



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE CHIAPAS**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS**  
**CAMPUS V**



**INFLUENCIA DE AMINOETOXIVINILGLICINA EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD**  
**DE *Mangifera indica* L. Y *Coffea arabica* L.**

## **TESIS**

que para obtener el grado de  
**DOCTOR EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD**

Presenta

**FRANCISCO GUZMÁN CAMPOSECO PS908**

**Director de tesis**

Dr. JUAN FRANCISCO AGUIRRE MEDINA

**Codirectora de tesis**

Dra. MA. DE LOURDES ARÉVALO GALARZA

Villaflores, Chiapas, México

Mayo, 2023



Villaflores, Chiapas  
22 de mayo de 2023  
Oficio N° D/0621/23

**C. MC FRANCISCO GUZAMAN CAMPOSECO**  
DOCTORANTE EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y SUSTENTABILIDAD  
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS CAMPUS V  
P R E S E N T E.

En atención a que usted ha presentado los votos aprobatorios del Honorable Jurado, designado para su evaluación de posgrado, de la tesis titulada: **“INFLUENCIA DE AMINOETOXIVINILGLICINA EN LA PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE *Mangifera indica* L. Y *Coffea arabica* L”**, por este conducto le comunico que se le autoriza la impresión del documento, de acuerdo a los lineamientos vigentes de la Universidad.

Sin otro particular, le envío un cordial saludo.

**ATENTAMENTE**  
**“POR LA CONCIENCIA DE LA NECESIDAD DE SERVIR”**

**M. C. CARLOS ALBERTO MELÁZQUEZ SANABRIA**  
DIRECTOR



C. c. p. Archivo

CAVS\*marh.



Código: FO-113-05-05

Revisión: 0

## CARTA DE AUTORIZACIÓN PARA LA PUBLICACIÓN ELECTRÓNICA DE LA TESIS DE TÍTULO Y/O GRADO.

El (la) suscrito (a) **Francisco Guzmán Camposeco**,  
Autor (a) de la tesis bajo el título de **“Influencia de aminoetoxivinilglicina en la producción y calidad de *Mangifera indica* L. y *Coffea arabica* L.”**,  
presentada y aprobada en el año **20 23** como requisito para obtener el título o grado de **Doctor en Ciencias en Agropecuarias y Sustentabilidad**,  
autorizo licencia a la Dirección del Sistema de Bibliotecas Universidad Autónoma de Chiapas (SIBI-UNACH), para que realice la difusión de la creación intelectual mencionada, con fines académicos para su consulta, reproducción parcial y/o total, citando la fuente, que contribuya a la divulgación del conocimiento humanístico, científico, tecnológico y de innovación que se produce en la Universidad, mediante la visibilidad de su contenido de la siguiente manera:

- Consulta del trabajo de título o de grado a través de la Biblioteca Digital de Tesis (BIDITE) del Sistema de Bibliotecas de la Universidad Autónoma de Chiapas (SIBIUNACH) que incluye tesis de pregrado de todos los programas educativos de la Universidad, así como de los posgrados no registrados ni reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad del CONACYT.
- En el caso de tratarse de tesis de maestría y/o doctorado de programas educativos que sí se encuentren registrados y reconocidos en el Programa Nacional de Posgrados de Calidad (PNPC) del Consejo Nacional del Ciencia y Tecnología (CONACYT), podrán consultarse en el Repositorio Institucional de la Universidad Autónoma de Chiapas (RIUNACH).

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; a los **18** días del mes de **mayo** del año 20 **23**.

Francisco Guzmán Camposeco

Nombre y firma del Tesista o Tesistas

## AGRADECIMIENTOS

A **CONACYT** por la beca otorgada para poder continuar con mis estudios y en la elaboración de esta tesis.

A mi madre y mi padre, por su apoyo que ha sido muy importante para continuar con mis metas.

A la UNACH por la oportunidad que me dio de formar parte del ***“Doctorado en Ciencias Agropecuarias y Sustentabilidad”***.

A mi director, codirectora y asesores por brindarme su experiencia en la elaboración de la tesis, les debo mi aprendizaje en la investigación, su paciencia y trabajo por lograr en conjunto producir lo que aquí se presenta.

A mi pareja, mi hermano, a Vilo y a mis tíos Ariel y Julio por apoyarme cuando los necesité.

A mis compañeros del doctorado, por aconsejarme cuando tenía dudas.

A mis profesores y profesoras por impartir sus conocimientos en los cursos y fuera de ellos; al “Químico Chava” por apoyarme y resolver mis dudas en el trabajo de laboratorio.

A todos los que participaron que de una u otra forma apoyaron para lograr y sacar adelante este trabajo.

## CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN</b> .....	<b>xii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xiv</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Objetivos.....	2
1.1.1 Objetivo general.....	2
1.1.2 Objetivos específicos .....	2
1.2 Hipótesis.....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
2.2 El mango “Ataulfo”.....	4
2.2.1 Aspectos fisiológicos.....	4
2.2.2 Influencia del ambiente en el rendimiento del mango .....	6
2.2.3 Importancia y producción del mango Ataulfo .....	6
2.1 <i>Coffea arabica</i> L. ....	7
2.1.1 Aspectos fisiológicos de la floración.....	7
2.1.2 Influencia del ambiente en el rendimiento del café .....	9
2.1.3 Importancia y producción del café .....	10
2.3 Maduración de los frutos .....	11
2.3.1 Biosíntesis del etileno en el fruto .....	11
2.3.2. Cambios fisiológicos de los frutos.....	13
2.3.3. Principales reguladores exógenos del etileno en el fruto .....	14
2.4 Aminoetoxivinilglicina (AVG).....	15
2.4.1 Biosíntesis de la AVG .....	15
2.4.2. El producto comercial ReTain™ .....	16
2.4.3. Generación de impacto en la agricultura.....	17
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
3.1 Área de estudio .....	19
3.1.1 Localización geográfica de los sitios experimentales.....	19
3.1.2 Condiciones edafoclimáticas y de manejo .....	19
3.2 Metodología.....	20
3.2.1 Material vegetal.....	20
3.2.2 Establecimiento del experimento en campo.....	21
3.2.2.1 Mango “Ataulfo” .....	21

3.2.2.2	Café “Oro Azteca” .....	21
3.2.2.3	Aminoetoxivinilglicina (AVG) .....	21
3.2.3	Variables físicas .....	22
3.2.3.1	Mango “Ataulfo” .....	22
3.2.3.2	Café “Oro Azteca” .....	23
3.2.4	Variables bioquímicas .....	24
3.2.4.1	Mango “Ataulfo” .....	24
3.2.4.2	Café “Oro Azteca” .....	25
3.2.5	Análisis estadístico.....	25
3.2.5.1	Mango “Ataulfo” .....	25
3.2.5.2	Café “Oro Azteca” .....	26
<b>IV.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>27</b>
4.1	Mango “Ataulfo” .....	27
4.1.1	Aplicación de AVG en precosecha en mango “Ataulfo” .....	27
4.1.1.1	Pérdida de peso .....	27
4.1.1.2	Biomasa .....	28
4.1.2	Firmeza, tamaño y color de los frutos de mango “Ataulfo” tratados con AVG .....	30
4.1.2.1	Firmeza .....	30
4.1.2.3	Tamaño .....	32
4.1.2.2	Color.....	34
4.1.2	Calidad de frutos de mango “Ataulfo” tratados con AVG en precosecha ...	38
4.1.2.1	Variables bioquímicas .....	38
4.2	Café “Oro Azteca” .....	41
4.2.1	Variables físicas de frutos de café “Oro Azteca” en 2020 .....	41
4.2.1.1	Dinámica de crecimiento .....	41
4.2.1.2	Dimensiones ortogonales .....	44
4.2.2	Efecto de aplicaciones de AVG en los componentes del rendimiento de café “Oro Azteca” .....	46
4.2.2.1	Número de frutos .....	46
4.2.2.2	Peso de los frutos .....	48
4.2.2.3	Clorofilas, carotenoides y fenoles .....	49
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>53</b>
<b>VI.</b>	<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>54</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Principales países destino de exportación e importación de mango en México 2020.....	7
Cuadro 2. Exportaciones e importaciones de café (kg) de México a los principales países en el año 2020.....	11
Cuadro 3. Condiciones edafoclimáticas generales en dos huertos de mango var. Ataulfo y uno de café "Oro Azteca". .....	20
Cuadro 4. Tratamientos y frecuencias de aplicaciones de AVG en mango var. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas.....	21
Cuadro 5. Tratamientos y frecuencias de aplicaciones de AVG en café "Oro Azteca" en el Soconusco, Chiapas.....	22
Cuadro 6. Clasificación por tamaño y peso de las fases de desarrollo del fruto en mango "Ataulfo".....	22
Cuadro 7. Pérdida de peso (%) de frutos de mango "Ataulfo" tratados en precosecha con aminoetoxivinilglicina bajo dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México. ....	27
Cuadro 8. Biomasa (%) de frutos de mango "Ataulfo" tratados en precosecha con aminoetoxivinilglicina en dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México.....	29
Cuadro 9. Diámetro longitudinal (mm) promedio durante 18 días de frutos de mango "Ataulfo" tratados con AVG en precosecha. ....	32
Cuadro 10. Diámetro ecuatorial (mm) promedio durante 18 días de frutos de mango "Ataulfo" tratados con AVG en precosecha. ....	33
Cuadro 11. Índice de forma de frutos de mango "Ataulfo" tratados con AVG provenientes de dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas..	34
Cuadro 12. Efecto de los tratamientos en precosecha de aminoetoxivinilglicina en el color de la epidermis de frutos de mango "Ataulfo" en dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México. ....	35

Cuadro 13. Diferencia de colores del espacio $\Delta L^*$ en frutos de mango "Ataulfo" tratados con AVG contra frutos testigo provenientes de dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas.....	36
Cuadro 14. Diferencia de colores del espacio $\Delta C^*$ en frutos de mango "Ataulfo" tratados con AVG contra frutos testigo provenientes de dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas.....	37
Cuadro 15. Diferencia de colores del espacio $\Delta h$ en frutos de mango "Ataulfo" tratados con AVG contra frutos testigo provenientes de dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas.....	37
Cuadro 16. Características bioquímicas de frutos de mango "Ataulfo" tratados en precosecha con aminoetoxivinilglicina en dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México. ....	39
Cuadro 17. Características físicas promedio de frutos de café "Oro Azteca" cosechados en el Soconusco, Chiapas.....	41
Cuadro 18. Dinámica de crecimiento del fruto de <i>Coffea arabica</i> L. var. Oro Azteca en el Soconusco, Chiapas.....	42
Cuadro 19. Características dimensionales de frutos de café "Oro Azteca" tratados en precosecha con AVG. ....	44
Cuadro 20. Efecto de las aplicaciones de AVG en el número de frutos de café "Oro Azteca" recolectados por bandola. ....	47
Cuadro 21. Clorofilas, carotenoides y fenoles totales en la epidermis de los frutos de café "Oro Azteca" con aplicaciones precosecha de AVG en Soconusco, Chiapas. ....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapas de la floración en <i>C. arabica</i> L. var. Oro Azteca en el Soconusco, Chiapas. (a), botón floral (b), floración esporádica (c) floración y fructificación (d) frutos en diferentes estados de desarrollo. ....	8
Figura 2. Etapa del fruto de <i>C. arabica</i> L. var. Oro Azteca creciendo en el Soconusco, Chiapas. Foto: Autoría propia.....	10
Figura 3. Ruta de biosíntesis del etileno (Argueso et al., 2007; NCBI, 2021). ....	12
Figura 4. Estructura química de la aminoetoxivinilglicina en 2D (a) y 3D (b). ....	15
Figura 5. Ruta biosintética de treonina que muestra el paso a la producción de AVG en <i>Streptomyces</i> sp. (Fuente: Elaboración propia basada en Fernández et al., 2004 y NCBI, 2021).....	16
Figura 6. Dimensiones de simetría del fruto maduro de café var. Oro Azteca en el Soconusco, Chiapas. ....	24
Figura 7. Cambios en la firmeza (N) de la epidermis de frutos de mango "Ataulfo" tratados en precosecha con aminoetoxivinilglicina en dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México. ....	31
Figura 8. Crecimiento ecuatorial (mm) de frutos de café "Oro Azteca" de la semana 18 a la 27 después de la antesis en el Soconusco, Chiapas. ....	43
Figura 9. Peso de frutos maduro a 33-36 semanas (g) de café "Oro Azteca" con aplicaciones de AVG en precosecha en el Soconusco, Chiapas. ....	49

## RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la aplicación precosecha de aminoetoxivinilglicina en la maduración y calidad de los frutos de mango variedad Ataulfo y de café “Oro Azteca” en la Región del Soconusco, Chiapas durante el ciclo agrícola 2020/2021.

La investigación de campo en mango se desarrolló en campo en dos lugares con ambiente y manejo contrastante. Uno de ellos, en el Sitio Experimental “La Norteña” propiedad del INIFAP y localizado en el municipio de Tapachula. El segundo es un huerto particular localizado en el Ejido Santa Cecilia en Huehuetán, Chiapas. La etapa de laboratorio se desarrolló en el Laboratorio Postcosecha de la FCA-Huehuetán de la UNACH. En campo, en ambos cultivos se aplicó el producto comercial ReTain® (Valent BioSciences) a los árboles previamente seleccionados con los siguientes tratamientos en precosecha: Aplicación de AVG una vez, aplicación de AVG dos veces y aplicación de AVG tres veces, más el testigo. En las aplicaciones, la diferencia en días fue de siete. En los frutos de mango se evaluó pérdida de peso, diámetros, biomasa, firmeza, sólidos solubles totales (SST), acidez titulable y relación SST/AT. Se consideró un fruto como unidad experimental y cuatro repeticiones por tratamiento durante 18 días en postcosecha.

La investigación de la dinámica de crecimiento del fruto en café se desarrolló en 10 bandolas por planta. Los tratamientos con AVG fueron los siguientes: Testigo, una aplicación de AVG el 21 junio, dos aplicaciones de AVG el 8 y 21 junio, tres aplicaciones de AVG el 26 mayo, 8 y 21 junio y una aplicación de AVG el 6 julio. En los frutos se evaluó el peso, las dimensiones ortogonales, contenido de clorofilas a y b, carotenoides y fenoles.

En ambos cultivos, el diseño experimental fue completamente al azar y los datos obtenidos se analizaron mediante un ANOVA ( $\alpha = 0.05$ ), así mismo, los promedios se compararon con la prueba de Tukey ( $\rho \leq 0.05$ ) utilizando los paquetes estadísticos SAS System versión 9.0. y para graficar SigmaPlot 12.0.

En mango, la mayor firmeza del fruto se presentó cuando se incrementó a tres el número de aplicaciones, seguido por la aplicación de dos AVG-2 en ambos sitios. En cambio, los SST presentaron menor acumulación cuando se aplicó el mayor número de veces, que fue de AVG-3, en comparación con el resto de los tratamientos a los 6 y 10 días después del corte (ddc). Entre sitios experimentales, la mayor concentración se presentó en los del sitio La Norteña. El pH de los frutos disminuyó con la aplicación de tres veces de AVG hasta los 10 días en ambos sitios de estudio. Los tratamientos con mayor acidez fueron los que recibieron dos y tres aplicaciones de AVG-2 y AVG-3. En cambio, con las tres aplicaciones, fue diferente a los días 10, 14 y 18. Así, el índice de sabor ( $^{\circ}\text{Brix/acidez}$ ) de los frutos a los 10 ddc fue menor a los 18 días, caso contrario con la aplicación de AVG-1, AVG-2 y testigo, que aumentaron comparados con AVG-3. La mayor relación SST/AT lo obtuvo AVG-1 al día 18.

En el caso de los frutos de café, al aplicar AVG durante la semana 24 antes de la cosecha (AVG-4) se logró retrasar la maduración de los frutos entre 26 y 35 % durante un segundo y tercer corte. Los frutos con menor peso fueron de los tratamientos AVG-1 y AVG-3 con 14 % menos respecto al testigo. Así mismo disminuyó el contenido de las clorofilas durante los dos primeros cortes hasta del 13 % aplicando el tratamiento 2 (AVG-1, 22 semanas antes del corte) y hasta un 32 % con la mayor frecuencia de AVG-3, sin embargo, el tratamiento AVG-1 mantuvo baja cantidad de clorofila *a* y totales durante los cuatro cortes evaluados. En clorofila *b* y carotenoides no se observaron diferencias entre tratamientos. La AVG-1, AVG-3 y AVG-4 aumentaron los fenoles un 26.1, 26.5 % y 33.4 % comparado con el testigo.

En conclusión, el incremento de las frecuencias de aplicaciones de AVG mejoró la firmeza del fruto en mango "Ataulfo", incrementó la acidez y disminuyeron los SST. Además, aumentó cuatro días la vida postcosecha de los frutos provenientes del sitio La Norteña. En café, las aplicaciones de AVG-4 concentraron la cosecha al segundo y tercer corte, disminuyó la transformación de clorofilas a carotenoides y los fenoles totales durante la maduración (AVG-2, AVG-3 y AVG-4).

**Palabras clave:** Firmeza, pérdida de peso, sólidos solubles totales, aminoetoxivinilglicina.

## ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of the pre-harvest application of aminoethoxyvinylglycine on the ripening and quality of Ataulfo mango and "Oro Azteca" coffee fruits in the Soconusco Region, Chiapas, during the 2020/2021 agricultural cycle.

The mango field research was conducted in the field at two sites with contrasting environment and management. One of them, at the Experimental Site "La Norteña" owned by INIFAP and located in the municipality of Tapachula. The second is a private orchard located in Ejido Santa Cecilia in Huehuetán, Chiapas. The laboratory stage was carried out at the Postharvest Laboratory of the FCA-Huehuetán, UNACH. In the field, in both crops, the commercial product ReTain® (Valent BioSciences) was applied to the previously selected trees with the following pre-harvest treatments: AVG application once, AVG application twice and AVG application three times, plus the control. In the applications, the difference in days was seven. Mango fruit were evaluated for weight loss, diameter, biomass, firmness, total soluble solids (TSS), titratable acidity and TSS/TA ratio. One fruit was considered as the experimental unit and four replicates per treatment were used for 18 days postharvest.

The investigation of fruit growth dynamics in coffee was carried out on 10 bandolas per plant. The AVG treatments were as follows: Control, one application of AVG on 21 June, two applications of AVG on 8 and 2 June, three applications of AVG on 26 May, 8 and 21 June and one application of AVG on 6 July. Fruit weight, orthogonal dimensions, chlorophyll a and b content, carotenoids and phenols were evaluated.

In both crops, the experimental design was completely randomized and the data obtained were analyzed by ANOVA ( $\alpha = 0.05$ ), likewise, the averages were compared with Tukey's test ( $p \leq 0.05$ ) using the statistical packages SAS System version 9.0. and for graphing SigmaPlot 12.0.

In mango, the highest fruit firmness occurred when the number of applications was increased to three, followed by the application of two AVG-2 at both sites. In contrast, TSS showed lower accumulation when applied the highest number of times, which was AVG-3, compared to the rest of the treatments at 6 and 10 days after cutting (ddc). Among experimental sites, the highest concentration was found at the La Norteña site. Fruit pH decreased with three applications of AVG up to 10 days at both study sites. The treatments with the highest acidity were those that received two and three applications of AVG-2 and AVG-3. Thus, the flavor index ( $^{\circ}\text{Brix}/\text{acidity}$ ) of the fruits at 10 ddc was lower at 18 days, the opposite being the case with the application of AVG-1, AVG-2 and the control, which increased compared to AVG-3. The highest TSS/TA ratio was obtained by AVG-1 at day 18.

In the case of coffee fruits, the application of AVG during the 24th week before harvest (AVG-4) delayed fruit ripening by 26-35% during the second and third cuts. The fruits with the lowest weight were from treatments AVG-1 and AVG-3 with 14 % less than the

control. Likewise, the chlorophyll content decreased during the first two cuts up to 13 % with treatment 2 (AVG-1, 22 weeks before cutting) and up to 32 % with the highest frequency of AVG-3, however, the AVG-1 treatment maintained a low amount of chlorophyll a and total chlorophyll during the four cuts evaluated. In chlorophyll b and carotenoids, no differences were observed between treatments. AVG-1, AVG-3 and AVG-4 increased phenols by 26.1, 26.5 % and 33.4 % compared to the control.

In conclusion, increasing the frequency of AVG applications improved fruit firmness in 'Ataulfo' mango, increased acidity and decreased TSS. In addition, the postharvest life of fruit from the La Norteña site was increased by four days. In coffee, AVG-4 applications concentrated the harvest to the second and third cut, decreased the transformation of chlorophylls to carotenoids and total phenols during ripening (AVG-2, AVG-3 and AVG-4).

**Keywords:** Firmness, Weight loss, Total soluble solids, aminoethoxyvinylglycine.

## I. INTRODUCCIÓN

Los cultivos de mango *Mangifera indica* L. y café *Coffea arabica* L., son muy importantes, económica y socialmente en la región del Soconusco, Chiapas.

*Mangifera indica* L. se cultiva en 38 mil ha en Chiapas, y en la región del Soconusco la superficie es de 32 mil ha, especialmente de mango “Ataulfo” y produce en promedio  $7.91 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  y en general, se producen 204 mil ha con rendimiento de  $10.79 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera [SIAP], 2021)

*Coffea arabica* L. se cultiva en 710 mil hectáreas en México y tiene rendimiento aproximado de  $1.50 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ . Es cultivado por más de 400 mil productores y se caracteriza por la dominancia de extensiones de menos de cinco hectáreas en los predios del 90 % de los productores, además, 60 % de ellos son de origen indígena con un 30% de mujeres (Aguirre-Cadena et al., 2012). Se encuentra en la zona montañosa de la Sierra Madre del Sur y otras regiones del Estado de Chiapas en una superficie de 253 mil ha con rendimiento de  $1.59 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  (SIAP, 2021).

