

F
2994
C 2



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO EN PRECOSECHA Y SU
EFECTO POSCOSECHA EN FRUTOS DE AGUACATE
cv. FUERTE

TESIS

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA



DIRECCION GENERAL ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PRESENTA:

SANDRA ALEJANDRA SÁNCHEZ HERNÁNDEZ



Diciembre de 2007
Chapingo, Estado de México



BIBLIOTECA

LA PRESENTE TESIS TITULADA "APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO EN FRUTOS DE AGUACATE (*Persea americana*) cv. FUERTE Y SU EFECTO EN LA CALIDAD POSCOSECHA" FUE REALIZADA POR LA ING. SANDRA ALEJANDRA SÁNCHEZ HERNÁNDEZ, DIRIGIDA POR LA DRA. MA. TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN, REVISADA Y APROBADA POR EL SIGUIENTE JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESIDENTE:



DRA. MA. TERESA MARTÍNEZ DAMIÁN

SECRETARIO:



DR. ALEJANDRO F. BARRIENTOS PRIEGO

VOCAL:



DRA. MA. TERESA B. COLINAS LEÓN

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo brindado durante mi formación académica.

A los académicos del Instituto de Horticultura de la Universidad Autónoma Chapingo por la educación integral que me brindaron.

A la Dra. Teresa Martínez Damián por haber dirigido el presente trabajo de investigación.

Al Dr. Alejandro Barrientos Priego por su orientación y atinados comentarios al presente trabajo.

A la Dra. María Teresa Colinas León por los conocimientos compartidos y el tiempo dedicado a esta investigación.

Al Dr. Juan Enrique Rodríguez Pérez por su apoyo en el análisis estadístico y sus valiosos consejos.

A la fundación Sánchez Colín, al Ing. Juan J. Aguilar Melchor y el personal de campo por su apoyo durante la implementación de la fase experimental.

Al Ing. Cecilio Bautista y la Sra. Ángela Barrera Cortéz por su apoyo durante el trabajo de laboratorio.

TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT.....	X
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.OBJETIVO	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. ANTECEDENTES	4
2.1.1. Origen, distribución y taxonomía del aguacate (<i>Persea americana</i> Mill).....	4
2.1.2. Descripción del fruto de aguacate	6
2.1.3. Desarrollo del fruto	7
2.1.4. Índice de madurez en frutos de aguacate	9
2.1.5. Maduración del fruto.....	10
2.1.6. Climaterio	14
2.1.7. Efecto del ácido giberélico.....	19
3. MATERIALES Y METODOS.....	23
3.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	23
3.3. MATERIAL VEGETAL	23
3.2. CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO.....	23
3.5. VARIABLES RESPUESTA.....	25
3.5.1. Peso fresco	25
3.5.2. Contenido de aceite y materia seca	25
3.5.3. Longitud y diámetro de fruto.....	25
3.5.4. Días a maduración	26
3.5.5. Firmeza	26
3.5.6. Pérdida fisiológica de peso.....	27
3.5.7. Tasa de respiración y producción de etileno	27
3.5.8. Grosor de cutícula (μm).....	28
3.5.9. Color.....	29
3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	30

4. RESULTADOS	31
4.1. PESO FRESCO	31
4.2. CONTENIDO DE ACEITE Y MATERIA SECA	32
4.3. LONGITUD Y DIÁMETRO.....	33
4.4. DÍAS A MADUREZ DE CONSUMO	35
4.5. FIRMEZA	36
4.6. PÉRDIDA FISIOLÓGICA DE PESO.....	37
4.7. TASA DE RESPIRACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ETILENO	38
4.8. GROSOR DE CUTÍCULA	40
4.9. COLOR	42
5. DISCUSIÓN	45
6. CONCLUSIONES	53
7. LITERATURA CITADA	54
8. ANEXO	61

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Análisis bromatológico comparativo entre aguacate cv. Fuerte y cv. Hass	6
Cuadro 2. Peso fresco en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados en aplicaciones precosecha con ácido giberélico.....	31
Cuadro 3. Contenido de materia seca y aceite en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con ácido giberélico durante precosecha	32
Cuadro 4. Análisis bromatológico en aguacates cv. Fuerte sometidos a aplicaciones precosecha de ácido giberélico	33
Cuadro 5. Longitud y diámetro en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con ácido giberélico en precosecha	34
Cuadro 6. Índice de redondez en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con ácido giberélico en precosecha	34
Cuadro 7. Días a madurez de consumo en frutos de aguacate cv. Fuerte con aplicaciones precosecha de ácido giberélico	35
Cuadro 8. Firmeza (N) promedio registrada durante los días de almacenamiento poscosecha a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) en frutos de aguacate cv. Fuerte bajo tratamientos precosecha de ácido giberélico.	36
Cuadro 9. Pérdida fisiológica de peso en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con aplicaciones precosecha de ácido giberélico.....	37
Cuadro 10. Producción de CO_2 ($\text{ml}\cdot\text{k}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con aplicaciones precosecha de ácido giberélico.....	38
Cuadro 11. Producción de C_2H_4 ($\mu\text{l}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) en frutos de aguacate cv. Fuerte con aplicaciones precosecha de ácido giberélico	39
Cuadro 12. Grosor (μm) de la cutícula de frutos de aguacate cv. Fuerte sometidos a tratamientos precosecha de ácido giberélico	40

Cuadro 13. Porcentaje de brillantez en frutos de aguacate cv. Fuerte sometidos a aplicaciones precosecha de ácido giberélico	42
Cuadro 14. Índice de saturación de color en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con aspersiones precosecha de ácido giberélico	43
Cuadro 15. Ángulo del tono (HUE) en frutos tratados con aplicaciones precosecha de ácido giberélico.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Grosor de cutícula en frutos testigo de aguacate cv. Fuerte tratados con $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico en precosecha.....41
- Figura 2. Grosor de cutícula en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados durante precosecha con $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico.....41

RESUMEN

Sandra Alejandra Sánchez Hernández

“APLICACIÓN DE ÁCIDO GIBERÉLICO EN PRECOSECHA Y SU EFECTO POSCOSECHA EN FRUTOS DE AGUACATE cv. FUERTE”

Diciembre, 2007

(Bajo la dirección de Ma. T. Martínez Damián)

Con el propósito de evaluar el efecto poscosecha del ácido giberélico en frutos de aguacate cv. Fuerte se realizaron aspersiones precosecha de ácido giberélico (ACTIVOL®) a una concentración de $50 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. El experimento fue establecido en el Campo experimental de la Fundación Sánchez-Colín en Coatepec Harinas, Estado de México. Las aplicaciones se iniciaron en el mes de mayo del 2006. Se implementaron cinco tratamientos con diferentes concentraciones acumulativas a lo largo del desarrollo del fruto (100, 200, 300, 400 y $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$). Los frutos se cosecharon en febrero de 2007 en estado de madurez fisiológica (30.7 % de materia seca) y se mantuvieron almacenados a temperatura ambiente ($20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$). Se hicieron determinaciones cada tercer día durante doce días. No encontrándose diferencias significativas en peso fresco, longitud, índice de redondez, días a maduración de consumo y pérdida fisiológica de peso. Aplicaciones de $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ incrementaron el contenido de

aceite (23.1 % contra 20.06 % del testigo), aumentaron el grosor de la cutícula y retrasaron el pico de producción de etileno por 48 horas en comparación con los frutos tratados con 100, 200 y 300 mg·L⁻¹ y los frutos testigo en los que el pico climatérico se dio a los cuatro días de almacenamiento. La firmeza de los frutos sometidos a 100 y 200 mg·L⁻¹ de ácido giberélico disminuyó significativamente a los seis días de almacenamiento.

Palabras clave: *Persea americana* Mill., AG₃, materia seca, contenido de aceite, madurez de consumo.

ABSTRACT

Sandra Alejandra Sánchez Hernández

"APPLICATION OF GIBBERELIC ACID IN PREHARVEST AND ITS POSTHARVEST EFFECT ON AVOCADO FRUITS cv. FUERTE".

December, 2007

(Under the direction of M. T. Martínez Damián)

To evaluate the effect of gibberellic acid on post-harvest, avocado fruits cv. Fuerte were sprayed in preharvest with ACTIVOL® at a concentration of 50 mg·L⁻¹. This experiment was established in the experimental center of Fundación Sánchez-Colín, Coatepec Harinas, México. Applications began in May 2006. Five treatments of different cumulative concentrations of gibberellic acid were implemented during fruit development (100, 200, 300, 400 and 500 mg·L⁻¹). The fruits were harvested in February 2007 at physiological maturity (30.7 % dry matter) and were stored at room temperature (20 ± 2 ° C). Determinations were made every other day for a period of twelve days. No significant differences were found in fresh weight, length, roundness index, days to maturity for consumption and physiological weight loss. Applications of 500 mg·L⁻¹ increased the oil content (23.1 vs 20.06 % in control fruits) and cuticle thickness, and delayed the climacteric peak of ethylene production for 48 hours.

Firmness of the fruit treated with concentrations of 100 and 200 mgL⁻¹ of gibberellic acid was statistically lower than the control fruits up to the sixth day of storage.

Keywords: *Persea americana* Mill., AG₃, dry matter, oil content, maturity consumption.

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate es uno de los cultivos más importantes a nivel mundial. Para 1996 la producción superaba los dos millones de toneladas, y se presentó un incremento importante del cultivo en continentes como Asia, África, Norteamérica y Europa. En ese mismo año la producción de América Central y el Caribe fue de 1,148,796 toneladas, cifra que refleja la enorme cosecha obtenida en México (Knigth, 2001) donde el cultivo del aguacate tiene una gran importancia económica.

En el 2006 la superficie cosechada en México ascendió a las 103,436 hectáreas con una producción total de 1,072,063 toneladas proveniente de los estados de México, Morelos, Puebla, Nayarit y Michoacán. Este último, es el mayor productor a nivel nacional, cuenta con una superficie plantada de 94,714 ha, lo cual generó una producción de 943,131 toneladas que contribuye con el 87.97 % del valor de la producción a nivel nacional (SAGARPA, 2006).

A pesar de su importancia económica, el cultivo del aguacate ha enfrentado fuertes problemáticas, principalmente durante el manejo poscosecha y el periodo de comercialización, donde existe fuerte fluctuación de precios en el mercado nacional debido principalmente a la oferta excesiva durante el periodo de cosecha y la calidad de los frutos ofertados.

Diversos estudios se han enfocado a mejorar y prolongar la calidad de los frutos, especialmente durante el periodo de almacenamiento. Entre los más importantes se pueden mencionar las aplicaciones foliares de calcio cuyos

resultados mas sobresalientes son el aumento en la firmeza del fruto, la reducción en la pérdida fisiológica de peso y daños por frío (López y Cajuste, 1995; López y Cajuste, 1996), aplicaciones de 1-Metilciclopropeno que retardaron el proceso de maduración (Osuna *et al.*, 2005), las aplicaciones de Paclobutrazol para incrementar la producción (Kremer, 1991) y ácido giberélico para disminuir el efecto de alternancia productiva e incrementar el número de frutos por árbol (Lovatt, 2005).

