., & Nicolai, B. M. (2009). Modelling the transient effect of 1-MCP on ‘Hass’ avocado softening: A Mexican comparative study. *Postharvest Biology and Technology*, 51(1), 62–72. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2008.06.002>
- Ortiz-Franco, L. Z., Ramírez-Villa, A. Z., Cervantes-Mojica, L. J., Muy-Rangel, M. D., Gómez-Lim, M. A., García-Galindo, H. S., Sáyago-Ayerdi, S. G., Montalvo-González, E., Ortiz-Franco, L. Z., Ramírez-Villa, A. Z., Cervantes-Mojica, L. J., Muy-Rangel, M. D., Gómez-Lim, M. A., García-Galindo, H. S., Sáyago-Ayerdi, S. G., & Montalvo-González, E. (2016). Efecto del 1-metilciclopropeno en la maduración de mango ataulfo en condición simulada para exportación a Europa. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 305–316. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0187-73802016000300305&lng=es&nr_m=iso&tlng=es
- Pech, J., Purgatto, E., Bouzayen, M., & Latché, A. (2012). Ethylene and Fruit Ripening. En M. T. McManus (Ed.), *Annual Plant Reviews Volume 44* (pp. 275–304). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118223086.ch11>
- Pezzopane, J. R. M., Salva, T. D. J. G., De Lima, V. B., & Fazuoli, L. C. (2012). Agrometeorological parameters for prediction of the maturation period of Arabica coffee

- cultivars. *International Journal of Biometeorology*, 56(5), 843–851. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0486-6>
- Pereira, L. F. P., Galvão, R. M., Kobayashi, A. K., Cação, S. M. B., & Vieira, L. G. E. (2005). Ethylene production and acc oxidase gene expression during fruit ripening of *Coffea arabica* L. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 17(3), 283–289. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000300002>
- Puerta, G. I. (2000). Influencia de los granos de café cosechados verdes, en la calidad física y organoléptica de la bebida. *Revista Cenicafé*, 51(2), 136–150. <http://hdl.handle.net/10778/65>
- Ságio, S. A., Lima, A. A., Barreto, H. G., De Carvalho, C. H. S., Paiva, L. V., & Chalfun-Junior, A. (2013). Physiological and molecular analyses of early and late *Coffea arabica* cultivars at different stages of fruit ripening. *Acta Physiologiae Plantarum*, 35(11), 3091–3098. <https://doi.org/10.1007/s11738-013-1342-6>
- Saltveit, M. E. (1993). Internal carbon dioxide and ethylene levels in ripening tomato fruit attached to or detached from the plant. *Physiologia Plantarum*, 89(1), 204–210. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.1993.890130.x>
- Sanz-Uribe, J. R., & Duque, H. (2020). Evaluación de la Derribadora Selectiva de Café Brudden DSC18. *Revista Cenicafé*, 71(2), 92–104. <https://doi.org/10.38141/10778/71207>
- Sanz-Uribe, J. R., Oliveros-Tascón, C. E., Duque Orrego, H., Mejía, C. G., Benavides Machado, P., & Medina-Rivera, R. (2018). Retención de pases: Una opción para mejorar la productividad de la mano de obra en la cosecha de café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 488, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0488>
- Serek, M., Woltering, E. J., Sisler, E. C., Frello, S., & Sriskandarajah, S. (2006). Controlling ethylene responses in flowers at the receptor level. *Biotechnology Advances*, 24(4), 368–381. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2006.01.007>
- Seymour, G. B., Taylor, J. E., & Tucker, G. A. (Eds.). (1993). *Biochemistry of Fruit Ripening*. Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-1584-1>
- Shafiee, M., Taghavi, T. S., & Babalar, M. (2010). Addition of salicylic acid to nutrient solution combined with postharvest treatments (hot water, salicylic acid, and calcium dipping) improved postharvest fruit quality of strawberry. *Scientia Horticulturae*, 124(1), 40–45. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2009.12.004>
- Sonawane, A. D., Pathak, N., Weltzien, C., & Mahajan, P. (2023). Ethylene modelling in package headspace of fresh produce: A review. *Packaging Technology and Science*, 36(9), 731–743. <https://doi.org/10.1002/pts.2753>
- Srivastava, M. K., & Dwivedi, U. N. (2000). Delayed ripening of banana fruit by salicylic acid. *Plant Science*, 158(1–2), 87–96. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00304-6](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00304-6)
- Unigarro, C. A., Imbachí, L. C., Pabón, J. P., Osorio, V., & Acuña-Zornosa, J. R. (2021). Efecto del ácido salicílico sobre la maduración fenológica de frutos de café en pre-cosecha. *Revista Cenicafé*, 72(2), e72205. <https://doi.org/10.38141/10778/72205>
- Villavicencio, L. E., Blankenship, S. M., Sanders, D. C., & Swallow, W. H. (2001). Ethylene and carbon dioxide concentrations in attached fruits of pepper cultivars during ripening. *Scientia Horticulturae*, 91(1–2), 17–24. [https://doi.org/10.1016/S0304-4238\(01\)00249-7](https://doi.org/10.1016/S0304-4238(01)00249-7)
- Wang, S., Hong, Y., Archer, N., & Wang, Y. (2011). Modeling the success of small and medium sized online vendors in business to business electronic marketplaces in china: A motivation—Capability framework. *Journal of Global Information Management*, 19(4), 45–75.
- Wang, Y.-Y., Li, B.-Q., Qin, G.-Z., Li, L., & Tian, S.-P. (2011). Defense response of tomato fruit at different maturity stages to salicylic acid and ethephon. *Scientia Horticulturae*, 129(2), 183–188. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.03.021>
- Wills, R., Mc Glasson, B., Graham, D., & Joyce, D. (1998). *Postharvest. An introduction to the physiology & handling of fruit, vegetables & ornamentals*. CABI Publishing.
- Wills, R., & Warton, M. (2004). Efficacy of potassium permanganate impregnated into alumina beads to reduce atmospheric ethylene. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 129(3), 433–438. <https://doi.org/10.21273/jashs.129.3.0433>
- Winston, E. C., Houtt, M., Howitt, C. J., & Shepherd, R. K. (1992). Ethylene-induced fruit ripening in arabica coffee (*Coffea arabica* L.). *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 32(3), 401–408. <https://doi.org/10.1071/EA9920401>

Nota del editor

Las declaraciones, opiniones y datos contenidos en los textos publicados en la Revista Cenicafé son responsabilidad exclusiva de sus autores y no reflejan necesariamente la posición del editor, del responsable de la publicación ni del equipo editorial, quienes no asumen responsabilidad por eventuales daños a personas o bienes derivados del uso de las ideas, métodos, instrucciones o productos mencionados.

La referencia a productos químicos específicos, maquinaria o equipos comerciales en los textos publicados no implica, en ningún caso, su respaldo o aprobación por parte del editor.