En los frutales, la inducción y formación de los primordios florales se presentan como respuesta al cambio de variables abióticas, como la disponibilidad hídrica en el suelo, la longitud del día y de la irradiación, o bien la presencia de clima frío o una combinación de clima frío y estrés hídrico, además, la interacción con factores internos, hormonales y nutritivos (Azcón-Bieto & Talón, 2008; Chávez-Hernández et al., 2022). Otros posibles factores inductores de la floración pueden ser el fotoperiodo, los carbohidratos (Chávez-Hernández et al., 2022) y el contenido de nitrógeno (Corbesier et al., 2002). La importancia de la interacción del ambiente en la floración de los frutales ha sido ampliamente documentada (Cho et al., 2017; Luo et al., 2019).

Diversos autores citan que la temperatura ambiental es el factor principal en la formación de las flores de varios árboles frutales como manzana (Calderón-Zavala et al., 2004), cítricos (Balfagón et al., 2022), litchi (Chen et al., 2016) y el olivo (Benlloch-González et al., 2018). En cultivos tropicales como el mango, las temperaturas inferiores a  $15 \text{ }^{\circ}\text{C}$  promueven fácilmente la inducción floral, mientras que, el crecimiento vegetativo es generalmente promovido por las temperaturas más cálidas (Davenport, 2007; Sandip et al., 2015).

Además de los factores abióticos, los bióticos, como las hormonas en los cultivos, han demostrado influencia en la inducción de la floración, como interacción en los flujos normales de floración que de manera concomitante inducen diversas actividades de manejo en la cosecha de los frutos. Estos procesos interactúan, además con diferentes prácticas agronómicas.

En el caso del cultivo de mango “Ataulfo”, el rendimiento ha disminuido de  $15 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  en 1980 (Gehrke-Vélez, 2008) a  $10.5 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$  en 2021 (SIAP, 2021), y refleja alto índice de aborto floral y caída de frutos pequeños y partenocárpicos (Pérez-Barraza et al., 2009), además, por la alta relación de flores hermafroditas/masculinas y en respuesta a las

condiciones ambientales (Pérez et al., 2019). Los flujos de producción también inducen cortes diferenciales hasta el mes de julio, pero con la consecuente pérdida de valor comercial (Mendoza-Hernández et al., 2020).

En el cultivo de *Coffea arabica* L. se presentan flujos de maduración de los frutos que requieren de una o dos recolecciones manuales en procesos de cosecha selectiva. Si la cosecha es masiva, se cortan los frutos en diferentes estados de madurez, y al no ser selectivo se obtienen las bayas con calidad diferente, lo que genera menor precio en el mercado internacional (Ocampo-López et al., 2017).

La aminoetoxivinilglicina está involucrada en inhibir la ruta metabólica del etileno a partir de metionina, y en este trabajo, existen muy pocas investigaciones relacionadas con plantas tropicales y subtropicales como en mandarinas (Iftikhar et al., 2021), kiwi (Uzun & Ozturk, 2020), café (Unigarro et al., 2018) banano (Tan et al., 2011) y tomate (Saltveit, 2005).

Ante esta situación, consideramos que las aplicaciones exógenas de aminoetoxivinilglicina pueden mejorar fructificación, uniformidad de la cosecha, el tamaño, la maduración y el almacenamiento de mango “Ataulfo” y en el caso del café, la uniformidad para cosecha en la región del Soconusco, Chiapas.

## **1.1 Objetivos**

### **1.1.1 Objetivo general**

Evaluar el efecto de la aplicación exógena de aminoetoxivinilglicina en la maduración y calidad de los frutos de mango var. Ataulfo y de café var. Oro Azteca en la Región del Soconusco, Chiapas.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- a) Comparar la aplicación de aminoetoxivinilglicina en precosecha en *Mangifera indica* L. var. Ataulfo y *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca para uniformizar la maduración y algunas variables de calidad del fruto
- b) Identificar la relación de las concentraciones de aminoetoxivinilglicina aplicadas con respecto al número, firmeza, tamaño y color de los frutos de mango var. Ataulfo y café var. Oro Azteca.
- c) Definir los efectos en la calidad y vida de anaquel de frutos de mango var. Ataulfo y café var. Oro Azteca después de la aplicación de la aminoetoxivinilglicina.

## **1.2 Hipótesis**

- a) El incremento en la frecuencia de aplicación de aminoetoxivinilglicina induce uniformidad en la maduración y firmeza de los frutos de mango var. Ataulfo y café var. Oro Azteca.
- b) A mayor frecuencia de aplicación de aminoetoxivinilglicina favorece el tamaño y firmeza de frutos de mango var. Ataulfo y café var. Oro Azteca.

c) La calidad de frutos de mango var. Ataulfo y café var. Oro Azteca incrementa después de la aplicación exógena de la aminoetoxivinilglicina.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.2 El mango “Ataulfo”

#### 2.2.1 Aspectos fisiológicos

En el mundo existen aproximadamente 121 especies del género *Mangifera*, sin embargo, solo 10 nombres han sido aceptados por la Missouri Botanical Garden Tropicos y World Checklist of Selected Plant Families, dentro de ellas se encuentra *Mangifera indica* L.

*M. indica* L. fue descrita por Linneo a mediados del siglo XVIII y se considera nativo del nordeste de India, Bangladesh y noroeste de Myanmar, en latitud norte comprendido desde los 16° a los 28° de los subtrópicos y trópicos (The Plant List, 2013).

Cada especie de mango tiene un sabor y textura única, que podría deberse a la asociación de los *loci* específicos en su mapa genético, como pueden ser sus características en color de pulpa y epidermis, intensidad del color de epidermis y forma del fruto. Tiene 20 cromosomas diploides, y su rasgo poliembriónico le da la importancia necesaria para la propagación clonal de cultivares y portainjertos (Santos-Villalobos et al., 2011; Kuhn et al., 2017).

En la región del Soconusco, Chiapas, el mango var. Ataulfo se encuentra cultivado a altitudes de los 30 hasta los 450 m sobre el nivel del mar y pueden medir hasta 40 m de altura con diámetro de 1.5 m. Su raíz principal es pivotante y pueden medir hasta seis metros de profundidad y en sentido horizontal hasta siete metros de radio. El fruto es una drupa con forma esferoide prolato (esferoide con eje polar mayor que el diámetro ecuatorial), el color de la epidermis inmadura es verde y amarilla en frutos maduros, mientras que el mesocarpio es anaranjado (WFO, 2022).

#### Floración

La floración del mango es variable y depende de las condiciones ambientales, está compuesta por flores masculinas, hermafroditas y femeninas. En el subtrópico las bajas temperaturas inducen floración y la polinización es esencialmente entomófila, sin embargo, la tasa de fructificación de frutos por árbol es bajo (< 5 %) presentando asincronía entre floración y fructificación (Pérez-Quintanilla et al., 1998).

En México, la floración natural inicia en diciembre y continua hasta febrero, en Colombia se presenta de agosto a octubre, en Costa Rica entre octubre y mayo, y en Florida de diciembre a abril (Gamboa-Porras y Marín-Méndez, 2012; Departamento Administrativo Nacional de Estadística de Colombia [DANE], 2015; Crane y Balerdi, 2018). En la región del Soconusco este periodo es más largo, va de noviembre a abril-mayo.

Las etapas de floración y crecimiento del fruto han sido calificadas por diversas escalas, como lo proponen Pérez-Barraza et al. (2009) en frutos para la variedad

Tommy Atkins. Describen cuatro fases del desarrollo de la floración, a saber, brote vegetativo, inflorescencia, diferenciación y desarrollo de la flor, y las mismas, las dividen en 12 etapas.

En Colombia, Corredor y García (2011), describen tres fases para los cultivares Hilancho y Tommy Atkins que corresponden al desarrollo de la yema, desarrollo del órgano floral y desarrollo del fruto, y cada una de ellas divididas en cuatro etapas.

En mango "Ataulfo" del Soconusco, Chiapas, Alonso-Báez et al. (2016) han ajustado la escala Alfa numérica propuesta por Pérez-Barraza et al. (2006) que identifica el crecimiento de las yemas apicales de los brotes por estadíos ( $E_i; i=n$ ), y la BBCH que indica las etapas de crecimiento para las especies de plantas mono y dicotiledóneas, describiendo la floración por series de tres dígitos (5XX) para explicar el inicio de la floración y la diferenciación de frutos de mango.

Por su parte, Corredor y García (2011), describen el desarrollo del fruto de mango var. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas:

Etapa 1. Las inflorescencias presentan flores abiertas y algunas fecundadas. En mango Ataulfo comúnmente el color de la flor es café, inicia su senescencia y caída. Se presenta 7 días después de la floración (DDF). Algunos frutos son visibles con tamaño de una cabeza de alfiler  $\leq 2$  mm, el color es verde oscuro;

Etapa 2. El diámetro de los frutos alcanzan los  $\leq 10$  mm y se les denomina fruto aceituna, de color verde claro. La mayoría de las flores han caído de la inflorescencia, ocurre de los 7 hasta los 14 DDF;

Etapa 3. Diámetro del fruto llega hasta los  $\leq 20$  mm, comúnmente llamados fruto cáncica (Anexo 1a). No se observa presencia de flores e inicia la caída fisiológica o aborto de algunos frutos, acontece de los 14 a 21 DDF;

Etapa 4. El aumento del diámetro de los frutos continua hasta los  $\leq 40$  mm y  $\leq 70$  mm de longitud (Anexo 1b), alcanzan el 30 % de su tamaño final, además de diferenciarse visualmente de los frutos niños o estenospermocárpicos y se les denomina frutos amarrados, ocurre de los 21 a 28 DDF;

Etapa 5. Las dimensiones en los frutos continúan en aumento, llegan a medir hasta los  $\leq 50$  mm de diámetro y  $\leq 90$  mm de longitud (Anexo 1c), tienen el 80 % de su tamaño final, sucede de los 28 a 35 DDF;

Etapa 6. Los frutos superan los 55 y 91 mm de diámetro y longitud, respectivamente, y conservan el color verde claro (Anexo 1d), llegan a tener el 90 % de su tamaño final y en algunos casos el crecimiento es lento, ocurre entre los 35 y 42 DDF;

Etapa 7. Los frutos llegan  $\geq 60$  mm de diámetro y  $\geq 100$  mm de longitud (Anexo 1e), algunos de ellos alcanzan la maduración fisiológica 43 hasta los 60 DDF, típicamente reconocida por un incremento del endocarpio cercano al pedúnculo, mientras otros

siguen en crecimiento y llegando a superar los 65 y 105 mm de diámetro y longitud, respectivamente. Los están listos para ser cosechados.

Etapa 8. Inicia el proceso de maduración de los frutos cosechados y de los que aún están adheridos a la inflorescencia (Anexo 1f y 1g), así como la pérdida fisiológica de peso y de las características fisicoquímicas del fruto, debido a la liberación de etileno.

### **2.2.2 Influencia del ambiente en el rendimiento del mango**

En la actualidad, la disminución del rendimiento en *Mangifera indica* L. var. Ataulfo se asocia a factores ambientales como la temperatura, precipitación, y es recurrente en áreas de monocultivo (Avendaño-Arrazate y Palacio-Martínez, 2019). El resultado actual en las plantaciones se refleja en alto índice de aborto floral, caída de los frutos pequeños (falta de fructificación del fruto), así como la presencia de frutos con el embrión abortado.

Gehrke-Vélez (2008) cita los factores ambientales como cambios en la temperatura influye en la presencia de mango partenocárpico y la estenospermocarpia. En las regiones tropicales, el incremento  $\geq 20$  °C pueden favorecer la morfogénesis reproductiva (Puche et al., 2012) y temperaturas de 15 a 33 °C que causan la viabilidad del polen del 70 a 85 % con meiosis normales (Gehrke-Vélez et al., 2011).

En forma general, en la actualidad se ha demostrado que es posible complementar el proceso de diferenciación e inducción de las yemas en los brotes e incrementar la fructificación por inflorescencia mediante la aplicación de reguladores del crecimiento como giberelinas y citocininas (Pérez-Barraza et al., 2009), además de la respuesta al cambio de otras variables como la disponibilidad hídrica en el suelo, la temperatura del aire y de la irradiación, o bien, en interacción con factores internos, hormonales y nutritivos (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

### **2.2.3 Importancia y producción del mango Ataulfo**

Actualmente, el mango var. Ataulfo es el de mayor demanda para el consumo fresco y de la agroindustria, por su firmeza, sabor, vida de anaquel, color, aroma y consistencia. Estas características se prefieren en el mercado nacional e internacional (De Gyves et al., 2009).

En 2018, se registró en México una producción general de mango de dos millones de toneladas —incluyendo todas las variedades—, y 631 mil t de mango var. Ataulfo (SIAP, 2021). La exportación de mango durante el 2018 fue de 384,189 t aproximadamente, el cual representó el 20.5% de la producción nacional e incrementó un 4.54 % para el 2019 (401,669 t) y 6.84 % para 2020 (410,470 t). Asimismo, la importación del fruto a México fue de 2,052.2 t en el 2020 (Cuadro 1) (Secretaría de Economía de México, 2022).

Cuadro 1. Principales países destino de exportación e importación de mango en México 2020.

Exportaciones a otros países			Importaciones a México		
País	%	t	País	%	t
Estados Unidos	87.70	359,992*	Perú	53.83	1,104.6
Canadá	9.90	40,665	Ecuador	30.27	621.2
Japón	0.78	3,236	Tailandia	14.26	292.7
España	0.41	1,712	Estados Unidos	1.64	33.7
Francia	0.37	1,534			
Otros	0.84	3,331			
Total	100	410,470		100	2,052.2

\*Expresados en miles de toneladas.

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía de México, 2020.

## 2.1 *Coffea arabica* L.

### 2.1.1 Aspectos fisiológicos de la floración

El café *Coffea arabica* L. fue descrito por Linneo en 1753, es un cultivo perenne, la mayoría de las especies son arbustos y árboles tropicales que pueden alcanzar hasta los 10 m de altura. El periodo de floración a fruto maduro es de nueve meses, cada fruto tiene forma ovalada y posee dos semillas de aspecto aplanado. Existen más de 100 especies autóctonas de África Ecuatorial o Tropical y de algunas islas del Océano Índico (Bentley & Baker, 2002; Rojo, 2014).

En café, la floración la describen Vélez-Arango et al., 2000 y Arcila-Pulgarín, 2007 en cinco etapas. La primera inicia con la inducción floral y de la inflorescencia, la que ocurre a nivel molecular en un periodo es de 30 a 35 días. La segunda, que coinciden la inflorescencia y el desarrollo de los botones florales recubiertos por el mucílago, y se alcanza aproximadamente a los 45 días. La tercera es la latencia que es cuando los botones florales se separan y dejan de crecer, debido a factores ambientales (estrés hídrico) o endógenos (niveles de fitohormonas). La cuarta es la preantesis, esta etapa coincide con la presencia de lluvias, cambio de la temperatura ambiental o a los niveles de concentración de ácido giberélico, los botones aún permanecen cerrados y el periodo es de seis a 10 días. La quinta y última etapa es la antesis o florecencia, es decir, las flores abren y exponen sus pétalos de color blanco e inician su apertura aproximadamente en tres días, las flores se autofecundan y después inicia el desarrollo y crecimiento del fruto (Vélez-Arango et al., 2000; Arcila-Pulgarín, 2007).

La floración del café es afectada por factores exógenos y endógenos, que es diferente por variedad y a los factores ambientales predominantes. Los factores que están más relacionados a la floración son el fotoperiodo, la distribución de épocas húmedas y

secas y la temperatura; los efectos que producen estos factores son de concentrar o dispersar la floración, además de una floración esporádica o de poca magnitud a través del año (Camayo et al., 2003); así, en una misma bandola se pueden encontrar los diferentes estados de desarrollo de floración y fructificación (Figura 1).



Figura 1. Etapas de la floración en *C. arabica* L. var. Oro Azteca en el Soconusco, Chiapas. (a), botón floral (b), floración esporádica (c) floración y fructificación (d) frutos en diferentes estados de desarrollo.

El patrón de crecimiento del fruto varía entre especies, variedades e inclusive clones. La variación se atribuye a diversos factores como las condiciones ambientales. En *C. arabica* L. el patrón se ha descrito como una curva sigmoideal o lineal; en *C. canephora* Pierre ex A. Froehner como curva lineal para la materia fresca y seca. Se han identificado cinco etapas de desarrollo del fruto (Arcila-Pulgarín et al., 2002; Eira et al., 2006; DaMatta et al., 2007):

Etapa 1. El fruto es del tamaño de una cabeza de alfiler, tienen alta tasa de respiración debido a la presencia de división celular. Ocurre de seis a 10 semanas después de la floración, los frutos solo tienen el 10 % de su tamaño final.

Etapa 2. El crecimiento es rápido, inicia a las 10 semanas y finaliza entre la semana 16 y 17 después de la floración. Los frutos son de color verde claro y solo miden el 30 % de su tamaño final.

Etapa 3. El crecimiento es lento y suspendido. Los frutos se encuentran entre el 50 y 70 % de su tamaño final y, ocurre entre la semana 16 y 18 después de la floración a la semana 25. El color de los frutos es de tonalidad verde claro a oscuro.

Etapa 4. En los frutos ocurre el llenado del endospermo y se origina después de la semana 25 a la 32. La materia seca se deposita en las semillas, los frutos son de color verde claro a anaranjado/rojo (amarillo-rojo) y han alcanzado la maduración fisiológica.

Etapa 5. Acontece entre la semana 32 a 36. Los frutos están maduros y son de color rojo o amarillo, esto dependerá de la variedad. Los cambios ocurren mayormente en el pericarpio del fruto; aumenta la intensidad de respiración y el contenido de azúcares.

### **2.1.2 Influencia del ambiente en el rendimiento del café**

Las especies de café comercialmente más importantes son *C. arabica* L. y *C. canephora* Pierre ex A. Froehner, con diferencias química, genética, organoléptica y morfológicamente (Puerta-Quintero, 2000). La mayoría de las variedades de *Coffea arabica* en el mundo son morfológicamente diferentes, sus frutos presentan contrastes en calidad en el pre y postcosecha, aunque son parecidas genéticamente (López-García et al., 2016).

Entre los factores ambientales que influyen en la calidad del café son la altitud, sombra y variedad, de la cual depende la cantidad y calidad de frutos a cosechar (López-García, et al., 2016). Para aumentar la producción y calidad de un cultivo de café se requiere del implemento de buenas prácticas, con enfoque especial en la cosecha y beneficio, etapas que influyen en el producto final (Ocampo-López et al., 2017), así como realizar podas de mantenimiento para favorecer el crecimiento de nuevas ramas para preparar nuevo tejido reproductivo y eliminar la alternancia de la producción (Nava-Tablada et al., 2011).

La productividad del café en condiciones de campo en términos de crecimiento, desarrollo, acumulación de biomasa y rendimiento, depende de la habilidad de las especies para adaptarse a las variaciones climáticas, ejerciendo mecanismos específicos de tolerancia ante el estrés (Anand et al., 2014).

Por lo que una alternativa al número de cortes por cosecha es retardar o acelerar la maduración del fruto y homogeneizar el color a la cosecha, de esta forma se obtendría una mejor calidad que la cosecha tradicional, como lo son el desgrane masivo, que se desprenden los frutos con diferentes estados de desarrollo, y si no es selectiva la cosecha, se obtiene café con calidad no deseada y menor precio en el mercado internacional (Ocampo-López et al., 2017).

La floración determina el número de cortes durante la cosecha (V. H. Ramírez, 2014) en una misma rama o bandola se pueden observar diferentes estados de desarrollo del fruto (Figura 1b). La cosecha de frutos se hace de acuerdo al color de la cereza que se presenta al madurar; puede ser verde, amarillo o rojo, y depende de la variedad de café (Marín-López et al., 2003b), en café "Oro Azteca" el color del fruto maduro es rojo (Figura 2).

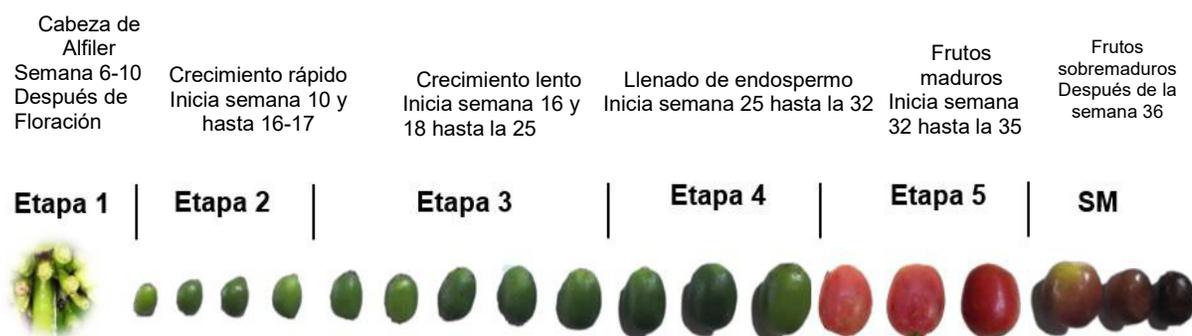


Figura 2. Etapa del fruto de *C. arabica* L. var. Oro Azteca creciendo en el Soconusco, Chiapas. Foto: Autoría propia

### 2.1.3 Importancia y producción del café

El café es considerado un grano de importancia comercial en la economía mundial, debido a que genera una cadena productiva diversificada que permite la generación económica y mejora las condiciones de vida de la población, integra criterios ambientales, sociales y culturales (Gómez et al., 2013; CEDRSSA, 2019). Las especies de *Coffea*, *C. arabica* L. y *C. canephora* Pierre ex A. Froehner son las más cultivadas, con una producción entre el 60 y 40 % a nivel mundial, respectivamente, asimismo, la especie *C. liberica* W. Bull ex Hiern y *C. liberica* var. *dewevrei* (De Wild. & T.Durand) Lebrun son menos cultivada (ICO, 2022).