El ácido giberélico (AG₃) es el mas empleado en estudios sobre cultivos de interés comercial, que al parecer, se degrada con lentitud, pero durante el crecimiento activo se metaboliza con rapidez por hidroxilación, transformándose en productos activos, que se convierten con facilidad en conjugados que en gran medida son activos, los cuales pueden almacenarse o traslocarse antes de quedar liberados en el momento y lugar oportuno (Salisbury y Ross 2000). Fomentan la división celular, promueven el crecimiento aumentando la plasticidad en la pared celular, lo cual se ha corroborado en algunas especies como chabacano (Goodwin, 1978), sin embargo en aguacate no se ha evaluado (Bower y Cutting, 1988).

En cítricos disminuye la tasa de degradación de clorofila (McGlasson, 1971; McGlasson *et al.*, 1978; Bower y Cutting, 1988; Lovatt, 2005). Agustí y Almela (1988) encontraron que una sola aplicación de 10 mg·L⁻¹ de ácido giberélico a frutos de mandarina cv. Clementina, Fina y Nules antes de que éstas inicien el cambio en la coloración, reduce significativamente los cambios asociados a la maduración.

También tienen un efecto reductor en la acidez de cítricos (El-Zeftawi y Garret, 1978) y retardan la pérdida de jugo en frutos almacenados en el árbol (García *et al.*, 1992).

El campo de aplicación de las giberelinas es tan amplio que se extiende desde la producción de uvas sin semilla, estimular o reducir la floración en crisantemos, como método de raleo, estimulación de frutos partenocárpicos e inclusive para incrementar el tamaño en frutos de manzana y cereza con resultados favorables (Grochowska y Mejía, 2003), entre otros.

En aguacate, los estudios sobre aplicaciones de ácido giberélico se encuentran poco avanzados (Lovatt, 2005) en cuanto a su efecto en poscosecha; encontrándose que aplicaciones de $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ incrementaron el rendimiento al aumentar el tamaño de los frutos, sin embargo, debido a la naturaleza del aguacate se necesita realizar mayor investigación al respecto (Lovatt, 2005), ya que su efecto no ha sido evaluado durante el periodo poscosecha.

1.1.OBJETIVO

1. Evaluar el efecto de la aplicación precosecha de ácido giberélico sobre el periodo y características poscosecha en frutos de aguacate cv. Fuerte.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES

2.1.1. Origen, distribución y taxonomía del aguacate (*Persea americana* Mill)

El cultivo del aguacate tiene su inicio en México y las partes altas de Guatemala, región que esta incluida en lo que se conoce como Mesoamérica y que es considerada como el área donde se llevó a cabo la domesticación del mismo (Barrientos y López, 1998), extendiéndose después hasta las faldas de la Cordillera Andina hasta Perú. Esta zona centroamericana comprende un clima tropical, de estación lluviosa estival. La altitud hasta donde se distribuye el aguacate alcanza hasta 1900 msnm, las temperaturas anuales oscilan entre 24 y 26 °C en las zonas bajas y alrededor de los 20 °C en las de mayor altitud. Las precipitaciones pluviales anuales son de 1800 a 2000 mm en las zonas bajas, de 1000 a 1500 mm en las altitudes superiores a los 1000 msnm y de 800 a 1000 mm en las altitudes mayores (altiplanicie mexicana) cuyas precipitaciones son mayores en verano. Las diferencias entre altitud, temperatura y precipitación pluvial han dado como resultado tres razas, Mexicana, Guatemalteca y Antillana, que gracias a sus distintas condiciones de adaptación al medio han permitido la difusión del cultivo de aguacate (Ibar, 1983).

El aguacate pertenece a la familia Lauraceae, género *Persea* y comprende alrededor de 85 especies distribuidas desde el sur de los Estados Unidos de Norteamérica (*Persea borbonia*) hasta Chile (*Persea lingue*) (Barrientos y López, 1998).

Es un árbol vigoroso, perennifolio de hojas alternas, pedunculadas, muy brillantes, pudiendo alcanzar hasta 30 m de altura, posee un sistema radicular superficial. El órgano fructífero de mayor importancia es el ramo de flores mixtas. Sus flores son perfectas en racimos subterminales; sin embargo, cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. Por esta razón, las variedades se clasifican con base en el comportamiento de la inflorescencia en dos tipos A y B. En ambos tipos, las flores abren primero como femeninas, cierran por un período fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura. Esta característica de las flores de aguacate es muy importante en una plantación, ya que para que la producción sea la esperada es muy conveniente mezclar variedades adaptadas a la misma altitud, con tipo de floración A y B y con la misma época de floración en una proporción 4:1, donde la mayor población será de la variedad deseada. Cada árbol puede llegar a producir hasta un millón de flores y sólo el 0.1 % se transforman en fruto, por la abscisión de numerosas flores y frutos en desarrollo. El fruto es una baya unisemillada, oval, de superficie lisa o rugosa (Reyes *et al.*, 2007).



El cultivar de aguacate mas popular alrededor del mundo es el aguacate cv. Fuerte, el cual es un híbrido entre las razas Mexicana y Guatemalteca originario de Atlixco, Puebla (México) e introducido en 1911 a Estados Unidos (Ibar, 1983). El fruto tiene forma de pera, con un alto contenido de aceite (superior al 26 %) (Salunkhe y Desai, 1984) y con un peso seco de alrededor del 30 % (Cajuste *et al.* 1994).

2.1.2. Descripción del fruto de aguacate

El fruto es considerado una baya, de tamaño mediano, periforme u oblongo de 10 cm de longitud por 6-7 de ancho y un peso comprendido entre 250 a 450 g. la corteza es delgada, y la arista de superficie poco rugosa, de color verde mate, la pulpa es de consistencia firme con poca cantidad de fibra, color crema amarillo, de gran espesor con relación a la semilla, excelente calidad con un contenido de 20 a 25 % de grasa (Rocha y Tijero, 1978; Ibar, 1983).

Cuadro 1. Análisis bromatológico comparativo entre aguacate cv. Fuerte y cv. Hass

Concepto (%)	Fuerte	Hass
Humedad	63.8	67.4
Materia seca	36.2	32.6
Cenizas	2.7	2.03
Proteínas (N x 6.25)	2.10	2.85
Aceites	19.3	15.1
Fibra cruda	8.1	7.2

Fuente: Sánchez *et al.* (1989).

La pulpa del aguacate cv. Fuerte es una excelente fuente de niacina y tiamina, posee, junto con el olivo, el mayor contenido de proteína y grasas en comparación con el resto de los frutales (Kader, 1985), tiene un alto contenido de aminoácidos como asparagina, ácido aspártico y ácido glutámico. Serina, treonina, alanina, valina y cisteína están presentes en menor cantidad. Son ricos en vitamina B6 y contienen menores cantidades de biotina, ácido fólico, tiamina, riboflavina, vitamina D, E y K (Salunkhe y Desai, 1984).

2.1.3. Desarrollo del fruto

Un fruto se desarrolla a partir de los tejidos que dan soporte a los óvulos de la planta y que a su vez es dependiente de los cambios fisiológicos ocurridos en esos óvulos. El crecimiento del fruto está determinado por los eventos que permiten el amarre del fruto y los cambios asociados con el desarrollo del mismo (Goodwin, 1978). Tras la fecundación, el ovario inicia su desarrollo hasta convertirse en un fruto maduro. Este proceso sigue una distribución en curva sigmoide y tiene lugar en tres fases sucesivas: fase I y II caracterizadas por la división y alargamiento celular respectivamente y fase III donde el fruto cesa el crecimiento y madura. Estos procesos están directamente relacionados con el aire contenido en los espacios intercelulares formados durante el alargamiento del fruto (Faust, 1989; Suppo, 1982; Agustí, 2000).

En el aguacate, la velocidad de división celular es alta en las primera etapas de desarrollo, sin embargo, el tamaño final del fruto está fuertemente influenciado por la multiplicación celular a lo largo de todo el periodo de crecimiento (Biale y Young, 1971) ya que el proceso de división celular en el mesocarpio no está restringida al periodo inicial de crecimiento, éste continúa durante el desarrollo e inclusive ocurre mientras el fruto permanece adherido al árbol (Van Den Dool y Wolstenholme, 1983; Cummings y Schroeder, 1942), mientras que el alargamiento celular se detiene cuando el fruto alcanza aproximadamente el 50 % del tamaño a la madurez (Cummings y Schroeder, 1942; Bower y Cutting, 1988; Biale y Young, 1971).

El desarrollo de los frutos está ligado a la acción que ejercen las hormonas sobre la expresión de la información genética, la actividad enzimática y la funcionalidad de las membranas y depende de la síntesis de hormonas por el propio fruto así como del transporte al mismo, la exportación a otras partes de la planta, y su inactivación a través de la conjugación con otros compuestos o de su catabolismo. En la mayoría de los casos, las hormonas se sintetizan en las semillas y ejercen su acción a través del desarrollo de ellas. Las hormonas más importantes en el proceso de desarrollo son las auxinas, ácido indolacético, ácido abscísico, giberelinas y etileno (Talón, 2000).

2.1.4. Índice de madurez en frutos de aguacate

El contenido de aceite ha sido utilizado como estándar de madurez en aguacate, en el caso de frutos de aguacate cv. Fuerte se estableció desde 1939 un contenido de 12 a 14 % de aceite como el mínimo estándar para considerar la madurez fisiológica (Knight, 2001), sin embargo, la eficiencia de este índice ha sido poco satisfactoria ya que existen variedades de aguacate que contienen más del mínimo contenido de aceite y no cumplen con las cualidades organolépticas requeridas por el consumidor. La concentración de aceite en los frutos de aguacate aumenta durante su desarrollo y es determinante para su palatabilidad. El patrón de crecimiento del fruto también ha sido empleado no sólo para determinar la fecha en la que el fruto alcanza la madurez aceptable, si no incluso para predecir dicha fecha. Sin embargo, diversos estudios señalan que determinar el contenido de materia seca resulta más sencillo y económico en comparación con las determinaciones de aceite y tomando en cuenta que el contenido de aceite y la humedad son recíprocos, determinar el contenido de materia seca permite conocer el momento adecuado para cosechar. Por lo anterior se ha establecido al contenido de materia seca (%) como un indicador de cosecha más práctico y eficiente (Reid, 1985; Hoffman *et al.*, 2001). En el caso particular de aguacate cv. Fuerte el porcentaje mínimo de materia seca a madurez fisiológica oscila entre 21.5 y el 24.7 % dependiendo de las zonas de cultivo (Hoffman *et al.*, 2001; Kader y Arpaia, 2007)

2.1.5. Maduración del fruto

La maduración en frutos puede ser definida como la secuencia de cambios en color, sabor, aroma y textura que le confieren las características aceptables para su consumo (Rhodes, 1971; Mato *et al.*, 1979 y Tucker y Grierson, 1987).

El periodo comprendido entre la cosecha hasta la maduración de consumo del fruto está en función de la actividad metabólica del mismo, la cual cambia dependiendo de varios factores, entre los cuales la temperatura de almacenamiento es uno de los mas importantes (Zaubermann *et al.*, 1977).

Sacher (1967) define el proceso de maduración como una manifestación de la senescencia en la cual se da una ruptura en la organización celular. Esta desorganización conduce a la recombinación de enzimas y sus sustratos, lo cual podría provocar la acción de varias hidrolasas, responsables de la destrucción de clorofila, almidón, la degradación de pectinas y la activación de taninos, así como la síntesis de compuestos como el etileno, pigmentos, acumulación de carotenoides tales como betacaroteno y licopeno, síntesis de antocianinas y procesos como la fosforilación (McGlasson, 1971; Rhodes, 1971; Tucker Grierson, 1987).

La maduración envuelve procesos anabólicos y catabólicos que requieren grandes cantidades de energía (Bruinsma, 1981 y Bower y Cutting, 1988). Se asocia principalmente a cambios en la permeabilidad de la membrana y a un descenso en la integridad estructural de la célula, resultando en la activación de enzimas hidrolíticas asociadas con el ablandamiento del fruto, considerándolo

uno de los cambios mas obvios que ocurren durante la maduración del aguacate (Sacher, 1976; Nothnagel, 1987; Bower y Cutting, 1988; Jeong y Hubber, 2004), el cual se obtiene por medio de alteraciones en el metabolismo de la pared celular y se debe frecuentemente a la descomposición de la protopectina insoluble en pectina soluble o celulosa y en algunos casos por la hidrólisis enzimática del almidón, la cual tiene lugar en los plastidios de los frutos (Dilley, 1970; Tucker y Grierson, 1987).

Las principales enzimas hidrolíticas que actúan sobre la pared celular son la poligalacturonasa (Awad y Young, 1979; Speirs y Brady, 1991), celulasa (Awad y Young, 1979; Pesis *et al.* 1978; Bennett y Christoffersen, 1986; Scott *et al.*, 1963), amilasa (Pesis *et al.* 1978) y la pectinesterasa (Awad y Young, 1980). En aguacate, los niveles en la actividad de poligalacturonasa en tejidos inmaduros es baja e inclusive nula e incrementa dramáticamente durante la maduración a diferencia de la celulasa, cuya actividad en este periodo es alta, debido a la síntesis *de novo* de esta proteína relacionado con un incremento en la cantidad de mRNA de celulosa (Kanellis y Kalatitzis, 1992). Ambas hidrolasas se encuentran fuertemente ligadas al ablandamiento del fruto (Tucker y Grierson, 1987). Las etapas iniciales del ablandamiento del fruto, particularmente en el aguacate, se deben a la acción de la celulasa, controlada al menos en parte por el etileno con la poligalacturonasa como responsable del ablandamiento final (Bower y Cutting, 1988). Hatfield y Nevins (1986) consideran que las fibrillas de celulosa pueden ser hidrolizadas lo que permite el acceso de la poligalacturonasa en la pared. Este proceso podría explicar porqué el

incremento en la actividad de la celulasa precede a la actividad de la poligalacturonasa (Awad y Young, 1979; Bower y Cutting, 1988).

Pesis *et al.* (1978) encontraron un rápido incremento de celulasa durante el proceso de maduración relacionado directamente con el pico climatérico de respiración y producción de etileno, este último juega un papel importante en el control de la actividad de la celulasa. (Bower y Cutting, 1988).

En el caso de la pectinesterasa, se encuentra en tejidos inmaduros de aguacate, sin embargo, los niveles decrecen con la maduración y puede estar involucrada en el control del metabolismo de las paredes celulares mediante el establecimiento de cargas en la superficie y por lo tanto en la fuerzas de Donan en la célula. Otra enzima importante en el proceso de ablandamiento del fruto es la α -amilasa, encargada de la hidrólisis de la amilosa, esta es inicialmente sujeta a rápida degradación en cadenas de maltodextrina, las cuales son hidrolizadas mas lentamente por la α -amilasa convirtiéndolas en glucosa, maltosa, maltotriosa y maltodretrina. La matotriosa es hidrolizada por la α -amilasa la cual también hidroliza amilopectinas y almidón (Preiss y Levi, 1980).

La maduración involucra las cuestiones de control metabólico, comunicación entre organelos, mecanismos de acción de hormonas en las plantas y la regulación en la expresión de genes. Se ha especulado que el aumento en la actividad de enzimas específicas asociadas con la maduración es debido a la síntesis de enzimas *de novo*, en al caso del aguacate la enzima sintetizada es la celulasa. Estos cambios en la síntesis de proteína durante la maduración puede ser explicada por la regulación en la traducción de mRNAs específicos o por la aparición de nuevos (Tucker y Grierson, 1987).

Durante el proceso de maduración también se incrementa la producción de etileno, y el aumento en la concentración interna de etileno es la probable causa de otros cambios. Se puede decir que la producción de etileno y la hidrólisis de almidón preceden al climaterio (McGlasson *et al.*, 1978).

Una secuencia de eventos en el ablandamiento del aguacate posiblemente incluye el estrés hídrico y el ácido absísico, el cual estimula la formación de etileno, que cambia vía transmisión genética, resultando en un número de enzimas que empiezan a ser producidas, incluyendo la celulasa, la cual permite la degradación de la pared celular (Bower y Cutting, 1988).

En el aguacate, en particular, uno de los sucesos mas relevantes durante el proceso de maduración es la desaparición de la lamela media, removiéndose pectina de la matriz de las paredes celulares, después se presenta una pérdida en la organización y densidad de la pared celular (Bower y Cutting, 1988) y finalmente las paredes desaparecen casi por completo durante la fase postclimaterica (Platt-Aloia y Thompson, 1981).

Otra de las enzimas presentes en los frutos de aguacate durante el proceso de maduración es la polifenoloxidasas, la cual cataliza la oxidación de o-difenoles en correspondencia con la pérdida de hidrogeno. Las quinonas son oxidadas irreversiblemente a pigmentos de melanina que dan una coloración oscura (Bower y Cutting 1988).

Un rápido incremento en la actividad de polifenoloxidasas durante la época de cosecha en aguacate cv. Fuerte puede llevar a un oscurecimiento y daño celular durante el almacenamiento causando decoloración del mesocarpio y desordenes fisiológicos (Bower y Cutting, 1988).

2.1.6. Climaterio

El climaterio es una fase dominada por la actividad catabólica en la cual la permeabilidad de la membrana incrementa, permitiendo el acceso a enzimas existentes y modificando el metabolismo celular. Es considerado una fase de reorganización metabólica basada en el cambio en el patrón de síntesis de proteínas en el cual nuevas enzimas son sintetizadas para catalizar el proceso de maduración. La presencia de RNA y síntesis de proteínas está asociada con el climaterio, lo cual a la vez está relacionado con la capacidad de producción de etileno, la degradación de clorofilas y el reblandecimiento de los tejidos. El climaterio puede ser definido como un periodo en la ontogenia de algunos frutos, durante el cual se inician una serie de cambios bioquímicos por la producción autocatalítica del etileno, que marca el cambio del crecimiento a la senescencia e involucra un incremento en la respiración y que lo dirige hacia la maduración. El incremento en la respiración se presenta de forma rápida y la madurez de consumo se alcanza poco después del pico climatérico (Rhodes, 1971). Los factores que intervienen en el climaterio se puede clasificar en tres grupos (Phan *et al.*, 1979):

Factores físicos: se relacionan principalmente con la permeabilidad de la epidermis de los frutos a los gases. El fruto joven tiene una epidermis que esta cubierta con una delgada cutícula, formada principalmente por ceras sólidas. A medida que el fruto madura la cutícula se vuelve mas gruesa y se impregna más con ceras líquidas y aceites. Por lo tanto, la permeabilidad total disminuye con la edad. El número de lenticelas permanece constante.

Factores bioquímicos: Biale (1960) citado por Phan *et al.* (1979) mencionó que el CO₂ es producido por un desacoplamiento de oxidación y fosforilación, que se inicia con el etileno y lo continúa un agente natural aún no identificado. Para Hulme (1971), el CO₂ extra no es de origen respiratorio si no que procede de la descarboxilación de ácido málico. La síntesis de las proteínas desempeña un papel central. Como ésta requiere de ATP, la respiración, con la fosforilación concomitante ($ADP + P_i = ATP$) es aumentada. El aguacate tiene la capacidad de oxidar ácidos orgánicos y generar ATP a través de la fosforilación oxidativa (Biale y Young, 1971).

Factores estructurales: los cambios se basan en la resistencia por organización. A medida que más cloroplastos envejecen y se desorganizan, la actividad fotosintética disminuye al grado de desaparecer. Cuando la estructura de los cloroplastos y probablemente la de otros componentes celulares es desorganizada por completo la actividad sintetizadora cesa. Esto sólo deja un proceso de degradación para el cual se encuentran en el citoplasma la mayoría de las enzimas requeridas. Con esta teoría se puede explicar la acción del etileno, el cual modifica la permeabilidad de las membranas celulares y aumenta la actividad de las enzimas fijadas a la membrana de la célula o de los organelos subcelulares. El periodo climatérico es visto como indicación del término natural de un periodo de síntesis y de mantenimiento y del comienzo de la senescencia del fruto.

Durante es periodo de maduración del fruto, además de ocurrir un pico de respiración, asociado con las temperaturas de almacenamiento y como efecto secundario dependiente de la concentración disponible de etileno, se presentan eventos secundarios como el incremento en RNA y síntesis de proteínas y cambios en la permeabilidad de la célula (Rhodes, 1971; Theologyst y Laties, 1978; Moreau y Romani, 1982).

En aguacate, como fruto climatérico, la tasa de respiración se divide en tres fases; el mínimo preclimatérico, un periodo de poca respiración, el máximo climatérico, cuando la respiración está al máximo y el fruto madura y la etapa de postclimaterio, indicando un descenso en la respiración (Zaubermann y Schiffman, 1972; Salunkhe y Desai, 1984).

El proceso de respiración, producción de etileno y síntesis enzimática requiere energía. En muchos frutos es evidente un incremento en la utilización de carbohidratos para este proceso. En frutos de aguacate se ha demostrado que existe una degradación de entre 50 y 80 % del contenido inicial de azúcares (arabinosa, galactosa y xilosa, fructuosa, manoheptulosa y cetoazúcares que en conjunto constituyen del 73 al 83 % del total de los azúcares) y pectinas insolubles durante el climaterio respiratorio proveniente de un incremento observado en el flujo glicolítico en el ciclo de Krebs, asociado con un aumento en la actividad de dos enzimas glicolíticas clave: fosfofructoquinasa y piruvatoquinasa (Biale y Young, 1971; Tucker y Grierson, 1987; Cajuste *et al.*, 1994), sin embargo, no todos los azúcares contenidos en el fruto disminuyen.

Se ha encontrado que la concentración de arabinosa incrementa durante el periodo de maduración, fenómeno que ocurre a la par del periodo climatérico de producción de etileno (Jeong y Hubber, 2004).

En aguacate, a pesar de ser un fruto con alto contenido en grasa, la evidencia no sustenta la idea de la utilización de lípidos como sustitutos para la respiración durante el climaterio (Tucker y Grierson, 1987; Cajuste *et al.*, 1994).

En general, las rutas metabólicas relacionadas con el periodo de maduración son la glicolisis, la ruta oxidativa de la pentosa fosfato, el ciclo de Krebs y la oxidación del malato (Jeong y Hubber, 2004).