Los países con mayor producción en 2020 fueron Brasil, Vietnam, Colombia e Indonesia, con 69.0, 29.0, 14.3 y 12.1 millones de sacos de café verde<sup>1</sup>, respectivamente. México ocupó el octavo lugar con una producción de 4.0 millones de sacos de café verde y exportó 88.45 mil t de café, así como importó al país 9.70 mil t (Cuadro 1) (SEM, 2020). Los principales consumidores de café son los países de la Unión Europea, Asia y Oceanía y Norte América.

La exportación representa una parte fundamental en las divisas de países subdesarrollados que llegan hasta el 80 % (Flores, 2015).

<sup>1</sup> Un saco de café verde pesa aprox. 60 kg.

Cuadro 2. Exportaciones e importaciones de café (kg) de México a los principales países en el año 2020.

Exportaciones		Importaciones	
País	%	País	%
Estados Unidos	43.66	Estados Unidos	43.95
Alemania	14.91	Brasil	28.74
Bélgica	10.05	Colombia	9.40
España	6.11	Nicaragua	6.34
Canadá	4.07	Guatemala	4.64
Italia	3.49	Perú	3.53
Otros	17.67	Otros	3.36

Fuente: Elaboración propia con datos de la Secretaría de Economía de México (SEM, 2022)

En México, *Coffea arabica* L. se cultiva por más más de 500 mil cafeticultores mexicanos, en su mayoría por pequeños productores con escaso capital para la inversión en su manejo (López-García et al., 2016), sin embargo, en el 2018 llegó a cultivarse en 712,30.15 ha y a producir 859.9 mil t de café cereza. En 2019 y 2020 la producción se incrementó a 4.6 % y 10.8 % respectivamente (SIAP, 2021).

En Chiapas, hay más de 180 mil cafeticultores de los cuales el 61 % son indígenas. A nivel nacional, en 2019 Chiapas produjo el 40.9 %, 24.2 % Veracruz, Puebla con 16 % y Oaxaca con 9.4 %; el 9.5 % de la producción fue acumulada por los estados de Guerrero, Hidalgo, Nayarit, Jalisco, Colima, San Luis Potosí y Tabasco (INCAFECH, 2019; CEDRSSA, 2019).

## 2.3 Maduración de los frutos

### 2.3.1 Biosíntesis del etileno en el fruto

El etileno es una hormona vegetal que regula aspectos de crecimiento, desarrollo, abscisión, maduración de frutos y senescencia en plantas (Abeles et al., 1992). La biosíntesis del etileno ocurre a través de una ruta metabólica que involucra metionina (Figura 3), que se convierte a S-adenosilmetionina (SAM) por acción de la enzima S-adenosil metionina sintasa (SAM sintasa) utilizando una adeninucleotridofosfato (ATP) y agua con la liberación de difosfato (PP<sub>i</sub>) y fosfato inorgánico (P<sub>i</sub>) (Tarun et al., 1998). Después de esta conversión, la enzima ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico sintasa (ACC sintasa) cataliza la SAM al ácido -aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) y libera 5'-deoxi-5' metil-tio-adenosina (MTA) (Tarun et al., 1998; Carbonell et al., 2000; Argueso et al., 2007).

Este es el primer paso comprometido por limitar, en la mayoría de los casos, la velocidad de biosíntesis de etileno. Además, de estar influenciado por las señales de desarrollo como la maduración y por una serie de fitohormonas como citocininas, auxinas, brasinoesteroides, entre otros (Argueso et al., 2007).

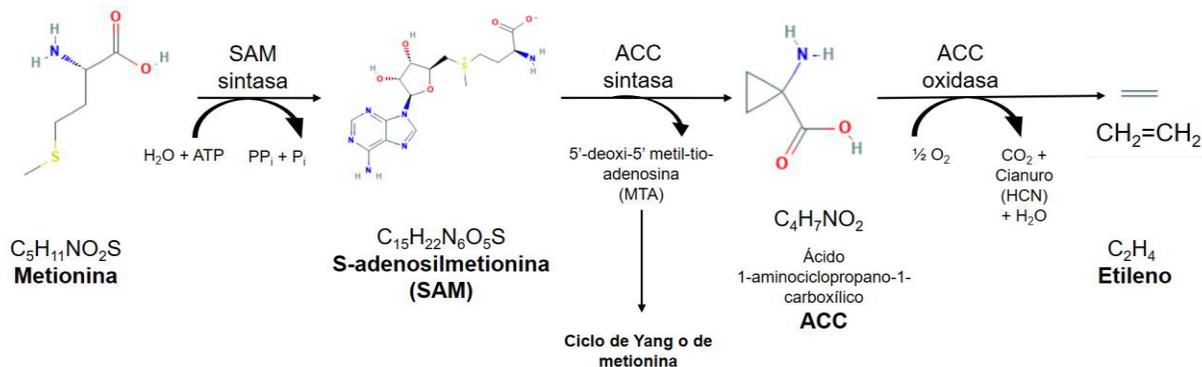


Figura 3. Ruta de biosíntesis del etileno (Argueso et al., 2007; NCBI, 2021).

La metionina se tiene que regenerar mediante reciclaje que inicia con la liberación de un grupo metilo ( $CH_3-S-$ ) desde SAM como 5'-metil-tio-adenosina (MTA) durante la formación de ACC que libera adenina y ribosa (metil-tio-ribosa) a este ciclo se le llama ciclo de Yang o metionina (Cruz et al., 2010).

La ACC sintasa es una enzima citosólica de corta vida y existe en baja abundancia en tejidos vegetales (Tarun et al., 1998) y está mediada por un cofactor denominado piridoxal-5'-fosfato (PLP) (Tarun et al., 1998; Yu et al., 1979). La actividad de ACC sintasa ha sido detectada en extractos de frutos maduros como tomate, aguacate y manzana, además en segmentos de hipocótilo de frijol mungo o soya verde, la cual produce altas concentraciones de etileno (Yu et al., 1979).

El siguiente paso en la biosíntesis, es la actividad de la enzima ACC oxidasa que la cataliza a ACC y la convierte en etileno, debido a la modificación de los carbonos C-2 y C-3 del ACC, mientras que el C-1 es convertido a cianuro y el grupo carboxilo pasa a  $CO_2$  (Argueso et al., 2007). De esta forma se genera la respuesta de maduración y senescencia en los frutos. Esta reacción está mediada por oxígeno, ácido ascórbico, iones de  $Fe^{2+}$  y niveles bajos de  $CO_2$  que activan a la enzima (Cruz et al., 2010). Esta enzima pertenece a una familia de enzimas no hemo mononucleares que contienen hierro, son caracterizadas por una unión de hierro del ácido 2-histidina-1-carboxílico (Argueso et al., 2007) y, es aquí, donde la acción de la enzima ACC oxidasa toma importancia por estar asociada a la integridad de las membranas celulares y otros tejidos, que se refleja en un alto incremento de la maduración del fruto y por exposición del etileno (Cruz et al., 2010), además de que pueden utilizarse productos de aplicación exógena para su inhibición, limitando la biosíntesis del etileno.

### 2.3.2. Cambios fisiológicos de los frutos

La maduración de los frutos se expresa en eventos que están regulados por factores intrínsecos y extrínsecos, como la genética, hormonas, desarrollo y, estrés biótico y abiótico. El proceso de maduración de los frutos trae cambios fisiológicos y fisicoquímicos que alteran los elementos que dan la calidad y vida de anaquel característicos de cada especie, como pérdida de firmeza y peso, cambios en el color y sabor, entre otros (Argueso et al., 2007; Martínez-González et al., 2017).

El fruto se desarrolla en cuatro etapas, crecimiento, desarrollo, maduración y senescencia. El crecimiento y desarrollo del fruto inicia después de la polinización, debido a la actividad de división celular y aumento del tamaño de las células (Martínez-González et al., 2017), visualmente se aprecia incremento en el diámetro, diámetro longitudinal y aumento de peso hasta alcanzar su máximo tamaño y está desarrollado de tal manera que puede seguir madurando después de la cosecha.

En los frutos maduros se distinguen dos clases, los frutos climatéricos, con aumento en la tasa de respiración a través del tiempo y los no climatéricos que disminuyen la tasa de respiración lentamente (Gross et al., 2016). En ambas clases de frutos, la dinámica de respiración está asociada a la síntesis de etileno.

La respiración de los frutos o su tasa de respiración varía de acuerdo a cada especie, como en manzanas almacenadas a 20 °C cuya tasa de respiración es de 11.1 mg CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup>. En naranja a la misma temperatura es de 15.5 mg CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup> y en mango 62.7 mg CO<sub>2</sub>·kg<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup> (Gross et al., 2016). En el caso de café *C. arabica* var. Colombia en color “amarillo-rojo” donde la tasa de respiración es de 7.8 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup> a 25 °C (Marín-López et al., 2003b).

En el caso de café, la tasa de respiración muestra un comportamiento climatérico 12 horas después del corte (Marín-López et al., 2003b; Unigarro et al., 2018). Durante el proceso de maduración a senescencia de los frutos, se aprecia cambio visual de color, como en café en las diferentes etapas, que parte de un intenso color verde (93.6 %) a los 124 días después de floración (DDF) y cambia a rojo cereza (69.6 %) a los 244 DDF cuando el fruto está maduro. En la dominación “sobremaduro” el color es rojo intenso (26.7 %) y baja a 1.3 % cuando el fruto está deshidratado (Ságio et al., 2013).

Asimismo, en esta etapa, en los frutos tienen pérdida de humedad desde el 80 % a los 124 DDF hasta ≤65 % a los 244 DDF en *C. arabica*, la humedad en mango de madurez fisiológica a consumo va de 83.6 a 59.7 % (Siller-Cepeda et al., 2016).

El mango comúnmente se corta en madurez fisiológica que se alcanza de los 43 a 60 DDF, conforme pasa el tiempo aumenta la tasa de respiración, con un incremento de 27.2 a 61.2 mL CO<sub>2</sub> kg<sup>-1</sup>·ha<sup>-1</sup> a 20 °C, además de cambios en el color del epicarpio y mesocarpio, así como otras características fisicoquímicas (Siller-Cepeda et al., 2009).

El cambio de color ocurre por la transformación de pigmentos como carotenoides, antocianinas y clorofilas, debido a la presencia del etileno, manejo del huerto,

intensidad de luz solar, de la temperatura y agentes bióticos, que estimulan la síntesis de estos pigmentos. Otro cambio que se presenta por la maduración y senescencia es el ablandamiento del fruto, que provoca disminución de la vida de anaquel, esto se debe a una serie de actividades que modifican la pared celular debido a la actividad de enzimas como poligalacturonasa, pectinmetilesterasa entre otras, y el efecto se presenta con la pérdida de firmeza, en mango en madurez fisiológica y de consumo la diferencia entre ambas es de 9 kg·f siendo la mayor en la primera (Maldonado-Astudillo et al., 2016); para café arábica la diferencia de firmeza entre los 182 a 238 DDF es de 44.2 N·mm<sup>-1</sup>, obteniendo la mayor de firmeza en los 182 DDF (Carvajal et al., 2012). Los cambios fisicoquímicos y fisiológicos que ocurren debido al proceso de maduración en los frutos son irreversibles una vez iniciadas, esto solo puede retrasarse con aplicaciones exógenas de productos o de diferentes procedimientos (Martínez-González et al., 2017).

### **2.3.3. Principales reguladores exógenos del etileno en el fruto**

La biosíntesis del etileno requiere a la ACC sintasa para transformar el aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) a etileno y para esta acción, la enzima requiere de un fosfato piridoxal como cofactor (Tarun et al., 1998). Este paso de la biosíntesis es un punto clave para su inhibición, como el caso de la aminoetoxivinilglicina (Carbonell et al., 2000; De la Cruz et al., 2010), 1-metilciclopropeno (1-MCP) (Valdés et al., 2009) y el ácido aminooxiacético (AOA) (Yu et al., 1979), así mismo, otros análogos de aminoácidos β,γ-insaturados metoxivinilglicina, vinilglicina y la AVG, siendo esta última un potente inhibidor (Yu et al., 1979).

Recientemente, el uso de 1-MCP ha sido un efectivo inhibidor del etileno, prolongando el almacenamiento en varios frutos como *Sechium edule* (Cadena-Iñiguez et al., 2006). El 1-MCP actúa directamente en los sitios receptores del etileno en las células disminuyendo su producción, además reduce la expresión de genes que codifican a las enzimas ACC sintasa y oxidasa (Balaguera-López et al., 2014).

Las aplicaciones de 1-MCP a 625 µg·L<sup>-1</sup> en 200 L de agua, en mango Keitt, ayudó a disminuir la pérdida de peso hasta 27 % en frutos sin tratamiento hidrotérmico cuarentenario y refrigerados durante 21 días a 12 ± 1 °C con respecto al testigo (Osuna-García et al., 2017).

En el caso de AVG al aplicar 100 µg·L<sup>-1</sup>, en café Castillo, incrementaron un 12.8 % los frutos maduros, además, disminuyeron hasta el 11 % la caída de frutos en el primer corte, con respecto al testigo (Unigarro et al., 2018).

En cambio, para estimular la síntesis de etileno, se utilizan productos como el etefón o ácido 2-cloroetilfosfónico (Silva et al., 2011), citocininas como 6-bencilaminopurina y N-(2-cloro-piridin-4-yl)-N'-fenilurea (CPPU), que además han mostrado que pueden inducir el crecimiento y desarrollo de diversos frutos (Matsuo et al., 2012).

## 2.4 Aminoetoxivinilglicina (AVG)

### 2.4.1 Biosíntesis de la AVG

Aminoetoxivinilglicina, clorhidrato de aviglicina, aviglicina o ácido L-2-Amino-4-(2'-aminoetoxi)-trans-3-butenoico (AVG) es un aminoácido natural análogo de la rizobitoxina que inhibe la producción de etileno en plantas (Ness & Romani, 1980).

Se han propuesto al ácido aspártico y la homoserina como precursores del AVG a partir de la ruta biosintética de la treonina, los genes involucrados en su producción son *thrB*, *thrC*; su peso molecular es de  $161.2 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$  y fórmula molecular  $\text{C}_6\text{H}_{13}\text{ClN}_2\text{O}_3$  (Figura 4 y 5) (Fernández et al., 2004; NCBI, 2021).

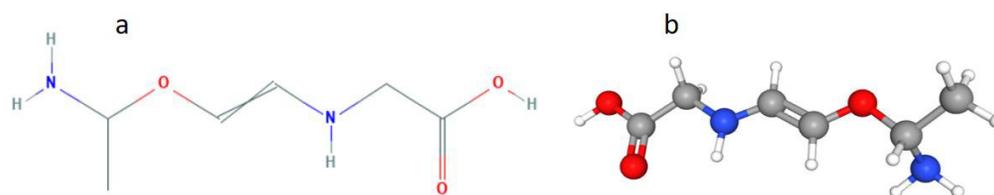


Figura 4. Estructura química de la aminoetoxivinilglicina en 2D (a) y 3D (b).  
(Fuente: NCBI, 2021)

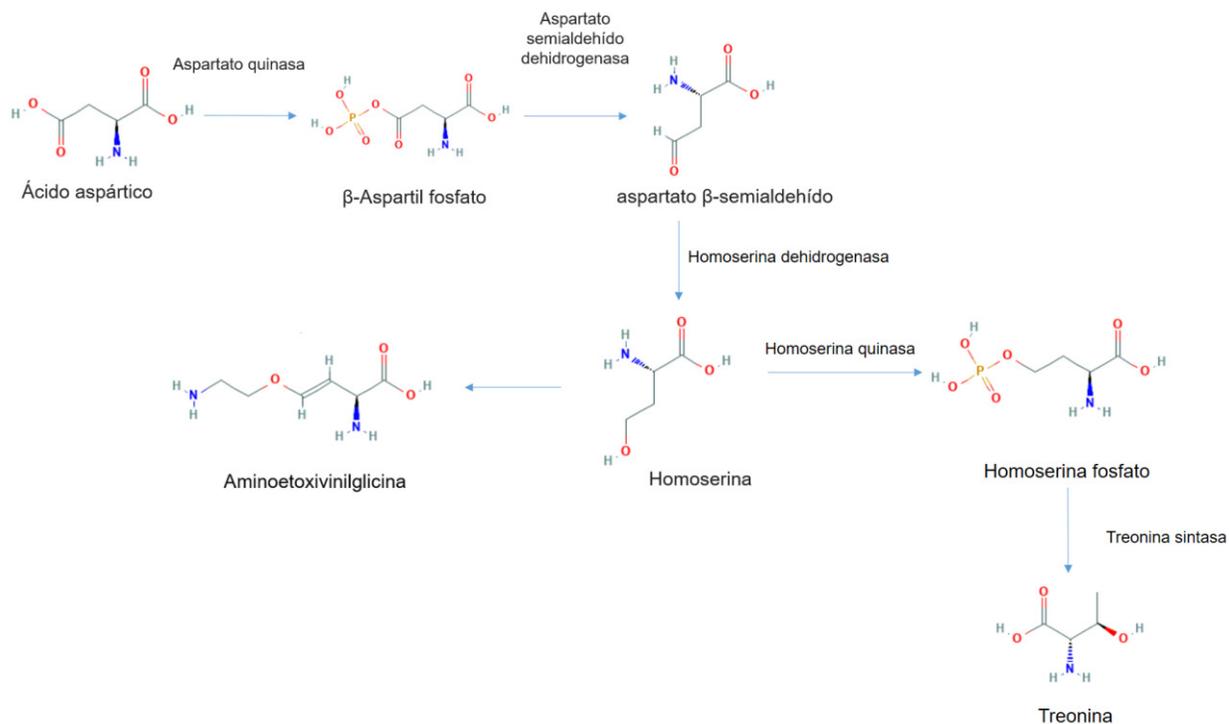


Figura 5. Ruta biosintética de treonina que muestra el paso a la producción de AVG en *Streptomyces* sp. (Fuente: Elaboración propia basada en Fernández et al., 2004 y NCBI, 2021).

AVG actúa en las enzimas dependientes del piridoxal fosfato como las ACC sintasa, y bloquea la síntesis de S-adenosilmetionina a 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) e inhibe la producción de etileno en los tejidos vegetales (Ness & Romani, 1980). Puede interferir en otras reacciones que dependen del fosfato piridoxal (Yu et al., 1979) y en consecuencia disminuye la caída precosecha de frutos y la madurez precoz en el árbol (Amarante et al., 2002).

#### 2.4.2. El producto comercial ReTain™

El ingrediente activo de ReTain (Valent BioSciences® Corporation) es clorhidrato de aviglicina a 150 g·kg<sup>-1</sup>, (15 % de ingrediente activo) en la forma de polvo soluble en agua. Se recomienda aplicar en dosis de 0.55 a 1.03 g·L<sup>-1</sup> de agua (agua con pH entre 6 y 8) por las mañanas y evitar lluvias por seis horas. No aplicar cuando el árbol esté enfermo o tenga incidencia de plagas.

Se recomienda su uso en frutos de hueso y manzanas. Se aplica en un período comprendido entre los 7 hasta 28 días antes de la cosecha y durante la floración entre 30 y 60 % (en cerezas). Ha sido aplicado en huertas comerciales desde 1997 con resultados favorables como en café, aguacate, banano (ver 2.4.3) (Valent BioSciences Corporation, 2001).

Se indican respuestas en el retraso de la maduración debido a la inhibición de etileno, en manzana de las variedades Gala, con una concentración de <5 ppm (testigo <3 ppm), Fuji con <0.8 ppm (testigo <0.5 ppm), aumento de la firmeza en manzana Royal Gala de 8 a 10 kg·(cm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> (testigo 7 a 9 kg·(cm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>) y en nectarina Arctic Rose 4 a 6 kg·(cm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup> (testigo 2 a 4 kg·(cm<sup>2</sup>)<sup>-1</sup>), y la caída de frutos de manzana Tsugaru de <10 % (testigo >70 %) y durazno Taylor Queen con <45 % (testigo >55 %) (Valent BioSciences Corporation, 2001).

### **2.4.3. Generación de impacto en la agricultura**

El área que ha generado más impacto en la investigación de los efectos de AVG es en el uso precosecha, no obstante, se ha logrado manipular usando AVG el crecimiento vegetativo, la floración, tamaño, forma, desarrollo del color y calidad postcosecha (Ozturk et al., 2013).

En manzana cv. Gala, las aplicaciones de AVG favorecieron la disminución de caída de frutos (Amarante et al., 2002). En manzanas Fuji y en duraznos cv. El Dorado la reducción en la producción de etileno, y la producción de CO<sub>2</sub> (Brackmann et al., 2004; 2007).

Las aplicaciones de AVG previas a la cosecha disminuyeron significativamente la pérdida de firmeza de la pulpa en duraznos var. Redhaven y en nectarinas var. Stark Red Gold (Brackmann et al., 2007).

Aplicaciones precosecha de AVG en frutas de hueso tienen efecto significativo en disminución de la producción de etileno y la tasa de ablandamiento de los frutos. Sin embargo, la AVG también se ha utilizado en aplicaciones postcosecha, de tal manera que en frutos de albaricoques con aplicaciones postcosecha de AVG disminuyó la producción de etileno y tuvieron mayor firmeza (Valdés et al., 2009).

Otros estudios citan efectos de AVG (ReTain™, Valent BioSciences Crop, USA) en variables fisicoquímicas, como la disminución de la pérdida de firmeza del 6 al 4 % al aplicar AVG de 125 y 250 g·ha<sup>-1</sup>, 21 días antes de la cosecha en durazno *Prunus persica* var. Eldorado, almacenados dos días a 20 °C en Río Grande del Sur, Brasil (Brackmann et al., 2007).

En *Coffea arabica* L. var. Castillo, las aplicaciones de AVG puro (100 µg·L<sup>-1</sup>) disminuyeron al 16 % los frutos muy maduros y aumentaron 12 % los maduros, además de disminuir 11 % la caída de frutos con respecto al testigo durante el primer corte, en las condiciones de Buena Vista Quindío, Colombia (Unigarro et al., 2018).

En el caso de frutos de cereza dulce *Prunus avium* L. var. North Wonder, Kucuker & Ozturk, (2015), reportan los efectos de mejora en la coloración del epicarpio al aplicar AVG (ReTain) a 125 mg·L<sup>-1</sup> en dos ocasiones, tres y dos semanas antes de la cosecha con respecto al testigo, debido a la participación del etileno en la biosíntesis de los pigmentos.

Las aplicaciones de AVG (ReTain) de 100, 300 y 500 mg·L<sup>-1</sup> en manzana *Malus domestica* Borkh. var. Braeburn cuatro semanas antes de la cosecha, indujo disminución del 8 % en pH, incrementó los fenoles totales del 40 % y 60 % en la pulpa y epidermis con la concentración más alta (Ozturk *et al.*, 2013).

La producción de etileno puede ser inducida también por la invasión de patógenos, que puede afectar la defensa de la planta al disminuir la producción de fitoalexinas y proteínas relacionadas con la patogénesis.

Se ha demostrado que con aplicaciones de AVG se favorece la prevención de enfermedades, sin embargo, su relación no es evidente. En frutos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y banano (*Musa acuminata* Colla) se producen ciertos volátiles como el etileno, que puede ser inhibido por aplicaciones exógenas de AVG, retrasar la maduración, la germinación y formación del tubo apresorio de los patógenos *Colletotrichum gloeosporioides* y *C. musae* (Berk & Curt.) von Arx; sugiriendo una respuesta de la planta a la patogénesis fúngica (Robison *et al.*, 2001).

Existen otros casos, donde la aplicación de AVG no es tan favorable, como sucedió al incrementar la incidencia de mancha de la hoja en manzana var. Royal Gala causada por *Colletotrichum gloeosporioides* (Penz.) a concentraciones de 125 a 250 mg·L<sup>-1</sup> (Bogo y Gonçalves, 2011).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Área de estudio

##### 3.1.1 Localización geográfica de los sitios experimentales

La investigación se desarrolló en condiciones de campo y laboratorio. Los sitios experimentales en campo fueron tres y uno en laboratorio. Se presentan en el Anexo 2. A continuación, se describen las localizaciones geográficas de cada sitio (INEGI, 2016):

Mango

2) La Norteña: Cultivo de *Mangifera indica* L. var. Ataulfo en el Sitio Experimental “La Norteña” perteneciente al INIFAP, en el municipio de Tapachula, Chiapas. Geográficamente localizado en las coordenadas 14° 45' 36.8" N y 92° 23' 4.61" O, en el Km 20.5 del tramo carretera Tapachula-Puerto Chiapas, con altitud de 25 m y pendiente de  $\leq 2$  %.

3) Santa Cecilia: Cultivo de *Mangifera indica* L. var. Ataulfo. Propiedad ejidal en el Ejido Santa Cecilia, en el municipio de Huehuetán, Chiapas. Geográficamente localizado en las coordenadas 15° 03' 12.4" N y 92° 20' 60' O, con altitud de 311 m y pendiente de  $\geq 18$  %.

Café

1) Cultivo de *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca, en el Campo Experimental Rosario Izapa perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). Geográficamente localizado a 14°58'15.5" N 92°09'25.9" O, en el Km. 18 de la carretera Tapachula - Tuxtla Chico - Cacahoatán, Tuxtla Chico, Chiapas, con altitud de 426 m.

Análisis postcosecha

4) Laboratorio de Fisiología de Postcosecha y Laboratorio Integral de la Facultad de Ciencias Agrícolas, Campus IV de la Universidad Autónoma de Chiapas, ubicada en Huehuetán, Chiapas. Localizada geográficamente en las coordenadas 15° 01' 14" N y 92° 39' 59" O, con altitud de 26 m.

##### 3.1.2 Condiciones edafoclimáticas y de manejo

En la Cuadro 3 se presentan las características edafoclimáticas de los sitios experimentales.

En los sitios donde se desarrolló la investigación en mango, las edades de las plantaciones eran de 18 (La Norteña) y 21 (Santa Cecilia) años al momento del estudio.

En el sitio Rosario Izapa el manejo del cultivo de café “Oro Azteca” es considerado Convencional, donde se aplica el paquete tecnológico propuesto por el INIFAP para las labores de manejo.

Ambos sitios presentan dos tipos de manejo agronómico:

Cuadro 3. Condiciones edafoclimáticas generales en dos huertos de mango var. Ataulfo y uno de café “Oro Azteca”.

Descripción	La Norteña (La Norteña)	Santa Cecilia (Santa Cecilia)	Sitio 3 (Rosario Izapa)
Suelo dominante	Phaeozem	Acrisol	Cambisol
Clima	Cálido subhúmedo con lluvias en verano	Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano	Cálido húmedo con abundantes lluvias en verano
Viento Km h <sup>-1</sup>	7.04	4.88	7.03
Precipitación anual (mm)	1,200 a 1,500	2,000 a 3,000	4,000 a 4,500
Temperatura °C	Mínima	20	19
	Media	28	27
	Máxima	39	35

Fuente: INEGI, 2016.

En el sitio La Norteña, el manejo es Convencional (monocultivo), con aplicaciones de agroquímicos como fungicidas, insecticidas, herbicidas, fertilizantes químicos sintéticos al suelo, antes de la floración se aplica nitrato de potasio, riego por aspersión, podas de mantenimiento y saneamiento, uso de maquinaria agrícola.

En el sitio Santa Cecilia el manejo es Agroecológico (Policultivo) de temporal, con aplicaciones anuales de abonos orgánicos (bocashi), limpia manual de arvenses, podas de fructificación y de saneamiento, y en caso necesario, aplicaciones de cal, sobre todo para los frutos desechados durante la cosecha y para encalar la base del tallo de los árboles hasta una altura promedio de un metro.

La temperatura del laboratorio fue de  $25 \pm 3$  °C, iluminado con lámparas fluorescentes de 54 W de potencia, 6500 k luz de día, flujo luminoso 4150 y ángulo de luz 360°, además de entrada de luz natural por los laterales.

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Material vegetal

En el sitio La Norteña, se utilizaron árboles de *M. indica* L. var. Ataulfo, sembrados en “marco real” y una distancia entre plantas de 15 x 15 m. En el sitio Santa Cecilia, la siembra es “cinco de oros” y la distancia entre plantas es de 20 x 20 x 14.4 m.

Los árboles de café *C. arabica* L. var. Oro azteca en Rosario Izapa, cuentan con cinco años al momento del estudio. El lote donde se llevó a cabo la recolecta de frutos de café tiene 182 plantas de la variedad Oro Azteca, sembradas a una distancia de 2.0 x 1.5 m.

### 3.2.2 Establecimiento del experimento en campo

#### 3.2.2.1 Mango “Ataulfo”

En el sitio La Norteña, durante el mes de diciembre 2019 fueron seleccionados cuatro árboles, considerando el registro del rendimiento del año anterior. En el sitio Santa Cecilia se seleccionaron ocho árboles (dos plantas por tratamiento) en enero 2020. En cada árbol se establecieron los cuatro tratamientos (cada tratamiento en un punto cardinal y con rotación entre ellos) en diseño experimental completamente al azar, con cuatro repeticiones cada uno.

#### 3.2.2.2 Café “Oro Azteca”

En Rosario Izapa, se observaron y dieron seguimiento a 30 plantas en el mes de agosto a noviembre de 2020. Las mismas fueron seleccionadas con un mínimo de 100 frutos mayores a 5 mm de diámetro. En abril de 2021 se etiquetaron cuatro bandolas distribuidas al tercio superior de la planta para dar seguimiento al diámetro ecuatorial de los frutos antes y después de las aplicaciones de AVG (Cuadro 5). Las plantas seleccionadas fueron 15 (tres por tratamiento) con cinco tratamientos, donde una repetición fue una planta, y tres bloques por tratamientos.

En ambos sitios se etiquetaron cuatro panículas por repetición, tomando como referencia frutos de un diámetro longitudinal aproximado de  $6 \pm 1$  cm a los que se les aplicaron los tratamientos (Cuadro 4).

#### 3.2.2.3 Aminoetoxivinilglicina (AVG)

La formulación comercial que se usó es ReTain® (aminoetoxivinilglicina clorhidrato) generada por Valent BioSciences® Corporation (USA). Se indica en la etiqueta, que el contenido es de  $150 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$  con una presentación soluble no tóxica. Se aplicaron los tratamientos al  $0.1378 \text{ mM}$  (eq. a  $0.14 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  del i.a. o  $100 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  de ReTain) más el testigo (Cuadro 4).

Cuadro 4. Tratamientos y frecuencias de aplicaciones de AVG en mango var. Ataulfo en el Soconusco, Chiapas.

Tratamiento	Frecuencia (días)
Testigo	Sin aplicación
AVG-1	Una vez (7 días antes de cosecha)
AVG-2	Dos veces (21 y 14 días antes de cosecha)
AVG-3	Tres veces (21, 14 y 7 días antes de cosecha)

La aplicación de AVG a los árboles de mango se realizó mediante una aspersor manual de 2.0 L de capacidad para el sitio La Norteña y una bomba motorizada de 15 L para

el sitio Santa Cecilia (Anexo 3). En la Norteña, la primera aplicación fue el 29 de enero y en Santa Cecilia el 08 de marzo, ambos en el año 2020.

Para el caso de café, los tratamientos se aplicaron más el testigo (sin aplicación) con diferencia de 13 días cada una (Cuadro 5), utilizando aspersor manual de dos litros de capacidad. El AVG fue aplicado durante la Etapa IV del desarrollo del fruto (Marín-López et al., 2003a) cuando se observaron los primeros frutos en el estado 79 de la escala BBCH (Arcila-Pulgarín et al., 2002) (Anexo 4).

Cuadro 5. Tratamientos y frecuencias de aplicaciones de AVG en café “Oro Azteca” en el Soconusco, Chiapas.

Tratamiento	Frecuencia	Semanas antes de la cosecha
Testigo	Sin aplicación	-
AVG-1	Una vez (21 junio)	16
AVG-2	Dos veces (2 y 8 junio)	19
AVG-3	Tres veces (26 mayo, 8 y 21 junio)	20
AVG-4	Una vez (06 julio)	14

### 3.2.3 Variables físicas

#### 3.2.3.1 Mango “Ataulfo”

Se utilizaron cuatro frutos frescos como unidades experimentales para evaluar el color, diámetro y textura. Las pruebas fueron por triplicado en cada análisis.

Peso del fruto (g). El peso del fruto de mango se determinó con el uso de una balanza digital (OHAUS®, Adventurer Pro AV4101, China) con sensibilidad de 0.1 g, pesando los frutos obtenidos por tratamiento. El peso final fue designado con base a la Norma Oficial Mexicana NOM-188-SCFI-2012 (NOM-188-SCFI-2012, 2012), que clasifica al mango “Ataulfo” por el tamaño y peso (Cuadro 6).

Cuadro 6. Clasificación por tamaño y peso de las fases de desarrollo del fruto en mango “Ataulfo”.

Clasificación	Descripción
Por peso	Peso (g)
Extra grande	324 a 606 o más
Grande (Primera)	269 a 323
Mediano (Segunda)	239 a 268
Chico (Tercera)	119 a 238
Mango “Ataulfo” niño	Menor a 118

Adaptado de NOM-188-SCFI-2012

Pérdida de peso (g). Se determinó el porcentaje de pérdida de peso acumulada a cuatro frutos por tratamiento durante la vida de anaquel de cada fruto.

Diámetro polar y ecuatorial del fruto (cm). Se midieron los diámetros mediante la medición de ambos polos utilizando un vernier digital Truper ®.

Color del epicarpio. Se midió el color con un colorímetro portátil (X-Rite, SP62, USA) para obtener datos de luminosidad ( $L^*$ ), cromaticidad ( $C^*$ ) y tono o ángulo hue ( $^{\circ}h$ ) del sistema de la Comisión Internacional de la Iluminación (por sus siglas en francés CIE) 1976  $L^*C^*h$ . Asimismo, se calcó la diferencia de colores del espacio  $L^*C^*h$  (CIE, 2004):

Diferencia en luminosidad

$$\Delta L^* = L^*_1 - L^*_0; + = \text{más claro}, - = \text{más oscuro}$$

Diferencia en cromaticidad

$$\Delta C^* = C^*_1 - C^*_0; + = \text{mayor saturación}, - = \text{menor saturación}$$

Diferencia en el ángulo hue

$$\Delta h = h_1 - h_0; + = \text{mayor tono}, - = \text{menor tono}$$

Firmeza. Se siguió la Norma Mexicana NMX-FF-058-SCFI-2006 que establece las especificaciones mínimas de calidad que debe cumplir el mango (*Mangifera indica* L.) (NMX-FF-058-SCFI-2006, 2006), con la ayuda de un texturómetro (Marca Chatillon, modelo FDV-30, USA) midiendo la fuerza necesaria para penetrar la pulpa, expresado en Newtons (N).

### **3.2.3.2 Café “Oro Azteca”**

Se seleccionaron 100 frutos al azar por repetición y se registraron las siguientes variables; diámetros (mm), peso del fruto (g) y color. El peso de los frutos se evaluó utilizando una balanza analítica (Adam ® PW 124, USA con 0.0001 g de precisión Anexo 1a). Para la evaluación de las longitudes del fruto se usó un vernier digital (Truper®, Modelo 14388, México, 0.01 mm) midiendo sobre el lado polar (LP), ecuatorial (LE) y trasnversal (LT) (Figura 6), a partir de las cuales se calcularon las dimensiones ortogonales (D1, D2 y D3) y el diámetro, utilizando las ecuaciones (1), (2), (3) y (4) descritas por Alvarez et al. (1999).

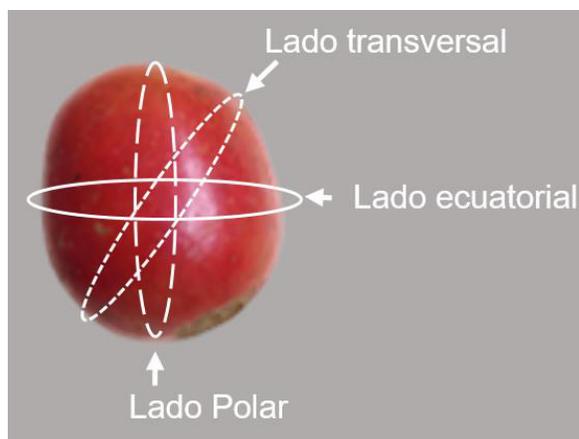


Figura 6. Dimensiones de simetría del fruto maduro de café var. Oro Azteca en el Soconusco, Chiapas.

$$D1 = \frac{LT+LE+LP}{3} \quad (1)$$

$$D2 = (LT * LE * LP)^{1/3} \quad (2)$$

$$D3 = \left( \frac{(LT*LE+LT*LP+LE*LP)}{3} \right)^{1/2} \quad (3)$$

$$Dc = \frac{D1+D2+D3}{3} \quad (4)$$

### 3.2.4 Variables bioquímicas

#### 3.2.4.1 Mango “Ataulfo”

Se utilizaron tres frutos por tratamiento como unidades experimentales para el análisis bioquímico las variables fueron, sólidos solubles totales (°Brix), pH, acidez titulable (% ácido cítrico) y la relación °Brix/AT o sabor, que se evaluaron por 18 días después del corte.

Para realizar las determinaciones de °Brix, pH y acidez titulable se homogenizaron 10 g de pulpa (mesocarpio) fresco y se ajustaron a un volumen final de 50 mL con agua destilada. Los °Brix se determinaron con un refractómetro (ATAGO Modelo Pallette PR-32α (o- 32 %; USA) y el pH se midió con un potenciómetro (Thermo Orion, Modelo 230A; USA). Para cuantificar la acidez titulable se usaron 10 g de pulpa licuada en 50

mL de agua destilada. Se tomó una alícuota de 20 mL de la mezcla y se tituló con NaOH (0.1 N). El resultado se expresó en porcentaje de ácido cítrico (AOAC, 1990).

### 3.2.4.2 Café “Oro Azteca”

Se evaluaron los pigmentos de la epidermis, clorofilas y carotenoides totales, para tal fin se pesaron 0.2 g de epidermis y maceraron en 10 mL acetona (80% v/v). Los extractos se aforaron a 10 mL con acetona y se agitaron a 1000 rpm por 15 min. Luego se leyeron en espectrofotómetro a diferentes absorbancias (470, 646 y 663 nm). Los resultados se expresaron en  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  de acuerdo a las ecuaciones (5) a (8) citadas por Lichtenthaler (1987):

$$\text{Clorofila a } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 12.25 A_{663} - 2.79 A_{646} \quad (5)$$

$$\text{Clorofila b } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 21.5 A_{646} - 5.1 A_{663} \quad (6)$$

$$\text{Clorofila a+b } (\mu\text{g mL}^{-1}) = 7.15 A_{663} + 18.71 A_{646} \quad (7)$$

$$\text{Carotenoides totales x+c } (\mu\text{g. mL}^{-1}) = (1000 A_{470} - 1.82 C_a - 85.02 C_b) / (198) \quad (8)$$

Donde C son los carotenoides totales,  $C_a$  clorofila a y  $C_b$  clorofila b, A la absorbancia a las longitudes de onda correspondientes.

Para la extracción de los fenoles en la epidermis y semilla se siguió el método Folin Ciocalteu (Singleton et al., 1999). Se pesaron 0.5 g de la epidermis y semillas de café “Oro Azteca”, las cuales se maceraron con metanol al 80 %. Los extractos se agitaron durante 15 minutos (Eberbach® Modelo E6070, USA), luego se centrifugaron a 1000 rpm durante 15 min (Becton Dickenson Modelo Clay Adams Dynac, USA). En seguida se utilizó una alícuota de 100  $\mu\text{L}$  de los extractos, se agregaron 3.9 mL de agua destilada, después 250  $\mu\text{L}$  del reactivo Folin 10 % v/v y se dejó en reposo por tres minutos. Posteriormente, se adicionaron 750  $\mu\text{L}$  de carbonato de sodio al 20 % p/v dejando en reposo a temperatura ambiente y en oscuridad durante 60 min. Se midió la absorbancia a 765 nm con un espectrofotómetro UV-VIS (Metash Instruments Modelo UV-6000 190-1100 nm, China) y se expresó como mg de ác. gálico  $\cdot 100 \text{ g fruta}^{-1}$  peso fresco.

### 3.2.5 Análisis estadístico

#### 3.2.5.1 Mango “Ataulfo”

El diseño fue completamente al azar, tres repeticiones (plantas) por tratamiento, en laboratorio cinco frutos (un fruto = una unidad experimental) para pérdida de peso y vida anaquel, y cuatro por repetición para el resto de las variables. A los datos obtenidos se les realizó un análisis de varianza (ANOVA,  $\alpha \leq 0.05$ ); posteriormente, la comparación de medias con Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los datos fueron procesados con la ayuda del software SAS ver. 9.0.

### **3.2.5.2 Café “Oro Azteca”**

El diseño fue bloques al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento, donde una repetición fue una planta de café y una bandola como una unidad experimental; se utilizaron 10 bandolas por repetición con un total de 40 unidades experimentales por tratamiento para los análisis. Se realizó el análisis de varianza (ANOVA,  $\alpha \leq 0.05$ ), la comparación de medias por Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los datos fueron procesados con la ayuda del software SAS ver. 9.0.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Mango “Ataulfo”

#### 4.1.1 Aplicación de AVG en precosecha en mango “Ataulfo”

##### 4.1.1.1 Pérdida de peso

Las condiciones contrastantes de clima y suelo entre los sitios de estudio indujeron diferencias en la pérdida de peso de los frutos. En la Norteña se presentó menor pérdida de peso con relación a los frutos producidos en Santa Cecilia (Cuadro 7). La menor disminución del peso en los frutos de La Norteña puede estar asociada en parte, a la alta concentración de calcio en el suelo. Aun cuando este nutrimento favorece la apertura del estoma, pero en presencia de algún estrés, como el hídrico que se presenta en La Norteña, las plantas sintetizan ácido abscísico y se induce pronunciado efecto antitranspirante en la hoja (Mittelheuser & van Stevenick, 1969) y en consecuencia disminuye la pérdida de agua (Reyes et al., 2013).

Cuadro 7. Pérdida de peso (%) de frutos de mango "Ataulfo" tratados en precosecha con aminoetoxivinilglicina bajo dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México.

Días (25±3 °C)	Sitios		Tratamientos (g L <sup>-1</sup> )				CV** (%)
	La Norteña	Santa Cecilia	Control	0.1	0.2	0.3	
2	98.5±0.2a*	97.6±0.4a	98.1±0.4a	95.7±1.3a	98.5±0.1a	98.3±0.4a	4.8
6	92.6±0.3a	91.6±0.8a	90.9±0.8b	91.6±1.7a	92.2±1.4a	92.5±0.5a	6.3
10	87.8±0.5a	84.8±0.9b	85.1±0.5a	85.3±1.0a	86.2±1.0a	87.9±0.3a	6.8
14	81.0±0.6a	80.9.1±0.7a	81.0±1.1ab	85.6±1.7ab	78.8±1.7b	86.1±1.8a	5.3

\* Valores con la misma letra por factor y línea son diferentes estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. \*\* CV = Coeficiente de variación (%).