Las mitocondrias están directamente relacionadas con la actividad respiratoria, dividida en cuatro fases: fase primaria del pre - climaterio, fase tardía del pre - climaterio, aumento climatérico, pico climatérico y post- climaterio en donde se presenta la oxidación de varios sustratos durante el ciclo de Krebs (Biale y Young, 1971). En las mitocondrias suceden las reacciones oxidativas y fosforilativas, y aumentan su actividad durante las diferentes etapas de la tasa de respiración, que puede ser interpretado como un aumento en el número de mitocondrias o un incremento en la actividad mitocondrial de un sistema pre-existente. Un cofactor asociado con el incremento de respiración es el TTP (tiamina pirofosfato), el cual estimula la oxidación del malato a nivel de mitocondria durante el periodo de preclimaterio, disminuyendo una vez que el fruto entra a la fase climatérica. Las mitocondria contienen también enzimas málicas capaces de la descarboxilación del malato a piruvato pero ligado a la reducción de NAD en lugar de NADP (Tucker y Grierson, 1987; Jeong y Hubber, 2004). Con relación a lo anterior, Moreau y Romani (1982) purificaron

mitocondrias provenientes de frutos de aguacate y demostraron un incremento de la enzima málica asociada con el climaterio respiratorio. El efecto de estimulación del TTP en la mitocondria de frutos preclimatéricos está relacionado con la acumulación del inhibidor, el oxalacetato (OAA) en la mitocondria, y el papel de TTP es estimular la oxidación del piruvato, lo cual provee una ruta de disipación del OAA, lo que sugiere que el TTP juega un papel regulatorio en el periodo climatérico (Rhodes, 1971).

Una de las hormonas vegetales relacionadas con el climaterio y maduración de frutos es el etileno. El etileno da inicio a la maduración en frutos y regula muchos aspectos del crecimiento, desarrollo y senescencia de las plantas. Su producción se efectúa justo antes del inicio del periodo climatérico y la concentración interna antes del ascenso climatérico es fisiológicamente activa (Pantástico *et al.*, 1979; Yang y Adams, 1980; Speirs y Brady, 1991).

El etileno es producido de continuo, se disuelve en el citoplasma y es absorbido en organelos. Se ha establecido que en la mayoría de los frutos el establecimiento de concentraciones fisiológicamente activas de etileno en los espacios intercelulares dentro de la fruta, precede la alza en la tasa de respiración e induce a su vez el proceso autocatalítico de la síntesis de etileno, por lo tanto, el etileno puede ser considerado como la hormona responsable de la maduración y que es la concentración de etileno y el pico climatérico de respiración los que marcan la transición de la fase de crecimiento a la fase de maduración del fruto (Rhodes, 1971; Pantástico *et al.*, 1979).

Entre las principales acciones del etileno durante el proceso de maduración se encuentra su influencia sobre la permeabilidad de la membrana (McGlasson, 1971), debido posiblemente a su influencia sobre la presencia de enzimas como la α -amilasa, cuya secreción es detenida cuando existen bajas concentraciones de C_2H_4 (Jones, 1968). Tucker y Laties (1984) mostraron la posibilidad de que el etileno sea el causante de la transcripción genética de la celulasa, otra enzima degradadora de las paredes celulares y por tanto responsable del ablandamiento del fruto durante la maduración (Bower y Cutting, 1988).

2.1.7. Efecto del ácido giberélico

La introducción y disponibilidad de ácido giberélico en las investigaciones en el occidente del mundo a mediados de los 50's revitalizó el interés en los reguladores de crecimiento de las plantas, iniciando por la regulación del reposo, fructificación, floración y casi todas las respuestas de crecimiento, sin embargo, el campo de aplicación de las giberelinas ha permanecido reservado a sofisticadas esferas de producción de cultivos hortícolas (Wittwer, 1978).

Los reguladores de crecimiento de las plantas son la herramienta mas poderosa para manipular el crecimiento de los árboles y la cosecha en huertos existentes (Lovatt, 2005). El ácido giberélico más empleado en estudios a cultivos de interés comercial son las giberelinas (AG_3) ya que parece ser la única que se degrada con lentitud, pero durante el crecimiento activo la mayoría de las giberelinas se metabolizan con rapidez, por hidroxilación, transformándose en

productos inertes. Asimismo, se convierten con facilidad en conjugados que en gran medida son inactivos, los cuales pueden almacenarse o translocarse antes de quedar liberados en el momento y lugar oportuno (Salisbury y Ross, 2000).

Salisbury y Ross (2000) mostraron que las ácido giberélico fomentan la división celular porque estimula a las células que se encuentran en la fase G_1 a entrar en la fase S acortando a su vez esta última fase. También promueven el crecimiento celular debido a que incrementan la hidrólisis del almidón, fructanos y sacarosa originando moléculas de fructosa y glucosa, aumentando la plasticidad de la pared celular (Salisbury y Ross 2000). Tratamientos con ácido giberélico han demostrado estimular el crecimiento en el fruto en algunas especies como el chabacano (Goodwin, 1978), sin embargo, en aguacate no se ha demostrado (Bower y Cutting, 1988).

Uno de los principales efectos del ácido giberélico es la disminución en la tasa de degradación de clorofila o la reincorporación de cloroplastos funcionales (McGlasson, 1971; McGlasson *et al.*, 1978; Bower y Cutting, 1988; Lovatt, 2005), efecto que ha sido demostrado ampliamente en cítricos (Coggins y Hield, 1962). Al respecto Agustí y Almela (1988) encontraron que una sola aplicación de ácido giberélico de $10 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ a frutos de mandarinas cv. Clementina, Fina y Nules antes de que se inicie el cambio en coloración reduce significativamente los cambios en la cáscara asociadas a la maduración.

Se ha encontrado que las giberelinas también tienen un efecto reductor en la acidez de cítricos (El-Zeftawi y Garret, 1978) y retardan la pérdida de jugo en frutos almacenados en el árbol (García *et al.*, 1985).

El ácido giberélico tienen la capacidad de alterar la expresión de ciertos genes relacionados con enzimas hidrolíticas, como la celulasa (McGlasson *et al.*, 1978) y la α -amilasa, responsables del ablandamiento del fruto. Letham *et al.* (1978) reporta que en rebanadas de plátano tratadas con ácido giberélico se incrementó el ablandamiento del tejido.

El campo de la aplicación de las giberelinas se extiende desde la producción de uvas sin semilla y manzanas, para aumentar la calidad de los frutos hasta su efecto en el cuajado de frutos que contienen un número reducido de óvulos como el melocotón, mandarinas y cereza. Ha sido empleada también para reducir la latencia en la semilla de papa, estimular la floración en crisantemos o reducirla en cerezas agrias y dulces, e inclusive como un método de raleo de flores y frutos jóvenes en vid, cereza y durazno. Uno de sus principales usos es la estimulación de la formación de frutos partenocárpicos como jitomate, pera, manzana y ciruela. Trabajos realizados en cereza y manzano han demostrado que las aplicaciones de ácido giberélico incrementan el tamaño de fruto (Grochowska y Mejía, 2003).

El aguacate es un cultivo relativamente nuevo en cuanto a la aplicación de reguladores de crecimiento en comparación con manzanas, cítricos y uvas, como resultado, la investigación se encuentra poco avanzada (Lovatt, 2005).

En investigaciones recientes se determinó que la aplicación de ácido giberélico ($25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$) aplicado durante el desarrollo floral (marzo) incrementó el rendimiento en peso y número de frutos por árbol, además de incrementar la cosecha de frutos de mayor tamaño y valor comercial como promedio de dos años consecutivos de estudio (Lovatt, 2005). Una aplicación de ácido giberélico

(25 mg·L⁻¹) a finales de junio y principios de julio incrementó la cosecha en kilogramos y número de frutos por árbol, además de obtener frutos de mayor tamaño y valor comercial (Lovatt, 2005).

Debido a la naturaleza del aguacate se necesita mayor investigación que determine cuáles reguladores de crecimiento son básicos, como aplicarlos, en qué concentraciones y cuando (Lovatt, 2005).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

La fase de campo se llevó a cabo en el huerto experimental de la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S.C., ubicado en el municipio de Coatepec Harinas, Estado de México, el cual geográficamente se encuentra entre el paralelo 18° 48' 08" y el 19° 04'43" latitud norte y del meridiano 99° 42'56" al 99° 53'34" Longitud oeste con referencia al meridiano de Greenwich, con una altitud promedio de 2,260.

3.3. MATERIAL VEGETAL

Se utilizaron árboles en producción de aguacate cv. Fuerte de aproximadamente 15 años de edad.

3.2. CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO

Dentro del huerto experimental se eligieron 18 árboles, libres de plagas y enfermedades y de condiciones físicas y de manejo similares, a los cuales se aplicaron aspersiones de ácido giberélico (ACTIVOL®) a una concentración de 50 mg·L⁻¹, las aplicaciones se iniciaron en el mes de mayo de 2006, cuando el

fruto se encontraba en tamaño "canica", es decir, de aproximadamente 15 mm de diámetro y se hicieron cada 15 días. Se definieron cinco tratamientos; dos, cuatro, seis, ocho y diez aplicaciones que corresponden a 100, 200, 300, 400 y 500 mg·L⁻¹ de ácido giberélico respectivamente, y un testigo. Cada tratamiento constaba de tres repeticiones. La unidad experimental constó de un árbol. La asignación de los tratamientos fue de forma aleatoria a los árboles seleccionados con un arreglo experimental completamente al azar.

Para la evaluación de los tratamientos establecidos se cosecharon, en febrero de 2007, 240 frutos (40 por tratamiento) en un estado de madurez fisiológica, es decir, con un promedio de 30.7 % de materia seca, superior al mínimo, 23 %, reportado por Hoffman *et al.* (2001) para aguacate cv. Fuerte los frutos se trasladaron al Laboratorio de Fisiología de Frutales del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, donde se lavaron y desinfectaron (Benlate 10 mg·L⁻¹) y se seleccionaron eliminando aquellos que presentaran daños mecánicos o con presencia de enfermedades. Los frutos se mantuvieron almacenados a temperatura ambiente (20 ± 2 °C). Las variables respuesta se evaluaron cada tercer día por un periodo de doce días variando el número de repeticiones por determinación.

3.5. VARIABLES RESPUESTA

3.5.1. Peso fresco

Esta variable fue medida únicamente el primer día de evaluación, se seleccionaron nueve frutos por tratamiento, y se pesaron en una balanza digital ACB Plus – 1000 marca ADAM con 0.01 g de aproximación. Los resultados fueron expresados en gramos.

3.5.2. Contenido de aceite y materia seca

Se determinó el porcentaje de materia seca y contenido de aceite mediante análisis proximal realizado a tres frutos por tratamiento, con la metodología establecida para frutas y productos de las frutas en Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist (William, 1975) y adaptado por Sosa de Pró (1979).

3.5.3. Longitud y diámetro de fruto

La medición se realizó en 18 frutos por tratamiento, se determinó con ayuda de un vernier midiendo los frutos de forma ecuatorial y longitudinal. Los resultados se expresan en mm.

3.5.4. Días a maduración

Se utilizó una escala subjetiva, que consistió en la evaluación de los cambios de firmeza al tacto, se establecieron tres categorías; frutos de textura dura, cambiante y suave, a las que se les asignaron valores numéricos (1, 2 y 3, respectivamente), en la última categoría se agruparon los frutos que alcanzaron la madurez de consumo. Para la evaluación se tomaron nueve frutos por tratamiento que se almacenaron a temperatura ambiente (20 ± 2 °C), los valores finales se presentan como el promedio ponderado de días requeridos para alcanzar la madurez de consumo.