Los tratamientos con AVG exhibieron menor tendencia en disminuir la pérdida de peso en las fechas de evaluación en comparación al testigo (Cuadro 1), aun cuando, en el proceso de maduración de los frutos, se producen diversos cambios bioquímicos y fisiológicos derivados de reacciones enzimáticas, además de la producción de etileno autocatalítico que induce pérdida de agua y afecta la velocidad de maduración (Blissett et al., 2019; Lallum et al., 2004) y pérdida de peso de los frutos (Öztürk et al., 2014). Este proceso no es reversible pero la aplicación exógena de inhibidores del etileno puede retrasar la velocidad de maduración significativamente comparado con los frutos testigo.

En manzana *Malus domestica* Borkh. "Braeburn" Öztürk et al. (2014) observaron disminución en la pérdida de peso al incrementar las dosis de AVG (ReTain®) de 150, 225 y 300 mg L<sup>-1</sup> cuatro semanas antes de la cosecha y el resultado se atribuye a la disminución de la biosíntesis del etileno y retraso en la actividad enzimática y la consecuente degradación de hemicelulosa y pectina, componentes esenciales de la pared celular. En cambio, en frutos de caqui (*Diospyros kaki* Thunb.) "Tone wase" almacenados a -1 °C y tratados con AVG y 1-MCP, no mostraron diferencias en la pérdida de peso y la producción de etileno y con relación a los frutos testigo (Win et al., 2018).

#### **4.1.1.2 Biomasa**

Entre sitios la diferencia es contrastante entre los días de almacenamiento. La epidermis del mango, a los 14 días en La Norteña presentó el valor más alto y fue estadísticamente diferente a la de los mangos de Santa Cecilia. En el caso de la semilla de los mangos en los sitios de evaluación no presentaron diferencia estadística en los días de almacenamiento y la pulpa fue superior en Santa Cecilia a los 14 días (Cuadro 8).

Cuadro 8. Biomasa (%) de frutos de mango "Ataulfo" tratados en precosecha con aminoetoxivinilglicina en dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México.

Variables (%)	Días (25±3 °C)	Sitios			Tratamientos (g L <sup>-1</sup> )			CV** (%)
		La Norteña	Santa Cecilia	Control	0.1 g	0.2 g	0.3 g	
Epidermis	2	6.05±0.2a*	6.19±0.3a	4.77±0.1b	6.13±0.2a	6.18±0.3a	7.44±0.4a	0.48
	14	17.9±0.6a	11.71±0.6b	11.76±1.1c	13.63±1.3bc	16.10±0.5a	14.66±1.9ab	1.17
Semilla	2	8.24±0.3a	8.94±0.1a	8.52±0.4a	8.14±0.2a	9.11±0.4a	8.74±0.2a	0.25
	14	10.07±0.6a	9.49±0.4a	9.97±0.8a	9.22±0.6a	9.45±0.5a	10.18±0.7a	1.41
Pulpa	2	85.69±0.4a	84.86±0.3a	86.89±0.4a	85.71±0.3ab	84.70±0.6bc	83.81±0.4c	4.77
	14	72.00±0.6b	78.79±0.6a	78.25±1.5a	77.14±1.4ab	74.43±0.8b	75.15±1.9ab	5.2
Rela. Pulpa/semilla	2	10.6±0.4a	9.4±0.2a	10.5±0.6a	9.8±0.3a	8.7±0.6b	10.7±0.2a	14.1
	14	7.5±0.6b	8.7±0.5a	9.3±1.3a	11.1±0.8a	8.1±0.5b	7.5±0.7b	32.3

\* Valores con la misma letra por factor y línea son diferentes estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. \*\* CV = Coeficiente de variación (%).

Entre tratamientos, la epidermis presentó aumento de 37 % en promedio cuando se aplicó AVG en relación con el testigo a los dos días de almacenamiento, y a los 14 días, el valor fue de 25 %. La respuesta anterior se atribuye al efecto de AVG en retardar la disminución de firmeza, y su influencia en retrasar la pérdida de peso de la epidermis al madurar los frutos. También puede considerarse su efecto en la biosíntesis del etileno que disminuye la degradación de los componentes de la pared celular (Ajila et al., 2007; Öztürk et al., 2014; Wongkaew et al., 2021). En manzana *M. domestica* “Braeburn”, Ozturk et al., (2013) aplicaron ReTain® AVG (500 mg L<sup>-1</sup>) cuatro semanas antes de la cosecha, sin efectos significativos en el grosor de la epidermis.

La pulpa de los frutos no presentó diferencias estadísticas ( $p \leq 0.05$ ) entre localidades. El valor más alto a los dos días de almacenamiento en el tratamiento con una aplicación (0.1 g de AVG.L<sup>-1</sup>) y fue estadísticamente diferente a los otros tratamientos ( $P \leq 0.05$ ). El valor más bajo se presentó con el tratamiento 0.2 g L<sup>-1</sup> y 0.3 gL<sup>-1</sup> de AVG. Es probable que el AVG en mayor frecuencia de aplicación pueda inhibir el etileno y contribuir de esta manera a la reducción del peso de los frutos. En el caso de la relación pulpa/semilla de los frutos se presentan valores iniciales sin aparente relación con las frecuencias de aplicación de AVG. Al final del almacenamiento se presenta disminución de acuerdo al aumento de las frecuencias de aplicación de AVG. En *P. avium* L. “North Wonder” con aplicaciones de 250 mg L<sup>-1</sup> de AVG también se indujo disminución de la relación pulpa/semilla, aunque este efecto se atribuye al efecto de variedad, la carga de frutos y las condiciones ambientales (Kucuker & Öztürk, 2015).

#### **4.1.2 Firmeza, tamaño y color de los frutos de mango “Ataulfo” tratados con AVG**

##### **4.1.2.1 Firmeza**

La firmeza de los frutos de “Ataulfo” entre localidades presentaron diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) a los días dos, 10 y 14 de evaluación, y el mayor incremento en firmeza se presentó en el Norteña. En este sitio, los tratamientos con tres aplicaciones de AVG mantuvieron firmeza superior en 12 % y 30 % a los 10 y 14 d comparado con los frutos testigo (Figura 7).

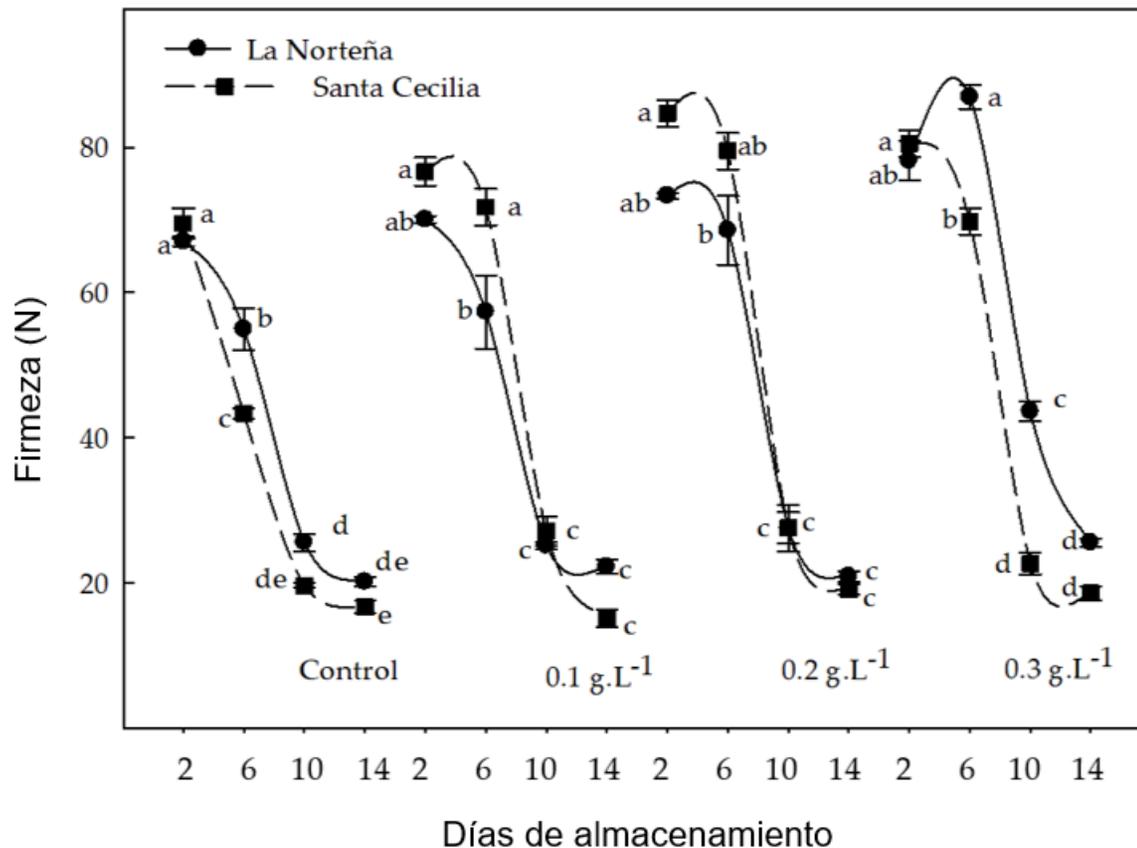


Figura 7. Cambios en la firmeza (N) de la epidermis de frutos de mango "Ataulfo" tratados en precosecha con aminoetoxivinilglicina en dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México.

La acción de AVG como inhibidor de etileno, pudo retrasar la cascada de eventos que llevan a la biosíntesis de enzimas relacionadas a la degradación de la pared celular como poligalacturonasa y pectinmetilesterasa (Maldonado-Astudillo et al., 2016) con la consecuente disminución de pérdida de peso. Este mismo efecto se ha consignado en otros cultivos tratados con AVG, como manzana *M. domestica* "Baigent" que presentó mayor fuerza de ruptura de la epidermis de 12.3 N en comparación a 11.6 N del testigo cuando se aplicaron 125 mg L<sup>-1</sup> de AVG, en Rio Grande del Sur, Brasil (Soethe et al., 2021).

Además, la mayor firmeza de los frutos en La Norteña puede estar relacionada con el alto contenido de calcio (Ca) en el suelo. El Ca es componente de la pared celular y actúa en su permeabilidad, e incide en la elongación y división celular y puede influir sobre el retraso de la senescencia de los frutos (Sáenz et al., 2000). El efecto del calcio en la firmeza de los frutos ha sido señalado en guayaba (*Psidium guajava*) al hacer aplicaciones de nitrato de calcio foliar (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O) 100 g L<sup>-1</sup> + 1.6 % cloruro de calcio (Cl<sub>2</sub>Ca) con incremento en la firmeza de los frutos (R. Ramírez et al., 2006). En el caso del mango "Haden" al aplicar dosis de 10 y 15 g L<sup>-1</sup> de nitrato de calcio foliar

antes de la floración hasta 17 días antes de la cosecha se aumenta la firmeza de los frutos al día 4 después de la cosecha (Romero-Gomezcaña et al., 2006).

La firmeza de los frutos también se relaciona con la menor precipitación, como se cita en Kenia con frutos “Tommy Atkins” (Madigu et al., 2009) y en el caso de La Norteña, la precipitación representa el 50 % de la cantidad promedio en Santa Cecilia. Es importante destacar que entre los días 6 y 10 de almacenamiento se presenta pérdida considerable de firmeza, por lo que es importante el almacenamiento a bajas temperaturas para retrasar este proceso.

#### 4.1.2.3 Tamaño

Los frutos recolectados en el La Norteña no presentaron diferencias estadísticas al día dos de evaluación del diámetro longitudinal, mientras que, en el Santa Cecilia, no se observó diferencia entre los tratamientos durante los 14 días evaluados ( $p \leq 0.05$ ) (Cuadro 9). Los frutos con mayor diámetro longitudinal en el La Norteña fueron del tratamiento AVG-3, registrando una menor pérdida de diámetro durante los 18 días evaluados con respecto al testigo. La disminución del diámetro al día 18 fue del 2, 4 y 3 % para AVG-3, AVG-2 y AVG-1, respectivamente, para el caso del testigo la pérdida de diámetro al día 14 fue de 4 %.

Cuadro 9. Diámetro longitudinal (mm) promedio durante 18 días de frutos de mango “Ataulfo” tratados con AVG en precosecha.

Sitio de estudio	Tratamiento	Días después de la cosecha				
		2	6	10	14	18
La Norteña	Testigo	128.72 a*	127.52 ab	126.09 ab	123.97 b	-
	AVG-1	127.92 a	126.17 ab	125.51 ab	124.77 ab	124.20 ab
	AVG-2	118.82 a	117.94 b	117.22 b	116.15 b	114.37 b
	AVG-3	130.03 a	129.33 a	128.96 a	128.40 a	127.79 a
	CV %	4.37	4.28	4.41	4.51	4.62
Santa Cecilia	Testigo	119.85 a	119.42 a	117.07 a	116.77 a	-
	AVG-1	123.15 a	121.90 a	120.25 a	119.20 a	-
	AVG-2	125.00 a	124.57 a	123.02 a	122.72 a	-
	AVG-3	121.55 a	121.15 a	120.12 a	119.00 a	-
	CV %	4.53	4.31	4.17	4.07	

\*Valores con la misma letra por columna son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ . CV = Coeficiente de variación.

El diámetro ecuatorial fue estadísticamente similar en todos los días evaluados en el Santa Cecilia, aunque se aumenten la frecuencia de aplicación de AVG, ésta no tendrá

efecto en el diámetro ( $p \leq 0.05$ ); sin embargo, para el La Norteña, se observó diferencia estadística en todos los días evaluados, siendo el tratamiento AVG-3 el de mayor diámetro ecuatorial entre los tratamientos (Cuadro 10).

Al inicio de las observaciones los frutos del tratamiento AVG-3 fueron mayor por 7 % entre los tratamientos, la reducción del diámetro al día 18 fue del 8 % para AVG-3, 11 % en AVG-2, 9 % para AVG-1 con respecto a los frutos en el día dos y, para el caso del testigo, sufrió una disminución del diámetro al día 14 de 8 % con respecto al día dos.

Cabe destacar que en el Santa Cecilia los frutos con AVG al día 14 presentaron una reducción del 6 % AVG-3, 4 % para AVG-2 y 6 % para AVG-1 con respecto al día dos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Diámetro ecuatorial (mm) promedio durante 18 días de frutos de mango “Ataulfo” tratados con AVG en precosecha.

Sitio de estudio	Tratamiento	Días después de la cosecha				
		2	6	10	14	18
La Norteña	Testigo	76.20 b*	74.69 b	73.38 b	70.11 b	-
	AVG-1	77.10 b	73.84 b	73.20 b	71.93 b	70.44 b
	AVG-2	75.09 b	71.87 b	70.34 b	68.93 b	67.28 b
	AVG-3	81.62 a	79.23 a	78.39 a	76.87 a	75.18 a
	CV %	2.55	2.60	2.51	2.39	2.62
Santa Cecilia	Testigo	80.37 a	79.92 a	74.55 a	73.20 a	-
	AVG-1	77.95 a	76.82 a	74.05 a	73.75 a	-
	AVG-2	77.22 a	77.57 a	75.82 a	74.70 a	-
	AVG-3	78.85 a	77.60 a	75.70 a	74.57 a	-
	CV %	5.07	4.90	3.17	3.25	

\*Valores con la misma letra por fecha son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ . CV = Coeficiente de variación.

Considerando comúnmente que el tamaño se refiere a las dimensiones del fruto, y su relación está dada por el cociente del diámetro longitudinal (DL) entre el diámetro ecuatorial (DE), expresada como índice de forma o relación DL/DE del fruto; esta variable toma importancia al estar asociada al ablandamiento y pérdida de peso, y como una de las características físicas relacionada en la selección de calidad del fruto. En esta investigación se encontró que los frutos del tratamiento AVG-3 provenientes del La Norteña obtuvieron mayor diámetro longitudinal y ecuatorial (Cuadros 9 y 10), por consiguiente, se procedió a evaluar el índice de forma para confirmar dicho resultado.

En la Cuadro 11 se aprecia los promedios del índice de forma, en la que no se encontró diferencia estadística significativa ( $p \leq 0.05$ ) entre los tratamientos de ambos sitios de estudio; las aplicaciones de AVG no afectaron a la forma de los frutos comparado con el testigo, el AVG puede influenciar las dimensiones por sí solas, pero no en su relación.

Cuadro 11. Índice de forma de frutos de mango “Ataulfo” tratados con AVG provenientes de dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas.

Sitio de estudio	Tratamiento	Días después de la cosecha				
		2	6	10	14	18
La Norteña	Testigo	1.69 ±0.03 a	1.70 ±0.05 a	1.71 ±0.04 a	1.76 ±0.05 a	-
	AVG-1	1.66 ±0.02 a	1.70 ±0.04 a	1.71 ±0.04 a	1.73 ±0.03 a	1.76 ±0.04 a
	AVG-2	1.58 ±0.12 a	1.64 ±0.09 a	1.66 ±0.09 a	1.68 ±0.10 a	1.70 ±0.11 a
	AVG-3	1.59 ±0.03 a	1.63 ±0.05 a	1.64 ±0.05 a	1.67 ±0.05 a	1.70 ±0.03 a
	CV %	4.34	3.98	3.89	3.84	
Santa Cecilia	Testigo	1.49 ±0.12 a	1.57 ±0.08 a	1.59 ±0.07 a	1.62 ±0.06 a	-
	AVG-1	1.59 ±0.07	1.62 ±0.07 a	1.61 ±0.07 a	1.67 ±0.04 a	-
	AVG-2	1.60 ±0.06 a	1.62 ±0.05 a	1.64 ±0.06 a	1.66 ±0.07 a	-
	AVG-3	1.56 ±0.06 a	1.58 ±0.04 a	1.59 ±0.05 a	1.62 ±0.06 a	-
	CV %	5.30	4.13	4.27	4.01	

\*Valores con la misma letra por fecha son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ . CV = Coeficiente de variación.

#### 4.1.2.2 Color

La luminosidad de los frutos no presentó diferencias estadísticas ( $P \leq 0.05$ ) entre los tratamientos aplicados durante los 14 días de evaluación. En general, los frutos que conservaron mayor luminosidad fueron los provenientes de La Norteña, mientras que, el ángulo hue ( $^{\circ}h$ ), es decir, la diferencia encontrada en la onda de la radiación entre los frutos, se presentó con diferencia estadística solamente en el día dos de almacenamiento (Cuadro 11) ( $P \leq 0.05$ ). Al respecto Elmenofy et al. (2021) citan valores altos de  $^{\circ}H$  en frutos de albaricoque *Prunus armeniaca* L. “Canino” tratados con AVG ( $150 \text{ mg L}^{-1}$ ) comparados con el testigo, y lo asocian el bajo contenido de carotenoides como un retraso en la maduración.

Cuadro 12. Efecto de los tratamientos en precosecha de aminoetoxivinilglicina en el color de la epidermis de frutos de mango "Ataulfo" en dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México.

Variables	Días (25 ± 3°C)	Sitios		Tratamientos (g L <sup>-1</sup> )				CV** %
		La Norteña	Santa Cecilia	Control	0.1 g	0.2 g	0.3 g	
L*	2	67.28±2.7a*	65.48±2.7a	64.1±1.4a	67.8±1.0a	68.5±1.0a	68.6±0.6a	3.55
	6	64.20±3.6a	63.69±3.3b	64.3±2.7a	63.2±1.4a	63.8±1.8a	63.3±1.8a	6.03
	10	68.24±5.9a	64.09±4.0a	66.4±0.7a	67.6±1.5a	70.0±5.8a	68.8±2.1a	8.06
	14	67.75±3.7a	64.49±2.7a	68.2±1.1a	63.7±2.0a	67.2±0.9a	71.7±0.7a	3.81
C*	2	42.64±2.2a	44.62±3.4a	43.9±1.6a	42.8±0.8b	41.7±0.9b	42.0±0.9b	6.65
	6	47.75±15.7a	46.60±15.2a	47.1±2.5a	46.3±0.9b	46.6±1.5b	46.2±1.0b	7.25
	10	51.54±9.0a	51.81±4.3a	54.9±0.9a	51.0±1.3a	51.6±1.6ab	48.8±1.1b	6.78
	14	51.92±2.7a	54.15±2.1a	53.9±1.2a	46.9±2.3ab	52.0±2.4a	54.6±1.6 a	6.13
°h	2	93.54±4.3a	97.09±3.5a	90.4±4.2b	91.9±2.6a	95.3±1.1a	96.3±1.8a	3.71
	6	85.12±3.6a	92.10±3.3a	82.7±4.2a	82.8±3.7b	84.8±2.1b	90.0±3.4a	6.73
	10	66.91±5.9b	77.39±4.0a	65.9±3.2a	65.4±3.7b	64.6±5.4b	71.5±8.3a	13.53
	14	65.46±3.7b	66.19±2.7a	64.3±4.2a	65.8±5.4b	64.2±6.2b	67.3±5.2a	11.67

\* Valores con la misma letra por factor y línea son diferentes estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. \*\* CV = Coeficiente de variación (%).

La saturación o croma C\* del color presentó diferencias estadísticas entre tratamientos ( $P \leq 0.05$ ) a los días 10 y 14 de evaluación, pero sin tendencia evidente por efecto de una o dos aplicaciones de AVG, solamente se presenta diferencia en los valores del testigo (54.9) y la aplicación de AVG (0.3 g L<sup>-1</sup>) con 48.8 de saturación. Resultados similares se citan en cereza *Prunus avium* L. "North Wonder" donde el valor de C\* se incrementó con la aplicación de AVG a 250 mgL<sup>-1</sup> (Kucuker & Öztürk, 2015).

Por ello, se procedió a comprobar el efecto que las aplicaciones de AVG tuvieron en los frutos de mango "Ataulfo", comparados con el testigo sin aplicación, por medio de las diferencias de color evaluadas anteriormente L\*, C\* y °h y expresadas como deltas  $\Delta L^*$ ,  $\Delta C^*$  y  $\Delta h$  (Cuadros 13, 14 y 15).

Cuadro 13. Diferencia de colores del espacio  $\Delta L^*$  en frutos de mango “Ataulfo” tratados con AVG contra frutos testigo provenientes de dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas.

Sitio de estudio	Tratamiento	Días después de la cosecha			
		2	6	10	14
La Norteña	AVG-1	3.7 ±1.0 a	-1.1 ±2.6 a	1.1 ±2.3 a	-4.5 ±4.7 b
	AVG-2	4.4 ±1.8 a	-0.5 ±3.5 a	3.6 ±11.8 a	-0.9 ±1.8 ab
	AVG-3	4.5 ±3.9 a	-1.1 ±8.4 a	2.3 ±4.9 a	3.5 ±2.7 a
	CV %	0.56	5.51	2.92	7.08
Santa Cecilia	AVG-1	-1.6 ±5.5 a	1.2 ±2.3 a	-2.9 ±3.5 a	-1.9 ±2.6 a
	AVG-2	0.1 ±5.7 a	2.6 ±4.3 a	-4.1 ±3.7 a	-3.1 ±4.0 a
	AVG-3	0.1 ±3.9 a	-1.2 ±4.4 a	-4.9 ±5.7 a	-3.2 ±2.6 a
	CV %	9.98	5.19	1.07	1.06

\*Valores con la misma letra por fecha son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ . CV = Coeficiente de variación.

En la Cuadro 13 se encuentra la diferencia de  $\Delta L^*$  de ambos sitios de estudio, la diferencia  $\Delta L^*$  implica colores más claros (+) u oscuros (-). En el La Norteña no se encontró diferencias entre los tratamientos los primeros 10 días ( $p \leq 0.05$ ), mientras que la coloración de los frutos iba de más claro a oscuro, el tratamiento AVG-3 en el día 14 tenían tonos más claros y, aunque en  $\Delta C^*$  no se encontró diferencia significativa (Cuadro 14), los resultados indican que los frutos del tratamiento AVG-3 tienen más saturación del color y son menos anaranjados que los tratamientos AVG-2 y AVG-1, conservando la coloración amarilla.

Cuadro 14. Diferencia de colores del espacio  $\Delta C^*$  en frutos de mango "Ataulfo" tratados con AVG contra frutos testigo provenientes de dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas.

Sitio de estudio	Tratamiento	Días después de la cosecha			
		2	6	10	14
La Norteña	AVG-1	-1.1 $\pm$ 4.0 a	-0.8 $\pm$ 6.8 a	-3.9 $\pm$ 1.9 a	-7.0 $\pm$ 6.6 a
	AVG-2	-2.1 $\pm$ 5.1 a	-0.5 $\pm$ 7.5 a	-3.3 $\pm$ 4.1 a	-1.8 $\pm$ 4.9 a
	AVG-3	-1.9 $\pm$ 3.8 a	-0.9 $\pm$ 4.9 a	-6.4 $\pm$ 3.9 a	0.7 $\pm$ 1.7 a
	CV %	2.31	7.49	0.75	2.05
Santa Cecilia	AVG-1	0.9 $\pm$ 5.2 a	-1.0 $\pm$ 4.2 a	-5.7 $\pm$ 3.6 a	-4.3 $\pm$ 4.7 a
	AVG-2	-1.1 $\pm$ 5.8 a	-0.8 $\pm$ 5.6 a	-0.7 $\pm$ 6.9 a	1.5 $\pm$ 3.9 a
	AVG-3	-1.2 $\pm$ 7.5 a	-2.6 $\pm$ 5.6 a	-4.4 $\pm$ 3.2 a	-3.5 $\pm$ 3.2 a
	CV %	14.95	3.10	3.10	1.93

CV = Coeficiente de variación.

Para el caso del Santa Cecilia, no se observaron diferencias estadísticas en las  $\Delta L^*$  (Cuadro 13),  $\Delta C^*$  (Cuadro 14) y  $\Delta h$  (Cuadro 15) ( $p \leq 0.05$ ). Los valores de  $\Delta L^*$  y  $\Delta C^*$  en el Santa Cecilia mostraron una tendencia a disminuir con el tiempo, es decir, pasaron de colores claros y saturados a oscuros y con menor intensidad, contrario a los frutos del La Norteña, en  $\Delta L^*$  la coloración se mantuvo a los 10 y 14 d. En  $\Delta h$ , ambos sitios evidenciaron una tendencia de reducción de la diferencia del ángulo hue.

Cuadro 15. Diferencia de colores del espacio  $\Delta h$  en frutos de mango "Ataulfo" tratados con AVG contra frutos testigo provenientes de dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas.

Sitio de estudio	Tratamiento	Días después de la cosecha			
		2	6	10	14
La Norteña	AVG-1	1.4 $\pm$ 6.4 a	0.1 $\pm$ 9.9 a	-0.4 $\pm$ 3.6 a	1.4 $\pm$ 4.3 a
	AVG-2	4.8 $\pm$ 2.9 a	2.1 $\pm$ 11.0 a	-1.2 $\pm$ 5.6 a	-0.1 $\pm$ 4.6 a
	AVG-3	5.8 $\pm$ 7.3 a	7.3 $\pm$ 5.9 a	5.6 $\pm$ 11.4 a	2.9 $\pm$ 3.7 a
	CV %	1.39	2.77	5.68	2.85
Santa Cecilia	AVG-1	3.3 $\pm$ 4.8 a	3.1 $\pm$ 5.8 a	7.9 $\pm$ 9.3 a	-3.3 $\pm$ 5.1 a
	AVG-2	1.8 $\pm$ 6.5 a	4.6 $\pm$ 8.2 a	9.0 $\pm$ 5.4 a	0.2 $\pm$ 4.4 a
	AVG-3	4.9 $\pm$ 6.1 a	7.0 $\pm$ 7.3 a	10.9 $\pm$ 10.3 a	-4.5 $\pm$ 2.3 a
	CV %	1.58	1.36	0.88	1.56

CV = Coeficiente de variación.

En cereza (*Prunus avium* L.) “North Wonder” al aplicar AVG a 250 mg L<sup>-1</sup> se retrasó la maduración en comparación con los frutos testigo, como posible efecto inhibitorio de AVG en la biosíntesis del etileno (Kucuker & Ozturk, 2015).

La falta de consistencia en los resultados del color sugiere la posibilidad de explorar otras frecuencias y dosis de aplicación de AVG.

#### **4.1.2 Calidad de frutos de mango “Ataulfo” tratados con AVG en precosecha**

##### **4.1.2.1 Variables bioquímicas**

Entre sitios de evaluación, el pH de los frutos en La Norteña fueron menos ácidos a los dos, seis y 10 días de almacenamiento en comparación con los frutos de Santa Cecilia y fueron estadísticamente diferentes ( $P \leq 0.05$ ) a excepción de los 14 días (Cuadro 12). Entre tratamientos el pH de los frutos aplicados con AVG disminuyó a los 2, 6 y 10 días de almacenamiento en comparación al testigo y con diferencias estadísticas entre ellos ( $P \leq 0.05$ ). El pH disminuye más al aumentar la dosis de AVG. Resultados similares se presentaron en manzana (*M. domestica* Borkh) “Braeburn”, al aplicar AVG (ReTain®) a 100, 300 y 500 mg L<sup>-1</sup> cuatro semanas antes de la cosecha con disminución del pH al incrementar la dosis (Ozturk et al., 2013).

Cuadro 16. Características bioquímicas de frutos de mango "Ataulfo" tratados en precosecha con aminoetoxivinilglicina en dos ambientes contrastantes en el Soconusco, Chiapas, México.

Variable (%)	Días	Sitios		Tratamientos (g L <sup>-1</sup> )			CV** %	
		La Norteña	Santa Cecilia	Control	0.1g	0.2 g		0.3 g
pH	2	3.0±0.05a*	2.5±0.01b	2.9±0.1a	2.7±0.09b	2.7±0.06b	2.7±0.04b	2.8
	6	3.3±0.6a	2.8±0.03b	3.2±0.08 <sub>b</sub>	3.1±0.5b	3.0±0.1bc	2.9±0.02c	4.37
	10	4.0±0.9 a	3.7±0.1 b	4.6±0.6a	4.0±0.2b	3.8±0.2b	3.1±0.1c	10.2
	14	4.6±0.05a	4.7±0.1a	4.6±0.1a	4.7±0.1a	4.6±0.07a	4.6±0.1a	6.96
°Brix	2	3.9±0.2b	4.9± 2.1a	4.2±0.3a	4.2±0.3a	4.5±0.3a	4.7±0.1a	15.4
	6	7.6±0.6a	8.5±0.4 a	9.7±0.4a	8.2±0.6ab	8.1±0.8ab	6.5±0.6b	23.0
	10	14.2±0.5a	11.4±0.3b	13.6±0.6a	12.5±0.1a	14.6±0.8a	10.6±0.1b	9.57
	14	18.6±0.4a	13.6±0.5b	15.9±1.7bc	17.5±0.9a	14.6±0.8c	16.5±0.6ab	6.69
TA	2	2.8±0.1b	3.1±0.05a	2.7±0.1a	2.9±0.1a	3.1±0.08a	3.0±0.1a	10.4
	6	2.0±0.1b	2.6±0.1 a	1.6±0.09c	2.3±0.3b	2.4±0.2b	3.0±0.1a	18.3
	10	0.75±0.1b	1.14±0.1a	0.32±0.07c	0.64±0.1bc	0.93±0.5b	1.91±0.1a	30.9
	14	0.34±0.02 <sub>a</sub>	0.26±0.01 <sub>b</sub>	0.41±0.04a	0.27±0.01b	0.26±0.01b	0.26±0.02 <sub>b</sub>	16.0
°Brix/T A ratio	2	1.4±0.07a	1.5±0.04a	1.5±0.1a	1.4±0.09a	1.4±0.1a	1.5±0.3a	17.15
	6	4.6±0.8a	3.5±0.4a	5.9±0.5a	4.3±1.1ab	3.9±1.0 ab	2.1±0.2b	25.8
	10	34.7±5.3a	15.0±3.2b	40.9±2.1 <sub>a</sub>	31.1±8.3ab	21.7±7.0b	5.7±0.4c	37.1
	14	57.3±2.8a	54.5±4.1a	39.1±3.2c	63.8±1.9ab	55.6±4.8b	65.2±3.4a	12.3

\* Valores con la misma letra por factor y línea son diferentes estadísticamente de acuerdo a la prueba de Tukey al 5 % de probabilidad. \*\* CV = Coeficiente de variación (%).

Los °Brix de los frutos de incrementaron a los 10 y 14 días de almacenamiento en La Norteña con diferencias estadísticas significativas ( $P \leq 0.05$ ) en comparación a Santa Cecilia. El resultado anterior posiblemente sea influenciado por las prácticas agronómicas, como es la fertilización química. Al respecto, García et al. (2015) citan incremento en los °Brix de los mangos al aplicar urea y nitrato de potasio antes de la floración. Resultado similar se consigna en la Costa de Chiapas, con aplicación de urea en mango "Ataulfo" (Rivas-Robles et al., 2020).

Entre tratamientos, los °Brix presentan valores contrastantes durante los días de almacenamiento. Al día 2, se incrementan los valores conforme se aumentaron las

aplicaciones de AVG, pero en los otros muestreos disminuyen. Resultados similares en manzana “Red Chief” y “Braeburn” donde al incrementar las dosis de AVG los °Brix disminuyeron (Küçüker & Ağlar, 2021). Esto pudiera atribuirse a la acumulación de almidón en los frutos tratados con AVG y la disminución de los °Brix, ya que, el almidón se convierte en monosacáridos durante la maduración (Brackmann et al., 2015).

La acidez titulable (AT) de los frutos entre sitios de evaluación fue más alta en Santa Cecilia a los 2, 6 y 10 días de almacenamiento en comparación con La Norteña y estadísticamente diferente ( $P \leq 0.05$ ). Al día 14 se presenta lo contrario.

Entre tratamientos, se incrementó la acidez titulable (AT) al aplicar AVG en comparación con el control durante los días 2, 6 y 10 de almacenamiento. Al día 14, aumentó en el testigo y disminuyó en los tratamientos con AVG. Los niveles altos de AT están relacionado con disminución de la tasa de respiración, debido al consumo de los ácidos orgánicos en el ciclo de los ácidos tricarbónicos (Steffens et al., 2007). Los efectos que la AVG puede inducir cambios en la concentración de AT dependiendo de la concentración, el período aplicado y la variedad de la fruta (Küçüker & Ağlar, 2021). Sin embargo, este efecto no siempre puede presentarse en un segundo año de aplicación de AVG como el caso de manzana “Baigent” (Soethe et al., 2021).

La relación °Brix/AT, fue más alta en la Norteña en comparación con Santa Cecilia. Ambos lugares se diferenciaron en pH y concentración de nutrientes donde La Norteña obtuvo los valores más altos y Santa Cecilia lo fue con mayor contenido de materia orgánica en el suelo.

Los valores de la relación °Brix/AT al día 2 de almacenamiento no presentan diferencias estadísticas entre los tratamientos. Al día 6 y 10 de almacenamiento, la relación disminuyó de acuerdo a la frecuencia de las aplicaciones de AVG y los valores más bajo fueron con el tratamiento donde se hicieron tres aplicaciones. Al día 14, la relación fue inversa, se incrementó en los tratamientos con AVG y disminuyó en el control. Esta relación °Brix/AT constituye el equilibrio entre los ácidos y azúcares, influenciada por el equilibrio entre sabor y aroma de los frutos (Munaretto et al., 2018).

## 4.2 Café “Oro Azteca”

### 4.2.1 Variables físicas de frutos de café “Oro Azteca” en 2020

#### 4.2.1.1 Dinámica de crecimiento

En el Cuadro 17 se presentan las características físicas de frutos de café “Oro Azteca”. Se encontraron frutos en diferentes etapas de desarrollo, desde la Etapa II hasta la IV, donde los frutos en estado maduro fisiológicamente representaron el 28 %, de los cuales, el 1 % eran de color amarillo-rojo, el 55 % de frutos estaban en la Etapa III y el 17 % en la Etapa II (Cuadro 18).

Cuadro 17. Características físicas promedio de frutos de café “Oro Azteca” cosechados en el Soconusco, Chiapas.

Características	Media*
Peso (g)	0.875 ± 0.006
Lado polar (mm)	14.315 ± 0.071
Lado ecuatorial (mm)	11.840 ± 0.056
Lado transversal (mm)	10.499 ± 0.053
Diámetro (mm)	12.164 ± 0.05

\* Los valores son promedio de 2077 frutos ± el error estándar.

Se observaron frutos con diferentes tamaños y pesos en una sola bandola, identificando los diferentes estados de desarrollo del café. De las 12 a 14 semanas después de la antesis (SDA) el peso y las dimensiones constituyeron el 18.1 y el 53.56 % del peso y las dimensiones finales. Durante el crecimiento y desarrollo de los frutos, aumentan las características físicas, alcanzando la madurez fisiológica después de la semana 25 y hasta la 33 y de la 31 a las 36 semanas se presenta el tono característico de corte, para este caso, a partir de la semana 33 se observó un tono amarillo-rojo (Cuadro 18). Por ello, describir las características físicas y bioquímicas durante el desarrollo de los cultivos es útil para realizar modelos de crecimiento, lo que facilita la toma de decisiones, planeación y manejo de prácticas agrícolas en el sistema de producción (V. H. Ramírez, 2014).

Cuadro 18. Dinámica de crecimiento del fruto de *Coffea arabica* L. var. Oro Azteca en el Soconusco, Chiapas.

Etapa		Semana después de la antesis*	Peso (g)	Variables dimensionales**				
				Lado polar (mm)	Lado ecuatorial (mm)	Lado transversal (mm)	Diámetro (mm)	Radio (mm)
Etapa I		9 a 10	0.15	8.87	6.72	6.08	7.29	3.62
Etapa II		11 a 17	0.54	11.40	8.60	8.13	9.49	4.72
Etapa III		18 a 25	0.94	13.43	10.48	9.77	11.24	5.59
Etapa IV		26 a 31	1.53	16.46	13.31	12.23	13.88	6.91
Etapa V		32 a 35	1.93	18.49	15.66	13.87	15.64	7.79

\*Los valores son promedio de 40 frutos de café.

\*\*De acuerdo a las ecuaciones (1 – 4) citadas por Alvarez et al. (1999).

El efecto de AVG en el lado ecuatorial de los frutos de café no fue evidente entre tratamientos, pero fueron mayores al testigo (Figura 8). Además, los primeros frutos en madurar iniciaron en la semana 30 después de la antesis, en algunos de ellos la maduración fue inducida por daños físicos originados por la lluvia y/o por la broca del café. En otros países como en Colombia, el café *C. arabica* var. Colombia, inicia la maduración en la semana 30 (Marín-López *et al.*, 2003a).

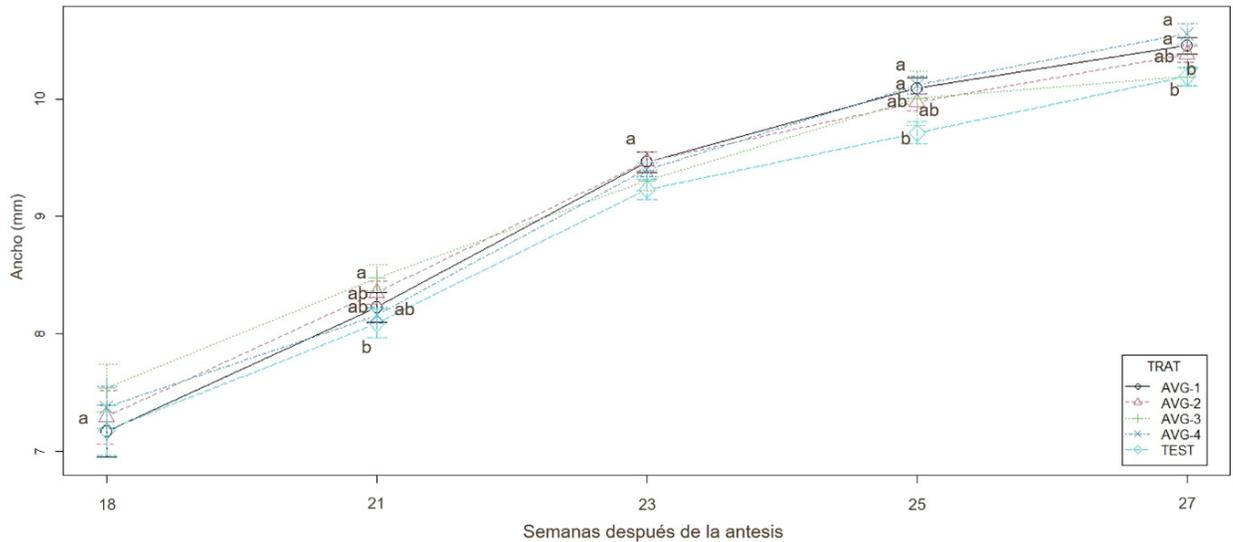


Figura 8. Crecimiento ecuatorial (mm) de frutos de café “Oro Azteca” de la semana 18 a la 27 después de la antesis en el Soconusco, Chiapas.

\*Valores con la misma letra por fecha son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ .

Sin embargo, este efecto no siempre se presenta, como lo reportado en otros cultivos como en manzana *Malus domestica* Borkh. var. Braeburn (Ozturk et al., 2013) y en cereza *Prunus avium* L. var. North Wonder donde los diámetros geométricos fueron similares al testigo (Kucuker & Ozturk, 2015).

Por otro lado, este efecto puede deberse también, entre otros factores, a la cantidad de frutos en el cafeto, a las condiciones climáticas (Juárez-Bravo et al., 2018) y por el efecto de aplicaciones exógenas, que reducen la producción de etileno y en consecuencia el proceso de maduración fisiológica de los frutos, que es cuando los frutos alcanzan su máximo tamaño (Martínez et al., 2017), en el caso del café, durante la Etapa IV (Arcila-Pulgarín et al., 2002; DaMatta et al., 2007).

Los frutos presentaron crecimiento (diámetro en mm) lento durante la Etapa III de maduración que abarcó las semanas 18 a 25 de desarrollo, sin diferencias estadísticas entre los tratamientos ( $p \leq 0.05$ ) (Figura 8). Llevar un control de las fases de desarrollo del fruto evita cosechar cerezas de café en estados inmaduros, lo que disminuye las pérdidas en peso y rendimiento (Marín-López et al., 2003a). Ya que los frutos maduros aumentan sus dimensiones en diámetro longitudinal, diámetro ecuatorial y la masa hasta el 8.9 %, 23.3 % y 61 %, respectivamente, comparados con frutos inmaduros (Juárez-Bravo et al., 2018).

#### 4.2.1.2 Dimensiones ortogonales

Las dimensiones de los frutos antes del corte, no presentaron diferencias significativas (Cuadro 19), sin embargo, al primer y segundo corte, los frutos de los tratamientos con AVG disminuyeron significativamente su crecimiento desde el 6 al 3 % en diámetro ecuatorial, 5 al 3 % en diámetro longitudinal, además del diámetro y radio característicos 5 - 3 %.

Cuadro 19. Características dimensionales de frutos de café "Oro Azteca" tratados en precosecha con AVG.