3.5.5. Firmeza

Se determinó con un penetrómetro digital equipado con un puntal de tipo cónico de 8 mm de diámetro marca Compact Gauge 200 N marca Mecmesin, el cual cuantifica la fuerza necesaria requerida para penetrar la pulpa. Los resultados fueron expresados en Newtons. Las mediciones fueron hechas en tres frutos por tratamiento cada tercer día por un periodo de doce días; se realizaron sobre la pulpa eliminando la cáscara de la parte central del fruto, sobre el eje ecuatorial.

3.5.6. Pérdida fisiológica de peso

Para estimar la pérdida fisiológica de peso se registró el peso de nueve frutos por tratamiento durante los doce días de almacenamiento a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) con la ayuda de una balanza digital ACB Plus – 1000 marca ADAM con 0.01 g de aproximación. La pérdida expresada en porcentaje se determinó en función a la diferencia registrada entre el peso inicial y el peso final de los frutos empleando la siguiente formula:

$$PFP = \left\{ \frac{\text{peso inicial} - \text{peso final}}{\text{peso final}} \right\} \times 100$$

3.5.7. Tasa de respiración y producción de etileno

Se cuantificó por el método de respiración estática. Se seleccionaron seis frutos de cada tratamiento, se pesaron y se colocaron por pares en recipientes de volumen conocido cerrados herméticamente durante una hora, haciendo un total de tres repeticiones; transcurrido el tiempo, se tomo una muestra de 5 ml de aire y se conservó en un Vacutainer a -20 °C hasta el momento de su lectura. Los frutos fueron almacenados a temperatura ambiente y sometidos al procedimiento cada tercer día.

Para el análisis se sustrajo un ml de cada muestra y se inyectó en un cromatógrafo de gases marca Varian modelo 3400 con una columna Poropak 80/100 de 2m x 1/8", la temperatura registrada en el horno fue de 80 °C, en el detector de 180 °C, como estándar se empleó etileno (C₂H₄) (103 mg·L⁻¹) y CO₂ (399 mg·L⁻¹). El gas de arrastre fue helio con un flujo de 32.3 ml·min⁻¹. Los resultados se reportan en ml·k⁻¹·h⁻¹ para CO₂ y μl·k⁻¹·h⁻¹ para etileno.

3.5.8. Grosor de cutícula (μm)

Para esta determinación se tomaron cinco cortes de cáscara y pulpa de aproximadamente 0.5 cm³ de tres frutos por tratamiento, estos cortes se conservaron en etanol, ácido acético glacial, formaldehído y agua destilada (FAA), 50, 5, 10 y 35 % respectivamente, en frascos herméticamente cerrados, se tomaron muestras de cada frasco que fueron tratadas durante 48 horas en un procesador Jung Histokinette 2000 marca Leica donde fueron deshidratadas con etanol al 50, 70, 96 y 100 %, después pasaron por un periodo de transparentación con etanol y xileno al 100 % y por último fueron incluidas en parafina a 56 °C. Las muestras de tejido incluidas en parafina fueron colocadas en pequeñas charolas de aluminio y trasladadas a un horno de secado a 46 °C. una vez secas fueron pasadas por agua a temperatura ambiente y retiradas del molde. Las placas de parafina que se obtuvieron se cortaron en pequeños cubos que contenían el tejido y fijadas en soportes de madera para permitir la manipulación de la muestra. Las preparaciones se colocaron en un micrótopo

rotatorio Jung Histocut 820 marca Leica y se obtuvieron cortes de 10 μm de grosor, que fueron tratados con formaldehído al 10 % para extender el tejido en un portaobjetos y fijados con adhesivo Haup. Los cortes fueron sumergidos en soluciones de xileno, etanol al 100, 96, 70 y 50 %, se tiñeron con safranina y se enjuagaron en agua, después se colocaron en etanol al 50, 70, 96 y 100 % y se tiñeron con "Fast green", por último fueron tratadas una vez mas con etileno y xileno al 100 % y se adhirieron al portaobjetos con bálsamo de Canadá y un cubreobjetos. Los cortes fueron colocados en una estufa de secado por 48 horas. Las preparaciones se observaron en un microscopio óptico marca Motic B3 Professional series con un ocular de 40x, equipado con una cámara digital marca Motic 480. Con el programa Motic Image 2000 versión 1.3 se capturaron imágenes de las preparaciones y con el programa Image Tool versión 2000 se midió el grosor de la cáscara y cutícula expresado en μm .

3.5.9. Color

Se seleccionaron nueve frutos por tratamiento, los cuales se mantuvieron a temperatura ambiente en charolas de poliestireno, a cada fruto se le dibujó un círculo en la zona ecuatorial y se realizaron mediciones en el mismo sitio cada tercer día a lo largo del periodo de almacenamiento (doce días). La evaluación se hizo con ayuda de un colorímetro ColorTec-PCM modelo D25-PC2 marca Cole Palmer que generó lecturas de color conforme a las escalas Hunter Lab que cuenta con un sistema triestímulo dando como resultado tres dimensiones

“L”, “a” y “b”. La brillantez esta representada en porcentaje por la letra “L” y el rango de valores se encuentra entre el 0 (color oscuro) y 100 (máxima brillantez). Los valores obtenidos en “a” representan los colores rojos cuando el valor es positivo y verdes cuando éste es negativo y la “b” representa los colores azul (b+) y amarillo (b-). Con los valores obtenidos de “a” y “b” se calculó el croma, es decir, la pureza del color, y el ángulo del tono (Hue), definido como el ángulo entre la hipotenusa y 0° con el eje, el cual nos permite medir los cambios de color. Las formulas empleadas se muestran a continuación:

$$\text{HUE} = \tan^{-1} (a/b) \quad \text{CROMA} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

3.6. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El diseño experimental empleado fue un completamente al azar. Para las determinaciones donde se utilizaron únicamente tres frutos los resultados se analizaron con una prueba de rangos de Kruskal y Wallis para muestras independientes y comparaciones de medias de rangos (Conover, 1980). En las determinaciones con nueve o mas repeticiones se empleó un análisis de varianza y comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) con ayuda del paquete estadístico SAS.

4. RESULTADOS

4.1. Peso fresco

Las aplicaciones de ácido giberélico no modificaron el peso fresco de los frutos tratados. El peso registrado por los frutos testigo (257.56 g) es estadísticamente igual a los frutos de los tratamientos aplicados con ácido giberélico (Cuadro 2).

Cuadro 2. Peso fresco en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados en aplicaciones pre cosecha con ácido giberélico

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Peso fresco (g) promedio por tratamiento
0	257.56 a ^{yz}
100	254.08 a
200	247.88 a
300	237.73 a
400	257.25 a
500	258.56 a
DMSH ^w	14.75 ^w

^yLiterales corresponden a comparación de medias de rangos con una prueba de Kruskal y Wallis

^zValores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

^wDMS (Diferencia Mínima Significativa Honesta) para comparación de medias de rangos con una prueba de Kruskal y Wallis.

4.2. Contenido de aceite y materia seca

Los frutos testigo y los frutos sometidos a aplicaciones precosecha de 200, 300 y 500 mg·L⁻¹ de ácido giberélico presentaron un mayor contenido de materia seca en comparación con el 23.24 % registrado por los frutos tratados con una concentración de 100 mg·L⁻¹ los cuales obtuvieron el menor valor en cuanto a contenido de materia seca (Cuadro 3).

Cuadro 3. Contenido de materia seca y aceite en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con ácido giberélico durante precosecha

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Materia seca (%)	Aceite (%)
0	29.16 ab ^z	20.06 b
100	23.24 c	16.40 c
200	34.17 ab	20.85 ab
300	33.41 ab	23.62 a
400	28.69 bc	19.73 b
500	34.73 a	23.10 a
DMSH ^w	5.71	2.79

^zValores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas de acuerdo a la comparación de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$

^wDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta

Los frutos del tratamiento con 500 mg·L⁻¹ de ácido giberélico presentaron un mayor contenido de aceite (23.1 %) en comparación con los frutos control (20.06 %). Los frutos del tratamiento con 100 mg·L⁻¹ de ácido giberélico registraron un contenido del 16.4 %, inferior al 19.0 %, reportado por Kader (2007) como concentración mínima a la madurez fisiológica para aguacate cv.

Fuerte. Las características bromatológicas de los frutos de los diferentes tratamientos de ácido giberélico y los frutos control se encuentran enlistadas en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Análisis bromatológico en aguacates cv. Fuerte sometidos a aplicaciones precosecha de ácido giberélico

Concentración de ácido giberélico (mg L ⁻¹)	Determinación (%)							
	Hum.	Materia seca	Cenizas	Materia orgánica	Proteína cruda	Aceite	Fibra cruda	Extracto Libre de N
0	70.7	29.16	0.92	28.38	1.38	20.06	1.87	5.07
100	75.57	23.24	0.68	23.75	1.18	16.4	1.58	4.59
200	66.98	34.17	1.13	31.89	1.5	20.85	2.65	6.89
300	65.19	33.41	1.08	33.72	1.57	23.62	2.11	6.43
400	70.4	28.69	0.83	28.77	1.33	19.73	2.12	5.59
500	66.5	34.73	1.35	32.6	1.4	23.1	2.24	5.42

4.3. Longitud y diámetro

La aplicación de ácido giberélico a diferentes concentraciones no generó un aumento significativo en la longitud de los aguacates. Con relación al diámetro de los frutos, se observó que a una concentración de 300 mg L⁻¹ de ácido giberélico los valores fueron menores en comparación con los valores registrados en los frutos del resto de los tratamientos y los frutos testigo (Cuadro 5).

Cuadro 5. Longitud y diámetro en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con ácido giberélico en precosecha

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Longitud promedio (mm)	Diámetro promedio (mm)
0	104.88 a ^{yz}	66.32 a
100	103.56 a	68.63 a
200	107.55 a	66.87 b
300	105.17 a	65.49 b
400	105.06 a	66.94 a
500	102.54 a	67.52 a
DMSH ^w	20.82	19.52

^yLiterales corresponden a comparación de medias de rangos con una prueba de Kruskal y Wallis

^zValores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas. ^wDMSH (Diferencia Mínima Significativa Honesta) para comparación de medias de rangos con una prueba de Kruskal y Wallis.

La relación que guardan la longitud y el diámetro de los frutos permite determinar que tan esférica es la forma que presentan. Los resultados obtenidos indican que la aplicación de ácido giberélico no tiene una influencia significativa sobre la longitud y el diámetro del fruto (Cuadro 6).

Cuadro 6. Índice de redondez en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con ácido giberélico en precosecha

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Índice de redondez promedio por tratamiento
0	0.63 a ^{yz}
100	0.66 a
200	0.59 a
300	0.62 a
400	0.64 a
500	0.66 a
DMSH ^w	15.05

^yLiterales corresponden a comparación de medias de rangos con una prueba de Kruskal y Wallis

^zValores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.

^wDMSH (Diferencia Mínima Significativa Honesta) para comparación de medias de rangos con una prueba de Kruskal y Wallis.