Tratamiento	Lado polar (mm)	Lado ecuatorial (mm)	Lado transversal (mm)	Diámetro (mm)
Antes del corte (30 semanas después de la antesis)				
Testigo	15.51 a*	12.57 a	13.83 a	13.94 a
AVG-1	15.36 a	12.15 a	13.40 a	13.60 a
AVG-2	15.37 a	12.50 a	13.67 a	13.82 a
AVG-3	15.68 a	12.79 a	13.83 a	14.07 a
AVG 4				
CV** %	9.21	10.59	10.15	9.58
Primer corte (32 semanas después de la antesis)				
Testigo	15.62 ab	12.83 ab	14.03 a	14.13 ab
AVG-1	15.18 abc	12.14 c	13.36 a	13.53 a
AVG-2	15.02 bc	12.50 abc	13.65 a	13.70 ab
AVG-3	14.87 c	12.25 bc	13.33 a	13.46 a
AVG-4	15.86 a	13.03 a	14.03 a	14.28 a
CV %	8.5	9.65	9.49	8.83
Segundo corte (34 semanas después de la antesis)				
Testigo	15.24 ab	12.49 ab	13.38 abc	13.68 ab
AVG-1	14.98 b	11.92 c	12.91 bc	13.24 b
AVG-2	15.54 ab	12.52 ab	13.53 ab	13.83 a
AVG-3	14.97 b	12.11 bc	12.81 c	13.24 b
AVG-4	15.57 a	12.76 a	13.74 a	14.00 a
CV %	9.65	12.18	12.75	11.12
Tercer corte (36 semanas después de la antesis)				
Testigo	15.45 a	12.66 a	13.67 ab	13.90 ab
AVG-1	15.73 a	12.84 a	13.85 ab	14.11 ab
AVG-2	15.75 a	12.99 a	13.99 a	14.22 a
AVG-3	15.23 a	12.54 a	13.43 b	13.71 b

AVG-4	15.33 a	12.69 a	13.58 ab	13.84 ab
CV %	9.93	11.18	11.29	10.5
Cuarto corte (38 semanas después de la anthesis)				
Testigo	16.76 a	14.01 a	14.94 a	15.21 a
AVG-1	15.91 b	12.94 b	14.99 a	14.46 b
AVG-2	15.68 b	12.94 b	13.83 a	14.12 bc
AVG-3	15.42 b	12.50 b	13.40 a	13.74 c
AVG-4	15.65 b	12.92 b	13.79 a	14.10 bc
CV %	11.95	13.65	35.81	14.62

\* Valores con la misma letra por columna son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ . \*\* CV: Coeficiente de variación (%).

Un efecto de disminución del crecimiento se observó en los frutos con AVG, ya que, para el tercer corte, en las variables diámetro ecuatorial y diámetro longitudinal no se encontraron diferencias significativas entre tratamientos comparados con el testigo sin aplicación, mismo efecto se observó en el cuarto corte (Cuadro 19). Sin embargo, para el cuarto corte, el diámetro ecuatorial, diámetro longitudinal, diámetros y radios característicos de los frutos conservaron las dimensiones desde el primer corte siendo menor al del testigo.

## **4.2.2 Efecto de aplicaciones de AVG en los componentes del rendimiento de café “Oro Azteca”**

### **4.2.2.1 Número de frutos**

Durante el primer corte en la semana 32, no se encontró diferencias estadísticas entre tratamientos en frutos inmaduros, sobremaduros y secos entre tratamientos. Los tratamientos con AVG redujeron la cantidad de frutos maduros desde un 26.1 % (AVG-1) hasta el 60.9 % (AVG-4). Al tercer corte, el tratamiento AVG-2 obtuvo la menor cantidad (35.4 % menos) de frutos maduros entre los tratamientos. El tratamiento AVG-4 obtuvo 19 % más frutos maduros que el testigo en el cuarto corte (Cuadro 20).

Durante la recolecta se encontraron frutos en diferentes etapas de desarrollo, desde la Etapa II hasta la IV, donde los frutos en estado maduro fisiológicamente representaron el 28 %. El beneficio de frutos inmaduros sin mucílago y de frutos sobremaduros representa calidades bajas en el producto final, esto es causado por daños físicos durante el despulpado, por ello, la selección de los frutos maduros determina la calidad de bebida (Marín-López et al., 2003b). Una mezcla de frutos en color amarillo (estado 81), amarillo-rojo (estado 85) y cereza (estado 88) (Arcila-Pulgarín et al., 2002), se obtendrá la calidad de café no deseada, generará precios menores de lo que se puede conseguir con frutos maduros y recolectados selectivamente (Ocampo-López et al., 2017).

Cuadro 20. Efecto de las aplicaciones de AVG en el número de frutos de café “Oro Azteca” recolectados por bandola.

Tratamiento	Número de frutos por bandola*				Semanas después de la antesis
	Inmaduros	Maduros	Sobremaduros	Secos	
Testigo	39.20 ± 2.91	1.60 ± 0.32	0.26 ± 0.09	0.13 ± 0.06	30
	31.00 ± 2.34	1.61 ± 0.26	0.22 ± 0.09	0.29 ± 0.14	32
	31.16 ± 3.50	3.25 ± 0.49	0.25 ± 0.25	0.54 ± 0.21	34
	20.40 ± 1.85	4.40 ± 0.60	0.44 ± 0.15	0.18 ± 0.09	36
	14.73 ± 2.15	6.96 ± 1.07	0.66 ± 0.13	1.63 ± 0.38	38
AVG-1	50.06 ± 6.11	2.10 ± 0.34	0.24 ± 0.11	0.10 ± 0.05	30
	35.96 ± 4.77	1.46 ± 0.25	0.23 ± 0.10	0.33 ± 0.21	32
	31.03 ± 4.99	2.40 ± 0.62	0.06 ± 0.04	0.33 ± 0.11	34
	25.66 ± 3.83	4.96 ± 0.86	0.44 ± 0.12	0.07 ± 0.05	36
	13.56 ± 2.17	4.96 ± 0.98	1.00 ± 0.28	1.20 ± 0.26	38
AVG-2	43.44 ± 5.45	1.72 ± 0.48	0.13 ± 0.10	0.51 ± 0.22	30
	28.43 ± 3.36	1.40 ± 0.33	0.30 ± 0.17	0.20 ± 0.08	32
	25.16 ± 3.24	1.56 ± 0.28	0.13 ± 0.06	0.46 ± 0.15	34
	21.92 ± 3.83	2.84 ± 0.50	0.24 ± 0.10	0.48 ± 0.30	36
	11.60 ± 1.25	5.73 ± 1.02	0.66 ± 0.19	1.50 ± 0.34	38
AVG-3	33.93 ± 2.95	0.96 ± 0.29	0.37 ± 0.03	0.51 ± 0.16	30
	29.45 ± 3.05	1.22 ± 0.29	0.12 ± 0.13	0.12 ± 0.07	32
	24.96 ± 2.88	2.21 ± 0.43	0.21 ± 0.07	0.21 ± 0.08	34
	21.07 ± 2.41	3.81 ± 0.69	0.18 ± 0.07	0.14 ± 0.08	36
	11.62 ± 1.44	6.25 ± 0.78	0.65 ± 0.17	1.40 ± 0.38	38
AVG-4	38.76 ± 3.97	0.90 ± 0.39	0.03 ± 0.03	0.03 ± 0.03	30
	28.43 ± 3.68	1.10 ± 0.24	0.13 ± 0.06	0.33 ± 0.12	32
	31.13 ± 3.78	1.27 ± 0.32	0.03 ± 0.03	0.48 ± 0.15	34
	27.96 ± 3.49	3.23 ± 0.83	0.23 ± 0.08	0.26 ± 0.16	36
	12.70 ± 1.97	8.30 ± 1.19	0.83 ± 0.19	1.46 ± 0.31	38

\*Los valores son promedio de 10 bandolas por planta ± error estándar.

El efecto de la AVG en la maduración fue observado en la semana 34 a la 36 después de la antesis, obteniendo mayor número de frutos inmaduros y menor en maduros. Por el contrario, en café variedad “Castillo” con aplicaciones de AVG a  $100 \mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  una semana antes del pico de cosecha, Unigarro et al. (2018) obtuvieron mayor porcentaje de frutos maduros y menor en sobremaduros, indicando que las aplicaciones de productos exógenos inhibidores del etileno podrían ayudar a obtener recolectas con mayor número de frutos maduros. También se debe tomar en cuenta el efecto que los factores abióticos y bióticos puedan tener, por ejemplo, el daño por la broca afecta al café propiciando su caída hasta el 50 % en frutos con ocho semanas de desarrollo y 23 % en frutos de 12 semanas, además, los frutos infectados de color verde pueden cambiar a color cereza similar a los maduros (Bustillo-Pardey, 2002).

El color difiere entre los estados de maduración, aunque el comportamiento de las dimensiones y masa de los frutos del café no cambian durante las últimas etapas de la maduración (Juárez-Bravo et al., 2018) de frutos inmaduros (29 – 33 semanas después de la antesis —SDA—) a sobremaduros (37 – 39 SDA). Durante el último corte, los frutos maduros se concentraron en el tratamiento AVG-4 obteniendo un 18 % más frutos comparado con el testigo; efecto causado debido a la inhibición del etileno por el AVG, y al incrementar las dosis concentra los frutos maduros en un corte posterior (Unigarro et al., 2018).

#### **4.2.2.2 Peso de los frutos**

Durante el primer y el cuarto corte, los frutos con AVG obtuvieron menor peso comparados con el testigo sin aplicación (Figura 9). No obstante, el tratamiento AVG-1 y AVG-3 que se aplicaron una vez en junio y tres veces de mayo a junio, respectivamente, retardaron el aumento del peso durante los dos primeros cortes de los frutos.

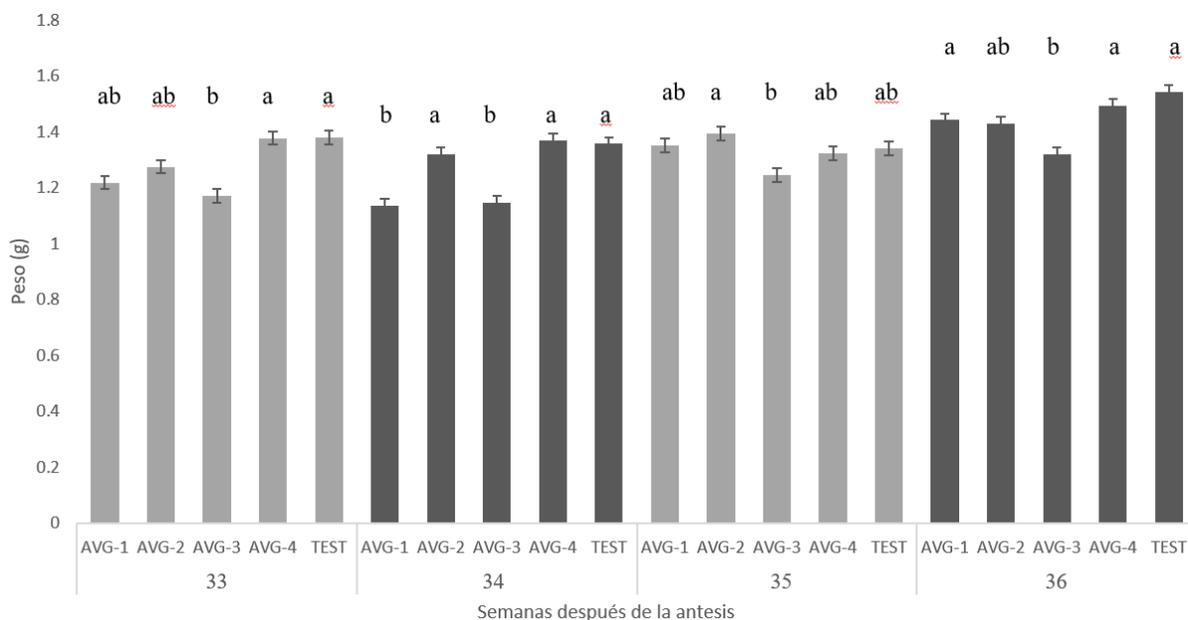


Figura 9. Peso de frutos maduro a 33-36 semanas (g) de café "Oro Azteca" con aplicaciones de AVG en precosecha en el Soconusco, Chiapas.

\*Valores con la misma letra por fecha son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ . % CV semana 33 = 23.56, % CV semana 34 = 29.04, % CV semana 35 = 29.19, % CV semana 36 = 26.26.

Unigarro et al. (2018) no encontraron diferencias significativas en el peso de los frutos recolectados de café variedad "Colombia" con cuatro inhibidores del etileno (AVG, acetato de potasio, ácido aminooxiacético y ácido salicílico). En esta investigación se observó que la mayor frecuencia de AVG redujo el peso del fruto durante todas las evaluaciones con respecto al testigo. En otros cultivos, como en cereza cv "North Wonder" Kucuker y Ozturk (2015) reportan menor peso con AVG 250 mg·L<sup>-1</sup> comparados con el control.

#### 4.2.2.3 Clorofilas, carotenoides y fenoles

Las aplicaciones de AVG no presentaron el efecto deseado, no se encontraron diferencias estadísticas durante el primer corte en las variables clorofilas ( $p \leq 0.05$ ); sin embargo, en clorofila *a* y *b* el tratamiento AVG-2 aplicado dos veces obtuvo la menor concentración comparado con el testigo (Cuadro 21).

Contrario en las clorofilas y fenoles durante el segundo corte, siendo el tratamiento AVG-1 de una aplicación el mejor de todos comparados con el testigo, obteniendo disminución de las variables clorofila *a* del 33.3 %, se redujo las clorofilas totales un 33.9% y aumentaron los fenoles un 16 %. En clorofila *b* y carotenoides no se observaron diferencias entre tratamientos. Durante el tercer corte, la AVG-1 disminuyó las clorofilas *a* 23.4 %, *b* 21.4 %, clorofilas totales 22.4 % y un 5.3 % de los

carotenoides. La AVG-1 y AVG-3 aumentaron los fenoles un 26.1 y 26.5 % comparado con el testigo (Cuadro 22). El efecto de la AVG-1 se mantuvo durante el cuarto corte, obteniendo menor contenido de clorofila *a* (20.4 %), clorofila *b* (33.1 %), clorofilas totales (25.1 %).

El tratamiento con mayor contenido de fenoles fue AVG-4 con 33.5 % con respecto al testigo. Aunque la AVG disminuyó significativamente las concentraciones de clorofilas y carotenoides con una y dos aplicaciones, la disminución del contenido de fenoles no fue mayor al 11 % y se logró aumentar su contenido desde una aplicación.

Cuadro 21. Clorofilas, carotenoides y fenoles totales en la epidermis de los frutos de café “Oro Azteca” con aplicaciones precosecha de AVG en Soconusco, Chiapas.

Tratamiento	Variables				
	Clorofila a (mg·100 g <sup>-1</sup> )	Clorofila b (mg·100 g <sup>-1</sup> )	Clorofilas totales (mg·100 g <sup>-1</sup> )	Carotenoides totales (mg·100 g <sup>-1</sup> )	Fenoles (mg EqAG·100 g <sup>-1</sup> )
Primer corte (32 semanas después de la antesis)					
Testigo	1.49 a*	1.17 a	2.67 a	3.33 a	1,095.70 a
AVG-1	1.29 ab	1.01 a	2.30 a	2.90 a	1,182.74 a
AVG-2	1.67 a	0.59 b	2.27 a	3.08 a	1,174.11 a
AVG-3	1.01 b	1.06 a	2.07 a	2.49 a	1,154.64 a
CV%	26.63	23.18	15.05	23.38	10.37
Segundo corte (34 semanas después de la antesis)					
Testigo	1.17 a	1.56 a	2.74 ab	3.40 a	792.53 b
AVG-1	0.78 b	1.02 a	1.81 c	2.60 a	921.63 a
AVG-2	1.39 a	1.70 a	3.09 a	3.59 a	702.71 d
AVG-3	1.16 a	1.57 a	2.73 ab	3.29 a	765.67 c
AVG-4	1.28 a	1.03 a	2.32 bc	3.36 a	742.66 c
CV%	14.72	29.49	16.14	27.02	2.98
Tercer corte (36 semanas después de la antesis)					
Testigo	1.92 b	2.52 a	4.45 ab	5.40 ab	675.07 b
AVG-1	1.47 c	1.98 b	3.45 c	5.11 b	851.39 a
AVG-2	1.85 bc	2.40 ab	4.26 b	6.12 ab	707.47 b
AVG-3	2.15 ab	2.36 ab	4.51 ab	5.71 ab	854.30 a
AVG-4	2.42 a	2.63 a	5.06 a	6.69 a	724.14 b
CV %	11.10	10.35	8.14	13.41	12.04
Cuarto corte (38 semanas después de la antesis)					
Testigo	2.69 a	1.60 ab	4.29 a	5.33 a	522.16 ab
AVG-1	2.14 b	1.07 c	3.21 b	5.74 a	503.24 b
AVG-2	2.39 ab	1.51 b	3.90 a	6.03 a	632.34 ab
AVG-3	3.07 a	1.96 a	5.03 a	5.02 a	572.82 ab
AVG-4	2.84 a	1.69 ab	4.54 a	6.05 a	697.29 a
CV %	15.81	15.65	13.94	16.06	29.28

\* Valores con la misma letra por columna son estadísticamente similares de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $p \leq 0.05$ . CV: Coeficiente de variación.

Se han probado inhibidores de etileno para reducir el proceso de maduración y la transformación de los pigmentos responsables de los cambios de color. Win et al. (2021), describen una reducción del contenido de clorofila y aumento de carotenoides durante el almacenamiento de caqui *Diospyros kaki* Thunb. var. Sangjudungsi a 0.5 °C durante tres meses independientemente de los tratamientos con AVG (75 mg L<sup>-1</sup>), 1-metilciclopropeno (1 µL·L<sup>-1</sup>) y el testigo.

al inhibir la síntesis del etileno, la transformación de los pigmentos disminuye. Elmenofy et al. (2021) reportan la reducción del contenido de carotenoides en frutos de chabacano *Prunus armeniaca* L. var. Canino almacenados durante 28 días a 20 °C, tratados con AVG (100 y 150 mg·L<sup>-1</sup>) comparados con el testigo en dos temporadas de producción. Contrario lo que sucedió en esta investigación, donde se evidenció el efecto de la AVG en los frutos de café “Oro Azteca” en el contenido de clorofilas *a*, *b*, clorofilas totales y, solo en el tercer corte en los carotenoides.

El efecto que AVG tuvo en los fenoles totales, contrastan a lo encontrado por Win et al. (2021) que describen una reducción de los fenoles totales al primer y segundo mes de almacenamiento a 0.5 °C en frutos de caqui cv “Sangjudungsi” tratados con AVG (75 mg·L<sup>-1</sup>), debido a la reducción del etileno por la inhibición de AVG que puede retrasar la maduración y ablandamiento durante el almacenamiento.

## V. CONCLUSIONES

Las aplicaciones de AVG demostraron tener efectos en ambos cultivos de estudio, con mayor efecto en las características organolépticas en mango.

El peso del fruto y la epidermis presento menor pérdida de peso con las aplicaciones de AVG y se incrementó con el número de las mismas.

La mayor frecuencia de las aplicaciones exógenas precosecha de AVG retrasaron el proceso de maduración del mango "Ataulfo" observando mayor efecto en mantener la firmeza de los frutos, incrementó la acidez y disminuyó los sólidos solubles totales.

La diferencia de las características organolépticas entre sitio de estudio fue evidente. La aplicación de fertilizantes químicos sintéticos y riego en La Norteña mejoraron los °Brix, la relación °Brix/AT a los 14 días de almacenamiento.

En café "Oro Azteca", las aplicaciones de AVG disminuyeron el porcentaje de frutos maduros, sobremaduros y sus dimensiones durante las cuatro recolectas. La AVG-3, de tres aplicaciones redujo el peso de los frutos. La aplicación de AVG 9 semanas antes de la primera recolecta (AVG-1) disminuyó el contenido de clorofila a, clorofilas totales y carotenoides después del segundo corte, y aumentó los fenoles totales en el segundo y tercer corte.