4.4. Días a madurez de consumo

Se encontró que los frutos tratados con 200, 300, 400 y 500 mg·L⁻¹ de ácido giberélico, presentaron una maduración de consumo uniforme a los seis días después de cosechados en comparación de los frutos tratados con 100 mg·L⁻¹ de ácido giberélico y los frutos testigo, los cuales alcanzaron la madurez de consumo entre los siete y ocho días después de la cosecha (Cuadro 7).

Cuadro 7. Días a madurez de consumo en frutos de aguacate cv. Fuerte con aplicaciones precosecha de ácido giberélico

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Días de almacenamiento poscosecha a temperatura ambiente (20 ± 2 °C)				
	Cosecha	Día 2	Día 4	Día 6	Día 8
0	1 a ^z	1 a	1.22 a	2.11 a	2.8 a
100	1 a	1 a	1.00 a	2.11 a	3.0 a
200	1 a	1 a	1.33 a	2.89 b	3.0 a
300	1 a	1 a	1.33 a	2.78 b	3.0 a
400	1 a	1 a	1.11 a	2.67 b	3.0 a
500	1 a	1 a	1.00 a	2.67 b	3.0 a

Los valores contenidos en la Cuadro presentan el promedio de días necesarios para obtener la madurez de consumo dentro de una escala subjetiva donde: 1: frutos duros; 2: frutos cambiantes; 3: frutos suaves.

^z Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas de acuerdo a la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$)

4.5. Firmeza

Al inicio del periodo poscosecha los frutos sometidos a tratamientos con ácido giberélico no mostraron diferencias significativas en cuanto a la firmeza registrada en comparación con los frutos testigo. En los frutos tratados el decremento se da gradualmente hasta que alcanzan la madurez de consumo a los seis días de almacenamiento registrando el valor mas bajo de 12.07 N para el tratamiento con 200 mg·L⁻¹, en contraste con los frutos testigo que mantienen una firmeza de 193 N hasta el sexto día donde presenta diferencias con los frutos tratados con 100, 300 y 400 mg·L⁻¹ y disminuye drásticamente 48 horas después. En el día ocho de almacenamiento se presentan diferencias significativas en comparación con los frutos sometidos a 100 y 200 mg·L⁻¹ (Cuadro 8).

Cuadro 8. Firmeza (N) promedio registrada durante los días de almacenamiento poscosecha a temperatura ambiente (20 ± 2 °C) en frutos de aguacate cv. Fuerte bajo tratamientos precosecha de ácido giberélico.

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Firmeza (N) promedio registrada durante los días de almacenamiento poscosecha a temperatura ambiente (20 ± 2 °C)				
	Cosecha	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
0	131.73 a ^{yz}	121.13 a	193.87 bc	3.47 a	2.20 a
100	153.66 a	106.43 a	19.60 a	2.00 b	2.50a
200	120.06 a	54.77 a	12.07 a	2.50 a	2.23 a
300	135.00 a	69.40 a	61.97 ab	2.27 b	2.23 a
400	141.80 a	80.23 a	31.93 ab	2.27 b	1.77 a
500	132.30 a	106.6 a	21.43 ab	3.30 a	2.10 a
DMSH ^w	7.10	8.84	6.78	7.95	9.85

^yLiterales corresponden a comparación de medias de rangos con una prueba de Kruskal y Wallis

^zValores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas. ^wDMSH (Diferencia Mínima Significativa Honesta) para comparación de medias de rangos con una prueba de Kruskal y Wallis.

4.6. Pérdida fisiológica de peso

No se encontraron diferencias significativas entre los frutos tratados con ácido giberélico y los frutos testigo (Cuadro 9). Los valores promedio de pérdida fisiológica de peso acumulada a los diez días de almacenamiento oscilan entre el 9.61 y 10.33 %.

Cuadro 9. Pérdida fisiológica de peso en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con aplicaciones pre cosecha de ácido giberélico.

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Pérdida fisiológica de peso registrada durante 12 días de almacenamiento poscosecha a temperatura ambiente (20 ± 2 °C)					PFP acumulada
	Día 2	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10	
0	2.34 a ^{yz}	2.07 a	2.00 a	2.10 a	1.81 a	10.33 a
100	1.97 a	1.87 a	2.07 a	2.09 a	1.62 a	9.61 a
200	1.96 a	2.13 a	2.35 a	2.32 a	1.74 a	10.49 a
300	2.05 a	1.96 a	2.19 a	2.41 a	1.70 a	10.30 a
400	1.97 a	2.22 a	2.17 a	2.21 a	1.67 a	10.24 a
500	2.23 a	2.15 a	2.13 a	2.13 a	1.07 a	9.71 a
DMSH ^w	0.50	0.52	0.47	0.62	0.49	2.36

^z Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

^wDMSH: Diferencia Mínima Significativa Homesta.

4.7. Tasa de respiración y producción de etileno

El pico climatérico de CO₂ se presenta a los seis días de almacenamiento. Los promedios obtenidos al sexto día poscosecha van desde los 47.75 ml·k⁻¹·h⁻¹ para el tratamiento con una concentración de 100 mg·L⁻¹ de ácido giberélico, hasta los 57.25 ml·k⁻¹·h⁻¹ en el caso de los frutos testigo. Es importante señalar que la producción de CO₂ en frutos de todos los tratamientos es alta desde el preclimaterio (cosecha), se incrementa hasta el climaterio (día seis poscosecha) y disminuye posteriormente (ocho y diez poscosecha) esta disminución es más lenta en los frutos testigo, registrando valores de 37.45 ml·k⁻¹·h⁻¹ hasta los diez días poscosecha (Cuadro 10).

Cuadro 10. Producción de CO₂ (ml·k⁻¹·h⁻¹) en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con aplicaciones precosecha de ácido giberélico.

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Producción de CO ₂ (ml·k ⁻¹ ·h ⁻¹)					
	Cosecha	Día 2	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
0	26.49 a ^z	26.80 cd	43.71 ab	57.25 a	50.19 a	37.45 a
100	18.55 b	30.52 ab	41.99 ab	47.75 a	38.65 b	28.38 c
200	20.90 ab	24.91 d	45.64 a	52.21 a	41.74 b	30.65 c
300	24.06 ab	29.14 bc	44.28 ab	53.51 a	43.26 b	31.75 bc
400	20.68 ab	26.82 cd	38.25 b	55.60 a	43.42 b	35.80 ab
500	21.55 ab	32.81 a	44.70 ab	52.87 a	39.20 b	30.69 c
DMSH ^w	7.60	3.24	6.74	9.67	6.20	4.23

^z Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

^wDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

La producción de etileno presentó el típico patrón climatérico, alcanzó el máximo a los cuatro días de almacenamiento para los frutos testigo y los frutos tratados con 100, 200, 300 y 400 mg·L⁻¹ de ácido giberélico, precediendo por 48 horas al pico climatérico de producción de CO₂.

Los valores registrados al cuarto día poscosecha oscilan entre los 52.0 y 98.72 μl·K⁻¹·h⁻¹ de etileno (C₂H₄). Los frutos tratados con 500 mg·L⁻¹ de ácido giberélico presentaron un máximo de producción de C₂H₄ a los seis días de almacenamiento, al mismo tiempo que se presentó el máximo en respiración, con un valor de 134.82 μl·K⁻¹·h⁻¹ presentando diferencias significativas con los frutos testigo y los que fueron tratados con 100, 200 y 300 mg·L⁻¹ de ácido giberélico (Cuadro 11).

Cuadro 11. Producción de C₂H₄ (μl·K⁻¹·h⁻¹) en frutos de aguacate cv. Fuerte con aplicaciones precosecha de ácido giberélico

Conc. de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Producción de C ₂ H ₄ (μl·K ⁻¹ ·h ⁻¹)					
	Cosecha	Día 2	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
0	25.36 a ^z	26.99 a	52.00 b	31.67 b	21.64 a	17.66 a
100	4.88 b	4.59 b	67.77 ab	17.87 b	17.90 a	16.39 a
200	8.39 b	9.97 b	67.02 ab	25.25 b	19.31 a	16.20 a
300	7.31 b	9.05 b	98.72 a	44.81 b	22.27 a	15.34 a
400	6.91 b	14.18 ab	88.46 a	82.09 ab	19.42 a	16.44 a
500	8.83 b	18.53 ab	65.65 ab	134.82 a	22.33 a	15.29 a
DMSH ^w	12.43	16.83	33.31	72.72	8.52	4.38

^zValores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey (α=0.05).

^wDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

4.8. Grosor de cutícula

Los frutos asperjados con $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico presentaron una cutícula mucho más gruesa ($30.40 \mu\text{m}$) en comparación con el resto de los tratamientos que presentaron valores comprendidos entre los 15.6 y $19.05 \mu\text{m}$. Se encontró una diferencia significativa entre los frutos asperjados con $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y los frutos testigo con una diferencia de $13.52 \mu\text{m}$ de grosor de cutícula (Cuadro 12).

Cuadro 12. Grosor (μm) de la cutícula de frutos de aguacate cv. Fuerte sometidos a tratamientos precosecha de ácido giberélico

Concentración de ácido giberélico ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	Grosor de cutícula (μm)
0	16.88 bc ^z
100	17.23 bc
200	15.60 c
300	19.05 b
400	16.58 bc
500	30.40 a
DMSH ^w	2.47

^z Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

DMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

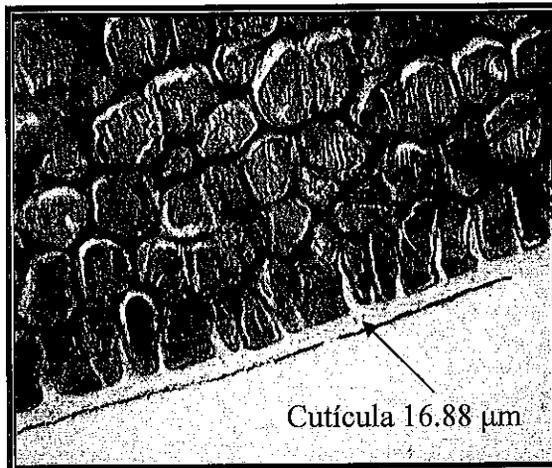


Figura 1. Grosor de cutícula en frutos testigo de aguacate cv. Fuerte tratados con $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico en precosecha



Figura 2. Grosor de cutícula en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados durante precosecha con $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico.

4.9. Color

4.9.1. Brillantez

Se registraron diferencias significativas al momento de cosecha, seis y ocho días de almacenamiento en la brillantez de los frutos tratados con 100 mg·L⁻¹ de ácido giberélico, en comparación con los frutos sometidos a 200 mg·L⁻¹. No se observaron diferencias con el resto de los tratamientos y los frutos testigo (Cuadro 13).