## VI. LITERATURA CITADA

- Abeles, F. B., Morgan, P. W., & Saltveit, M. E. (1992). CHAPTER 2—Ethylene Analysis and Properties of the Gas. En F. B. Abeles, P. W. Morgan, & M. E. Saltveit (Eds.), *Ethylene in Plant Biology (Second Edition)* (pp. 14-25). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-091628-6.50008-4>
- Aguirre-Cadena, J. F., Ramírez-Valverde, B., Trejo-Téllez, Morales-Flores, F. J., & Juárez-Sánchez, J. P. (2012). Producción de café en comunidades indígenas de México: Beneficios sociales y ambientales. *Agro Productividad*, 5(2), Art. 2.
- Ajila, C. M., Bhat, S. G., & Prasada Rao, U. J. S. (2007). Valuable components of raw and ripe peels from two Indian mango varieties. *Food Chemistry*, 102(4), 1006-1011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.06.036>
- Alonso-Báez, M., Pérez-Barraza, M. H., & Sandoval-Esquivel. (2016). Ajustes de la escalas Alfa Numérica y BBCH a la fenología floral del mango Ataulfo (*Mangifera indica* L.). *Agro Productividad*, 9(4), Art. 4.
- Alvarez, E., Alvarez Mejia, F., Oliveros Taseón, C., & Montoya Restrepo, E. C. (1999). Propiedades físico-mecánicas del fruto y del sistema fruto-pedúnculo del café variedad Colombia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 52(2), Art. 2.
- Amarante, C. V. T. do, Simioni, A., Megguer, C. A., & Blum, L. E. B. (2002). Effect of aminoethoxyvinilglycine (AVG) on preharvest fruit drop and maturity of apples. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 24, 661-664. <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000300022>
- Anand, C. G., Kumar, P., & D'souza, G. F. (2014). Pre-mature fruit drop and coffee production in India: A review. *Indian Journal of Plant Physiology*, 19(3), 230-237. <https://doi.org/10.1007/s40502-014-0102-y>
- AOAC. (1990). *Official methods of Analysis of the AOAC. Volume 2.* (15th Edition, Vol. 2). Association of Official Analytical Chemists, INC.
- Arcila-Pulgarín, J. (2007). Crecimiento y desarrollo de la planta de café. En J. Arcila-Pulgarín, F. F. Farfan V., A. M. Moreno B., L. F. Salazar G., & E. Hincapie G. (Eds.), *Sistemas de producción de café en Colombia* (pp. 21-60). Cenicafé. <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/720>
- Arcila-Pulgarín, J., Buhr, L., Bleiholder, H., Hack, H., Meier, U., & Wicke, H. (2002). Application of the extended BBCH scale for the description of the growth stages of coffee (*Coffea* spp.). *Annals of Applied Biology*, 141(1), 19-27. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2002.tb00191.x>
- Argueso, C. T., Hansen, M., & Kieber, J. J. (2007). Regulation of Ethylene Biosynthesis. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(2), 92-105. <https://doi.org/10.1007/s00344-007-0013-5>

- Azcón-Bieto, J., & Talón, M. (2008). *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (1ra Edición). McGraw-Hill Interamericana.
- Balfagón, D., Arbona, V., & Gómez-Cadenas, A. (2022). The future of citrus fruit: The impact of climate change on citriculture. *Mètode Science Studies Journal*, *12*, 123-129.
- Benlloch-González, M., Sánchez-Lucas, R., Benlloch, M., & Ricardo, F.-E. (2018). An approach to global warming effects on flowering and fruit set of olive trees growing under field conditions. *Scientia Horticulturae*, *240*, 405-410. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.06.054>
- Bentley, J. W., & Baker, P. S. (2002). *Manual para la Investigación Colaborativa con Agricultores de Escasos Recursos*. The Commodities Press.
- Blissett, K. A., Emanuel, M., & Barnaby, A. G. (2019). Biochemical properties of tree ripened and post harvest ripened *Mangifera indica* (cv. East Indian). *International Journal of Fruit Science*, *19*(4), 452-463. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1596866>
- Brackmann, A., Thewes, F. R., Anese, R. de O., Both, V., Linke Junior, W., & Schultz, E. E. (2015). Aminoethoxyvinylglycine: Isolated and combined with other growth regulators on quality of 'Brookfield' apples after storage. *Scientia Agricola*, *72*, 221-228.
- Bustillo-Pardey, A. E. (2002). *El manejo de cafetales y su relación con el control de la broca del café en Colombia* (Boletín Técnico N.º 024; p. 42). <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/handle/11348/4012>
- Cadena-Iñiguez, J., Arévalo-Galarza, L., Ruiz-Posadas, L. M., Aguirre-Medina, J. F., Soto-Hernández, M., Luna-Cavazos, M., & Zavaleta-Mancera, H. A. (2006). Quality evaluation and influence of 1-MCP on *Sechium edule* (Jacq.) Sw. Fruit during postharvest. *Postharvest Biology and Technology*, *40*(2), 170-176. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2005.12.013>
- Calderón-Zavala, G., Lakso, A. N., & Piccioni, R. M. (2004). Temperature effects on fruit and shoot growth in the apple (*Malus domestica*) early in the season. *Acta Horticulturae*, *636*, 447-453. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2004.636.54>
- Camayo, V. G. c., Chaves, C. B., Arcila, P. J., & Jaramillo, R. A. (2003). Desarrollo floral del cafeto y su relación con las condiciones climáticas de Chinchiná-Caldas. *Cenicafé*, *54*(1), 35-49.
- Chávez-Hernández, E. C., Quiroz, S., García-Ponce, B., & Álvarez-Buylla, E. R. (2022). The flowering transition pathways converge into a complex gene regulatory network that underlies the phase changes of the shoot apical meristem in *Arabidopsis thaliana*. *Frontiers in Plant Science*, *13*. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2022.852047>
- Chen, P.-A., Roan, S.-F., Lee, C.-L., & Chen, I.-Z. (2016). Temperature model of litchi flowering—From induction to anthesis. *Scientia Horticulturae*, *205*, 106-111. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2016.04.012>

- Cho, L.-H., Yoon, J., & An, G. (2017). The control of flowering time by environmental factors. *The Plant Journal*, 90(4), 708-719. <https://doi.org/10.1111/tpj.13461>
- CIE. (2004). *CIE 15: Technical Reporte: Colorimetry* (3rd ed.). International Commission on Illumination. <https://cie.co.at/publications/colorimetry-3rd-edition>
- Corbesier, L., Bernier, G., & Périlleux, C. (2002). C: N ratio increases in the phloem sap during floral transition of the long-day plants *Sinapis alba* and *Arabidopsis thaliana*. *Plant & Cell Physiology*, 43(6), 684-688. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcf071>
- Cruz, J. D. la, Vela, G., Dorantes, L., & García, H. S. (2010). Efecto del etileno sobre el ACC y ACC oxidasa en la maduración de papaya «maradol». *Revista fitotecnia mexicana*, 33(2), 133-140.
- DaMatta, F. M., Ronchi, C. P., Maestri, M., & Barros, R. S. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 485-510. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400014>
- Davenport, T. L. (2007). Reproductive physiology of mango. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 19, 363-376. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202007000400007>
- De Gyves, M. G., Vázquez, J.A., Figueroa, M. S., Fernández, F., Ramos, D. G., Tlatelpa, M. A., & Toledo, M. (2009). *Alternativas para el aprovechamiento en el sistema producción-comercialización de mango Ataulfo*. 2° Congreso Mesoamericano de Investigación UNACH 2009, Tapachula, Chiapas, México.
- Eira, M. T. S., Silva, E. A. A. da, De Castro, R. D., Dussert, S., Walters, C., Bewley, J. D., & Hilhorst, H. W. M. (2006). Coffee seed physiology. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18, 149-163. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100011>
- Elmenofy, H. M., Okba, S. K., Abdel-Moety, S., & Alam-Eldein, S. M. (2021). Yield, Fruit Quality, and Storability of 'Canino' Apricot in Response to Aminoethoxyvinylglycine, Salicylic Acid, and Chitosan. *Plants*, 10(9), 1838. <https://doi.org/10.3390/plants10091838>
- Fernández, M., Cuadrado, Y., Aparicio, J. F., & Martín, J. F. (2004). Role of homoserine and threonine pathway intermediates as precursors for the biosynthesis of aminoethoxyvinylglycine in *Streptomyces* sp. NRRL 5331. En *Microbiology* (Vol. 150, Número 5, pp. 1467-1474). Microbiology Society. <https://doi.org/10.1099/mic.0.26851-0>
- Flores, V. (2015). La producción de café en México: Ventana de oportunidad para el sector agrícola de Chiapas. *Espacio I+D Innovación más Desarrollo*, 4(7), 174-194. <https://doi.org/10.31644/IMASD.7.2015.a07>
- Gehrke-Vélez, M. R. (2008). Reflexiones sobre problemas de biología reproductiva del mango Ataulfo en el Soconusco, Chiapas. *Revista Tecnología en Marcha*, 21(1), 174-183.

- Gehrke-Vélez, M. R., Castillo-Vera, A., Bello, C. R., & Moreno-Martínez, J. L. (2011). Viabilidad y germinación del polen en mango (*Mangifera indica* L.) cv. Ataúlfo. *Interciencia*, 36(5), 378-385.
- ICO. (2022). *International Coffee Organization*. International Coffee Organization. <https://www.ico.org/>
- Iftikhar, A., Hussain, Z., Khadija, F., Sarwar, G., Khan, M. N., Salik, M. R., & Ahmad, I. (2021, marzo 21). Impact of foliar application of aminoethoxyvinylglycine on pre-harvest fruit drop and quality in mandarin cv. Kinnow (*Citrus reticulata* L. Blanco). *Journal of Pure and Applied Agriculture*, 6(1), 35-43.
- Juárez-Bravo, A., Morales-Ramos, V., Debernardi-De la Vequia, H., Quevedo-Nolasco, A., & Malagón-González, F. (2018). Características físicas del fruto de café (*Coffea arabica* L.) en híbridos de Timor. *Agro Productividad*, 11(3), Art. 3. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/226>
- Küçüker, E., & Ağlar, E. (2021). The Effect of Aminoethoxyvinylglycine (AVG) on Pre-harvest Fruit Drop and Fruit Quality in Red Chief and Braeburn Apple Cultivars. *Uluslararası Tarım ve Yaban Hayatı Bilimleri Dergisi*, 7(2), Art. 2. <https://doi.org/10.24180/ijaws.920613>
- Kucuker, E., & Ozturk, B. (2015). The effects of Aminoethoxyvinylglycine and Methyl Jasmonate on bioactive compounds and fruit quality of 'North Wonder' sweet cherry. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*, 12(2), Art. 2. <https://doi.org/10.4314/ajtcam.v12i2.17>
- Lallum, N., Punter, M., Haynes, G., Pidakala, P., & Burdon, J. N. (2004). *Role of water loss in ripening of «Hass» avocados*. 4, 70-79.
- Lichtenthaler, H. K. (1987). [34] Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. En *Methods in Enzymology* (Vol. 148, pp. 350-382). Academic Press. [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
- López-García, F. J., Escamilla-Prado, E., Zamarripa-Colmenero, A., & Cruz-Castillo, J. G. (2016). Producción y calidad en variedades de café (*Coffea arabica* L.) en Veracruz, México. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 297-304.
- Luo, C., Yu, H. X., Fan, Y., Zhang, X. J., & He, X. H. (2019). Research advance on the flowering mechanism of mango. *Acta Horticulturae*, 1244, 17-22. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1244.2>
- Madigu, N. O., Mathooko, F. M., Onyango, C. A., Kahangi, E. M., & Owino, W. O. (2009). Physiology and quality characteristics of mango (*Mangifera indica* L.) fruit grown under water deficit conditions. *Acta Horticulturae*, 837, 299-304. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2009.837.40>
- Maldonado-Astudillo, Y. I., Navarrete-García, H. A., Ortiz-Morales, Ó. D., Jiménez-Hernández, J., Salazar-López, R., Alia-Tejacal, I., & Álvarez-Fitz, P. (2016).

Propiedades físicas, químicas y antioxidantes de variedades de mango crecidas en la costa de Guerrero. *Revista fitotecnia mexicana*, 39(3), 207-214.

- Marín-López, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E. C., & Oliveros-Tascon, C. E. (2003a). Cambios físicos y químicos durante la maduración del fruto de café *coffea Arabica* I var Colombia. *Cenicafé*, 54(3), 208-225.
- Marín-López, S. M., Arcila-Pulgarín, J., Montoya-Restrepo, E. C., & Oliveros-Tascon, C. E. (2003b). Relación entre el estado de madurez del fruto del café y las características de beneficio, rendimiento y calidad de la bebida. *Cenicafé*, 54(4), 297-315.
- Martínez, V. C., Aristizábal, I. D., & Moreno, E. L. (2017). Evaluation of the composition effect of harvested coffee in the organoleptic properties of coffee drink. *Vitae*, 24(1), 47-58.
- Matsuo, S., Kikuchi, K., Fukuda, M., Honda, I., & Imanishi, S. (2012). Roles and regulation of cytokinins in tomato fruit development. *Journal of Experimental Botany*, 63(15), 5569-5579. <https://doi.org/10.1093/jxb/ers207>
- Mendoza-Hernández, C., Rosas-Quijano, R., Vázquez-Ovando, A., & Gálvez-López, D. (2020). Retos y controversias del mango Ataulfo. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 209-215.
- Mittelheuser, C. J., & van Stevenick, R. F. M. (1969). Stomatal closure and the inhibition of transpiration by (RS)-abscisic acid. *Nature*, 221, 281-282. <https://doi.org/10.1038/221281a0>
- Munaretto, L. M., Botelho, R. V., Resende, J. T. V., Schwarz, K., & Sato, A. J. (2018). Productivity and quality of organic strawberries pre-harvest treated with silicon. *Horticultura Brasileira*, 36, 40-46.
- Nava-Tablada, M. E., Hernández-Solabac, J. A. M., Díaz-Cárdenas, S., Pérez-Portilla, E., & Escamilla-Prado, E. (2011). International migration and technological management in coffee production in two communities in the central area of Veracruz State. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(3), Art. 3. <https://www.revista.ccba.uady.mx/ojs/index.php/TSA/article/view/800>
- NCBI. (2021, abril). *PubChem Structure Search*. PubChem. <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/search/search.cgi>
- Ness, P. J., & Romani, R. J. (1980). Effects of Aminoethoxyvinylglycine and Countereffects of Ethylene on Ripening of Bartlett Pear Fruits. *Plant Physiology*, 65(2), 372-376. <https://doi.org/10.1104/pp.65.2.372>
- NMX-FF-058-SCFI-2006. (2006). *Productos alimenticios no industrializados para consumo humano—Fruta fresca—Mango (mangifera indica L.)—Especificaciones*. Diario Oficial de la Federación de México. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normas/nmx/2006/nmx-ff-058-scfi-2006.pdf>

- NOM-188-SCFI-2012. (2012). *Mango Ataulfo del Soconusco, Chiapas (Mangifera caesia Jack ex Wall)-Especificaciones y métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación de México. [http://dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5280541&fecha=29/11/2012](http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5280541&fecha=29/11/2012)
- Ocampo-López, O. L., Ovalle-Castiblanco, A. M., Arroyave-Díaz, A., Salazar-Ospina, K., Ramírez-Gómez, C. A., Oliveros-Tascon, C. E., Ocampo-López, O. L., Ovalle-Castiblanco, A. M., Arroyave-Díaz, A., Salazar-Ospina, K., Ramírez-Gómez, C. A., & Oliveros-Tascon, C. E. (2017). Nuevo método estándar para la recolección selectiva de café. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 18(2), 127-137.
- Ozturk, B., Ozkan, Y., Altuntas, E., Yidiz, K., & Saracoglu, O. (2013). Efeito da aminoetoxivinilglicina nas propriedades físico-mecânicas, bioquímicas e cor da maçã cv. Braeburn. *Semina: Ciências Agrárias*, 34(3), Art. 3. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n3p1111>
- Öztürk, B., Yakup, Ö., Yildiz, K., Öztürk, A., Kemal, K., Mutlu, U., Medeni, K., & Karakaya, O. (2014). The role of pre-harvest aminoethoxyvinylglycine treatments on fruit quality of Braeburn apple during cold storage. *International Mesopotamia Agriculture Congress*, 22-25.
- Pérez, V., Herrero, M., & Hormaza, J. I. (2019). Different factors involved in the low fruits set of mango (*Mangifera indica*). *Acta Horticulturae*, 1231, 43-48. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2019.1231.8>
- Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia†, V., Osuna-García, J. A., & Urías-López, M. A. (2009). Increase on set and size of partenocarpic fruit in «Ataulfo» mango with growth regulators. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 15(2), 184-188. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2009.15.025>
- Pérez-Barraza, M. H., Vázquez-Valdivia, V., & Salazar-García, S. (2006). Defoliación de brotes apicales y su efecto en la diferenciación floral del mango 'Tommy Atkins'. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29(4), Art. 4. <https://doi.org/10.35196/rfm.2006.4.313-319>
- Puche, M., Pérez, M., Soto, E., Figueroa, R., Gutierrez, M., & Avilán, L. (2012). La temperatura mínima como determinante ambiental en la iniciación floral del mango. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(1), 83-90.
- Puerta-Quintero, G. I. (2000). Calidad en taza de algunas mezclas de variedades de café de la especie *Coffea arabica* L. *Cenicafé*, 51(1), 5-19.
- Ramírez, R., Sayago, E., Castellano, G., & Quijada, O. (2006). Efecto de la fertilización con calcio y el estado de madurez sobre la calidad de la fruta de guayaba (*Psidium guajava* L.). *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 7(2), 109-113.
- Ramírez, V. H. (2014). *La fenología del café una herramienta para apoyar la toma de decisiones* (Technical Report N.º 441). Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/489>

- Reyes, A. J., Alvarez-Herrera, J. G., & Fernández, J. P. (2013). Role of calcium in stomatal opening and closing and their interactions with compatible solutes. A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7(1), 111-122.
- Rivas-Robles, E., Posada-Toledo, A., Vela-Gutiérrez, G., & Vargas-Ortiz, M. A. (2020). Evaluación fisicoquímica y determinación sensorial de frutos descartados de *Mangifera indica* L. variedad Ataulfo en Acapetahua, Chiapas, México. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 21(1).  
<https://www.redalyc.org/journal/813/81363356004/>
- Royo, E. (2014). Café I. *REDUCA (Biología)*, 7(2), Art. 2.
- Romero-Gomezcaña, N. R., Sánchez-García, P., Rodríguez-Alcázar, J., & Saucedo-Veloz, C. (2006). Aplicación foliar de calcio y su relación con la calidad en frutos de mango cv. Haden. *Agricultura técnica en México*, 32(1), 5-15.
- Sáenz, V., Bertsch, F., Saborío, D., & Arauz, L. F. (2000). Efecto del calcio en aplicaciones precosecha y poscosecha sobre la severidad de antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*) y la calidad de frutos de papaya (*Carica papaya*). *Agronomía Costarricense*, 24(2), 77-88.
- Saltveit, M. E. (2005). Aminoethoxyvinylglycine (AVG) reduces ethylene and protein biosynthesis in excised discs of mature-green tomato pericarp tissue. *Postharvest Biology and Technology*, 35(2), 183-190.  
<https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2004.07.002>
- Sandip, M., Makwana, A. N., Barad, A. V., & Nawade, B. D. (2015). Physiology of Flowering-The Case of Mango. *International Journal of Applied Research*, 1(11), 1008-1012.
- SEM. (2022). 09—Café, té yerba mate y especias. Secretaría de Economía de México.  
[www.economia-snci.gob.mx](http://www.economia-snci.gob.mx)
- SIAP. (2021). *Cierre Agrícola*. Anuario Estadístico de la Producción Agrícola.  
<https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. En *Methods in Enzymology* (Vol. 299, pp. 152-178). Academic Press.  
[https://doi.org/10.1016/S0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/S0076-6879(99)99017-1)
- Soethe, C., Steffens, C. A., Hawerth, F. J., Amarante, C. V. T. do, & Heinzen, A. S. (2021). Maturation of «Baigent» apples protected by anti-hail nets and sprayed with aminoethoxyvinylglycine and ethephon. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 56.  
<https://doi.org/10.1590/S1678-3921.pab2021.v56.02439>
- Steffens, C. A., Brackmann, A., Pinto, J. A. V., & Eisermann, A. C. (2007). Taxa respiratória de frutas de clima temperado. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 42, 313-321.

- Tan, L., Toan, N., Hoang, L., Thanh, C., & Luan, L. (2011). Effects of AminoethoxyVinylGlycine (AVG) Spraying Time at Preharvest Stage to Ethylene Biosynthesis of Cavendish Banana (*Musa AAA*). *Journal of Agricultural Science*, 3(1), Art. 1. <https://doi.org/10.5539/jas.v3n1p206>
- Tarun, A. S., Lee, J. S., & Theologis, A. (1998). Random mutagenesis of 1-aminocyclopropane-1-carboxylate synthase: A key enzyme in ethylene biosynthesis. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(17), 9796-9801. <https://doi.org/10.1073/pnas.95.17.9796>
- Unigarro, C. A., Flórez, C. P., Oliveros, C. E., & Cañón, M. (2018). Efecto de cuatro inhibidores de etileno en la maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L.) durante precosecha. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), Art. 2. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7667>
- Uzun, S., & Ozturk, B. (2020). Effects of aminoethoxyvinylglycine and modified atmosphere packaging treatments on the color characteristics and antioxidant activity of kiwifruit during cold storage and shelf life. *Journal of Postharvest Technology*, 8(4), 9-17.
- Vélez-Arango, B. E., Jaramillo-Robledo, A., Chaves-Córdoba, B., & Franco-Arcila, M. (2000). *Distribución de la floración y la cosecha de café en tres altitudes* (Technical Report N.º 272; p. 4). Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé). <https://biblioteca.cenicafe.org/handle/10778/794>
- WFO. (2022). *Mangifera indica* L. World Flora Online. <http://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0000371248>
- Win, N. M., Lee, J., Yoo, J., Ryu, S., Kim, K., Kim, D. H., Jung, H.-Y., Choung, M.-G., Park, K., Cho, Y.-J., & Kang, I.-K. (2018). Effects of Polyethylene Film Liner, 1-Methylcyclopropene, and Aminoethoxyvinylglycine Treatments on Fruit Quality Attributes of 'Tonewase' Persimmon Fruits During Cold Storage. *Horticultural Science and Technology*, 36(2), 256-265. <https://doi.org/10.12972/kjhst.20180026>
- Win, N. M., Yoo, J., Lwin, H. P., Lee, E. J., Kang, I.-K., & Lee, J. (2021). Effects of 1-methylcyclopropene and aminoethoxyvinylglycine treatments on fruit quality and antioxidant metabolites in cold-stored 'Sangjudungsi' persimmons. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 62(6), 891-905. <https://doi.org/10.1007/s13580-021-00360-z>
- Wongkaew, M., Kittiwachana, S., Phuangsaichai, N., Tinpovong, B., Tiyaon, C., Pusadee, T., Chuttong, B., Sringarm, K., Bhat, F. M., Sommano, S. R., & Cheewangkoon, R. (2021). Fruit Characteristics, Peel Nutritional Compositions, and Their Relationships with Mango Peel Pectin Quality. *Plants*, 10(6), Art. 6. <https://doi.org/10.3390/plants10061148>
- Yu, Y.-B., Adams, D. O., & Yang, S. F. (1979). 1-Aminocyclopropanecarboxylate synthase, a key enzyme in ethylene biosynthesis. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 198(1), 280-286. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(79\)90420-X](https://doi.org/10.1016/0003-9861(79)90420-X)