Cuadro 13. Porcentaje de brillantez en frutos de aguacate cv. Fuerte sometidos a aplicaciones precosecha de ácido giberélico

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Días de almacenamiento a temperatura ambiente (22 °C)					
	Cosecha	Día 2	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
0	30.86 ab	30.93 ab	30.42 a	31.36 ab	32.41 ab	32.29 a
100	33.79 a ^z	31.15 ab	33.67 a	33.32 a	34.65 a	34.37 a
200	26.71 b	28.34 ab	28.60 a	29.57 b	30.26 b	31.80 a
300	29.42 ab	28.11 b	28.59 a	31.76 ab	32.39 ab	32.92 a
400	30.19 ab	32.77 ab	30.42 a	31.76 ab	32.16 ab	30.89 a
500	30.89 ab	31.09 a	30.40 a	32.81 ab	33.98 ab	33.06 a
DMSH ^w	5.15	4.61	5.09	3.72	3.84	4.10

^z Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

^wDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

4.9.2. Índice de saturación de color

Al momento de la cosecha, los frutos tratados con 500 mg·L⁻¹ de ácido giberélico y los frutos testigo presentaron un índice de saturación de color con valores de 25.61 y 20.78, respectivamente mostrando una diferencia significativa en comparación con los frutos tratados con 100 mg·L⁻¹ de ácido giberélico. Esta diferencia se presentó en el cuarto día de poscosecha, donde los frutos tratados con 500 mg·L⁻¹ resultaron estadísticamente diferentes a los frutos sometidos a aplicaciones de 200 y 300 mg·L⁻¹ de ácido giberélico. Durante los días posteriores de almacenamiento no se reporta ninguna diferencia significativa (Cuadro 14).

Cuadro 14. Índice de saturación de color en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con aspersiones precosecha de ácido giberélico

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Días de almacenamiento a temperatura ambiente (22 °C)					
	Cosecha	Día 2	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
0	20.78 ab	19.79 a	22.77 a bc	20.45 a	20.18 a	18.35 a
100	19.81 c ^z	24.08 a	23.06 a bc	22.38 a	21.13 a	18.96 a
200	14.13 bc	23.67 a	19.65 c	17.78 a	16.72 a	16.62 a
300	18.26 bc	23.35 a	20.01 bc	19.03 a	17.94 a	25.47 a
400	17.79 bc	22.55 a	24.57 ab	22.30 a	20.50 a	18.43 a
500	25.61 a	23.91 a	25.13 a	21.95 a	19.77 a	20.95 a
DMSH ^w	5.44	6.93	4.83	5.15	4.97	171.28

^zValores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

^wDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

4.9.3. Ángulo Hue

Mediante la medición del ángulo Hue se pudo observar que al momento de cosecha, a los ocho y diez días de almacenamiento no se presentaron diferencias significativas. Durante el segundo día de almacenamiento los frutos tratados con 200 mg·L⁻¹ de ácido giberélico presentan un color más intenso en comparación con los frutos tratados con aplicaciones de 400 mg·L⁻¹ (117.15° contra 101.10° respectivamente). Durante el cuarto día poscosecha los frutos tratados con 100 mg·L⁻¹ presentaron un color más intenso en comparación con los frutos tratados con 300 y 400 mg·L⁻¹ de ácido gibrélico. Al sexto día de almacenamiento los frutos tratados con 200 mg·L⁻¹ registraron los valores mas bajos en cuanto a intensidad de color en comparación con el resto de los frutos tratados y los frutos testigo. No se presentaron diferencias significativas durante los días ocho y diez de almacenamiento (Cuadro 15).

Cuadro 15. Ángulo del tono (HUE) en frutos tratados con aplicaciones precosecha de ácido giberélico.

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Días de almacenamiento a temperatura ambiente (22 °C)					
	Cosecha	Día 2	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
0	103.342 a ^z	105.255 ab	104.22 abc	101.720 a	107.234 a	105.024 a
100	110.318 a	108.527 ab	113.934 a	104.203 a	107.526 a	110.338 a
200	117.259 a	117.156 a	110.312 ab	103.202 b	101.491 a	113.069 a
300	111.087 a	107.573ab	101.532 bc	101.136 a	103.761 a	116.139 a
400	105.062 a	101.102 b	96.278 c	104.486 a	103.269 a	117.983 a
500	103.358 a	110.853 a b	103.11 abc	103.250 a	105.204 a	108.616 a
DMSH ^w	16.758	13.999	11.996	11.757	12.068	21.417

^z Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias estadísticamente significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

^wDMSH: Diferencia Mínima Significativa Honesta.

5. DISCUSIÓN

Las aplicaciones de ácido giberélico no modificaron significativamente el peso en fresco alcanzado por los frutos de aguacate cv. Fuerte al momento de cosecha (Cuadro 2). Los datos obtenidos coinciden con los estudios realizados por García *et al.* (1992) quienes reportaron que las aplicaciones de ácido giberélico en concentraciones de 20 mg·L⁻¹ en frutos de mandarina cv. Clementina no afectan el peso del fruto. Sin embargo, Lovatt (2005) en investigaciones recientes en aguacate encontró que aplicaciones de ácido giberélico (25 mg·L⁻¹) aplicado durante el desarrollo floral (marzo), finales de junio y principios de julio incrementó la cosecha total en kilogramos, número de frutos por árbol, tamaño y valor comercial.

El ácido giberélico favorece la división celular al estimular las células que se encuentran en la fase G₁ a entrar a la fase S y acorta ésta última fase, además de promover el crecimiento celular debido a que incrementa la hidrólisis de almidón, fructanos y sacarosa lo que origina moléculas de fructosa y glucosa aumentando la plasticidad en la pared celular y que es en este momento donde el suministro de agua es muy importante (Salisbury y Ross, 2000) se considera que en el presente estudio el hecho de haber establecido la investigación en huerta de temporal es un factor que pudo influir en la acción del ácido giberélico sobre los frutos.

El contenido de materia seca y aceite, en los frutos analizados para todos los tratamientos (valores que oscilan entre 23 a 34% y 16 a 23 % respectivamente) fueron superiores al mínimo establecido para madurez fisiológica reportado por Hoffman *et al.* (2001) que es del 23 y 19 % respectivamente. El contenido de materia seca al momento de la cosecha no presenta diferencias significativas entre los frutos tratados con ácido giberélico y los frutos testigo. Los valores obtenidos en los seis tratamientos superan el promedio reportado por Cajuste *et al.* (1994) quien encontró un contenido de materia seca de 30.3 % en frutos del mismo cultivar y 32.2 % en frutos de aguacate cv. Hass (Cajuste, 2001). Concentraciones de 500 mg·L⁻¹ incrementan significativamente el contenido de aceite (23.1 %) en comparación con los frutos testigo (20.06 %). A pesar de que el contenido de materia seca no fue significativamente diferente, el tratamiento con 500 mg·L⁻¹ presenta un alto porcentaje (Cuadro 3) de ésta por lo que podía relacionarse con la concentración de aceite ya que se ha encontrado una correlación aceptable entre estos dos factores en frutos de aguacate (Reid, 1985). Las concentraciones de aceite encontradas en todos los frutos, incluyendo los testigos, superan las medias mencionadas en la caracterización del fruto de aguacate cv. Fuerte realizada por Sánchez *et al.* (1989), quienes determinaron una concentración promedio de aceite de 19.3 %, aunque los frutos sometidos a 100 mg·L⁻¹ de ácido giberélico registraron un contenido del 16.4 %, inferior al 19.0 %, establecido por Kader y Arpaia (2007) como concentración mínima a la madurez fisiológica para aguacate cv. Fuerte.

Durante el proceso de división y alargamiento celular, el citoplasma se mueve hacia afuera de las paredes y el espacio es ocupado por vacuolas, las cuales ocupan el 80 % del volumen de la célula. Los azúcares se acumulan en las vacuolas y el citoplasma que anteriormente consistía en proteínas, almacena almidón (Biale, 1941). Este proceso es el posible responsable del aumento en el contenido de fotosintatos en los frutos y por consiguiente de un incremento en el contenido de materia seca que a su vez es directamente proporcional al contenido de aceite en frutos de aguacate (Reid, 1985; Kader y Arpaia, 2007)

La longitud y el diámetro registrados en los frutos analizados en la presente investigación fueron menores a los citados en la caracterización de los frutos de aguacate cv. Fuerte por Sánchez *et al.* (1989), donde se menciona que la media para longitud y diámetro es de 113 y 76 mm, respectivamente. Sin embargo se encontró incremento significativo en el diámetro de los frutos a los que se aplicaron $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico con respecto al testigo (Cuadro 5).

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con los resultados encontrados por Salazar *et al.* (2002) quienes establecen que hay un incremento significativo en tamaño de frutos de aguacate cv. Hass con aplicaciones de ácido giberélico a una concentración de $25 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$. La aplicación de ácido giberélico aumenta la plasticidad de las paredes celulares y promueven el crecimiento celular debido a que incrementan la hidrólisis del almidón, fructanos y sacarosa (Salisbury y Ross, 2000).

Los frutos tratados con 200, 300, 400 y $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ alcanzaron la madurez de consumo a los seis días de almacenamiento a diferencia de los frutos control y los tratados con $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico, los cuales registraron la

madurez de consumo entre los siete y ocho días (Cuadro 7). Lo obtenido concuerda con los datos mencionados por Durand (1981) y quien afirma que los frutos de aguacate presenta un cambio de firmeza al tacto entre los ocho y 13 días después de cosechados. Zaubermann *et al.* (1977) López y Cajuste (1996) y Osuna *et al.* (2005) quienes mencionan que el ablandamiento en frutos de aguacate cv. Hass provenientes de una floración normal almacenados a 25 °C ocurre a los ocho días después de la cosecha. El efecto de la aplicación de ácido geberélico se asemeja a los resultados reportados por López y Cajuste (1995) en frutos de aguacate cv. Fuerte sometidos a tratamientos de 10 mg·L⁻¹ de nitrato de calcio durante el desarrollo del fruto, los cuales alcanzaron la madurez de consumo a los 6 días después de la cosecha. El grado de madurez fisiológica al momento de la cosecha es un factor importante en la variabilidad de los días a madurez comercial ya que los frutos más maduros en relación al contenido de materia seca normalmente alcanzan más rápido la madurez de consumo (Hoffman *et al.*, 2001), lo cual se podría corroborar con la diferencia significativa en contenido de materia seca que presentaron los frutos tratados con ácido giberélico en comparación con los frutos testigo.

Resultados similares se obtuvieron con relación a la pérdida de firmeza. La disminución de ésta en los frutos sometidos a aplicaciones de ácido gibrélico se da a los seis días de almacenamiento, en contraste con los frutos testigo, en donde se da una diferencia significativa. La firmeza registrada a los ocho días de almacenamiento en frutos tratados con ácido giberélico en concentraciones de 100 y 300 y 400 mg·L⁻¹ fue estadísticamente menor a la que presentaron los frutos testigo (Cuadro 8).

Los valores registrados en firmeza para los frutos tratados y los frutos control es superior a las medias encontradas por López y Cajuste (1997) quienes reportaron una firmeza de 1.421 hasta 2.226 N en el séptimo día de almacenamiento.

La pérdida de firmeza en los frutos de aguacate puede basarse en los procesos fisiológicos presentes durante el proceso de maduración donde las paredes celulares se colapsan hasta desaparecer, mientras que los organelos permanecen intactos, el fruto pierde gradualmente rigidez y firmeza (Nothnagel, 1987), sin embargo, los resultados obtenidos con las aplicaciones de ácido giberélico pueden ser ampliamente explicados mediante tres mecanismos de acción de las ácido giberélico. El primero se basa en la capacidad de disminuir los niveles de Ca^{2+} en la pared celular, lo que provoca la pérdida de firmeza, probablemente mediante la aceleración en la absorción de iones calcio al interior de la célula. El segundo es mediante el debilitamiento de la estructura de las paredes celulares inhibiendo la actividad de la peroxidasa previniendo que las paredes adquieran rigidez mediante la incorporación de compuestos fenólicos como el ácido ferúlico (Grochowska y Mejía, 2003). El tercer mecanismo de acción se basa en la influencia sobre la expresión de algunos genes, por ejemplo los responsables de la síntesis de α -amilasa, enzima hidrolítica que degrada el almidón y cuyos productos son usados para la respiración (Van Buren, 1970; Legocka y Jankiewicz, 2003).

Debido a que el fruto de aguacate presenta una tasa de respiración y producción de etileno alta y ambas presentan un patrón de climaterio (Kader, 1985) el uso energético durante el proceso de maduración es elevado.

El resultado del gasto energético es traducido en una pérdida fisiológica de peso (PFP), la cual se da debido a los procesos anabólicos y catabólicos dentro del fruto (Bruinsma, 1981). En el presente estudio, la PFP no presentó diferencias significativas entre los frutos tratados y los frutos testigo (Cuadro 9). Los resultados encontrados en esta investigación difieren con lo obtenido por Cajuste *et al.* (1998), quienes mencionaron que la pérdida fisiológica de peso a madurez de consumo (7 días) en frutos de aguacate cv. Fuerte es de 7.3 %. López y Cajuste (1995) por su parte, encontraron que en frutos de aguacate cv. Hass que alcanzaron una madurez de consumo a los 5 días después de cosechados y almacenados a 18 °C, la pérdida de peso fue de 11.69 %.

En cuanto a respiración, el pico climatérico de producción CO₂ se alcanzó a los seis días de almacenamiento. Los frutos testigo mostraron diferencias significativas al inicio de cosecha en comparación con los frutos tratados con 100 mg·L⁻¹ de ácido giberélico, patrón que permaneció hasta los ocho días de almacenamiento (Cuadro 10). El comportamiento de los frutos analizados en el presente estudio se asemeja a lo encontrado por Alia *et al.* (2005) en frutos de zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq.) en donde el pico de producción de etileno precedió por dos días al pico de CO₂.

De forma general, la tasa de respiración obtenida en esta investigación coincide con los valores encontrados por López y Cajuste (1997) quienes mencionaron que en frutos del cv. Fuerte provenientes de una floración normal la producción de CO₂ durante el máximo climaterio es de 44 mg·k⁻¹·h⁻¹. Los frutos presentaron un típico patrón climatérico de producción de etileno, precediendo al pico de respiración (a los cuatro días de almacenamiento), a excepción de los frutos

tratados con $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico, en los que el pico de producción de C_2H_4 se presentó a los seis días poscosecha (Cuadro 11) debido probablemente a la disminución de azúcares dentro del fruto provocada por el tratamiento con ácido giberélico (McGlasson et al., 1978).

En aguacate, después de que ha alcanzado su madurez, el grosor de la cutícula es constante y tiene implicaciones en el intercambio gaseoso. Los frutos sometidos a una concentración de $500 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de ácido giberélico presentaron una cutícula mucho más gruesa ($30.4 \mu\text{m}$) (Cuadro 12) debido a que en frutos de cáscara gruesa, como el aguacate, el ácido giberélico exógeno tienen mayor dificultad para penetrar al mesocarpio e inducen el desarrollo del epicarpio y cutícula (Valmayor, 1967). Una mayor concentración de ceras recubriendo al fruto impiden la salida de etileno producido, lo cual incrementa la autocatálisis del mismo. Esto se corrobora con los resultados obtenidos, que evidencian que la producción de etileno ($134.82 \mu\text{l}\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) fue significativamente más alta en comparación con el resto de los tratamientos.

Con relación a la brillantez se observó que aplicaciones de $100 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ dieron como resultado frutos con mayor claridad de tono (Cuadro 13). El índice de saturación de color nos indica la intensidad de color el cual no fue modificado significativamente con los tratamientos de ácido giberélico (Cuadro 14). El ángulo de tono es un parámetro que indica la coloración. En este experimento se pudo apreciar que los frutos de aguacate evaluados se encontraron en la gama de verde-amarillo (ángulos mayores de 90° pero menores a 180°). Los tonos más intensos se situaron alrededor de los 117° (Cuadro 15).

Los porcentajes de brillantez y los valores de ángulo de tono encontrados coinciden con los valores reportados por Sánchez *et al.* (1989) para la evaluación de frutos del cv. Fuerte. En general la aplicación de ácido giberélico no ocasionó ninguna modificación sobre las características de color en los frutos de aguacate cv. Fuerte.

6. CONCLUSIONES

1. Las aplicaciones de ácido giberélico no modificaron la tasa de producción de CO₂, por lo que la pérdida fisiológica de peso no se vio afectada.
2. El efecto del ácido giberélico puede estar relacionado con la etapa de desarrollo del fruto ya que aplicaciones tempranas del mismo (200 mg·L⁻¹) favorecen el ablandamiento del fruto a los seis días de almacenamiento, mientras que aplicaciones de 300 a 500 mg·L⁻¹ no presentan el mismo efecto.
3. Concentraciones de 500 mg·L⁻¹ de ácido giberélico incrementan el contenido de aceite, y favorecen el desarrollo de la cutícula, factor que retrasa el pico climatérico de producción de etileno.
4. La aplicación de ácido giberélico durante el desarrollo del fruto no ocasionó cambios en las características de color (brillantez, índice de saturación y ángulo del tono).

7. LITERATURA CITADA

- Agustí F., M. y Almela, V. 1988. Aplicaciones de ácido giberélico para el control de alteraciones de la corteza de las mandarinas asociadas a su maduración. *Invest. Agri. Prod. Prot. Veg.* 3:125-137.
- Agustí, M. 2000. Crecimiento y maduración del fruto pp 419-434. *In: Fundamentos de Fisiología Vegetal.* Azcón-Bieto, J. y Talón, M (Coord.) McGraw Hill Interamericana. Madrid, España.
- Alia T., I., Colinas L., M. T., Martínez D., M. T. y Soto H., R. 2005. Daños por frío en zapote mamey (*Pouteria sapota* Jacq.). 1. Cambios en volátiles, firmeza y azúcares totales. *Rev. Fitotec. Mex.* 28 (1): 17-24.
- Awad, M., and Young, R. E. 1979. Postharvest variation in cellulose, polygalacturonase and pectinmethylesterase in avocado (*Persea americana* Mill, cv. Fuerte) fruits in relation to respiration and ethylene production. *Plant Physiology* 64: 306-308.
- Awad, M., and Young, R. E. 1980. Avocado pectinmethylesterase activity in relation to temperature and ethylene production. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 105: 638-641.
- Barrientos P., A. y López L., L. 1998. Historia y genética del aguacate. Memoria Fundación Sánchez Colín, CICTAMEX S. C.. Coatepec Harinas, México. pp 33-51.
- Bennett, A., B. and Christoffersen R., E. 1986. Synthesis and processing of cellulase from ripening avocado fruit. *Plant Physiol.* 81: 830-835.
- Biale, J. B. 1941. The climacteric rise in respiration rate of the Fuerte avocado fruit. *Proc. Am. Soc. Hortic. Sci.* 39: 173.
- Biale, J. B. and Young, R. E. 1971. The avocado pear, pp 1-61. *In: The Biochemistry of Fruits and their Products.* Vol. 2. Hulme, A. C. (Ed.). Academia Press. New York, USA.
- Bower, J. P. and Cutting, J. G. 1988. Avocado fruit development and ripening physiology. *In: Horticultural Reviews.* Vol. 10: 229-271.
- Bruinsma, J. 1981. Hormonal regulation of senescence ageing, fading and ripening. *Acta. Hort.* 138: 141-163.

-
- Cajuste B., J., Saucedo V., C. y Colinas L., T. 1994. Comportamiento postcosecha de fruto de aguacate (cv. Hass) en función a la época de corte. *Rev. Fitotec. Mex.* 17: 94-102.
- Cajuste B., J., López L., L., Meza R., J. 1998. Evaluación de la calidad mediante atributos de apariencia de frutos de aguacate de las selecciones Aries y Ariete. Memoria Fundación Sánchez Colín, CICTAMEX S. C. Coatepec Harinas, México.
- Cajuste B., J., López L., L., Zamora M., T. 2001. Efecto del estado de madurez a la cosecha y ubicación de huertos en la calidad de consumo de frutos de aguacate cv. Hass. Memoria Fundación Sánchez Colín, CICTAMEX S. C. Coatepec Harinas, México.
- Coggins, C. W. and Hield, H. Z. 1962. Navel orange fruit response to potassium giberellate. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 81:227-230.
- Conover, J. W. 1980. *Practical Nonparametric Statistics*. John Wiley and Sons. New York. USA. 493 p.
- Cummings, K. and Schroeder, C. A. 1942. Anatomy of the avocado fruit. *Calif. Avocado. Soc. Yearb.* 26: 56-64.
- Dilley, D. R. 1970. Enzymes, pp 179-207. *In: The Biochemistry of Fruits and their Products*. Vol. 1. Hulme, A. C. (Ed.). Academia Press. New York, USA.
- Durand, B. J. 1981. A model for fruit ripeness. *S. Afr. Avocado Grow Assn. Yearb.* 4: 39-41.
- El-Zeftawi, B. M. and Garret, R. G. 1978. Effect of ethephon, GA and light exclusion on ring pigments, plastid ultrastructure and juice quality of Valencia oranges. *J. Hort. Sci.* 53: 215-223.
- Faust, M. 1989. *Physiology of Temperate Zone Fruit Trees*. John Wiley and Sons. Ed. New York, U.S.A. 338 p.
- García, L. A., Herrero, V. A. and Guardiola, J. L. 1992. Effects of applications of gibberellic acid on late growth, maturation and pigmentation of Clementine mandarin. *Scientia Hort.* 49: 71-82.
- Goodwin, P. B. 1978. Phytohormones and fruit growth, pp 175-215. *In: Phytohormones and Related Compounds, A Comprehensive Treatise*, Vol 2. Letham D., S.; Goodwin P., B and Higgins, T. (Eds.). Elsevier and North-Holland Biomedical Press. New York, USA.

-
- Grochowska, M. y Mejía, M. J. 2003. Ácido giberélico, pp 67-92. *In: Reguladores del Crecimiento, Desarrollo y Resistencia en Plantas. Propiedades y Acción.* Jankiewicz, L. S. (Coord.). Ediciones Mundiprensa. D.F., México.
- Hatfield, R. and Nevins, D. J. 1986. Characterization of the hydrolytic activity of avocado cellulose. *Plant Cell Physiol.* 27: 541-552.
- Hoffman P., J., Fuchs, Y. y Milne D., L. 2001. Cosecha, embalaje, tecnología de poscosecha y procesamiento, pp 13-23. *In: El Palto, Botánica, Producción y Usos.* Wiley, A. W. (Ed.). Ediciones Universitarias de Valparaíso, Chile.
- Hulme, A. C. 1971. The mango, pp 534-659. *In: The Biochemistry of Fruits and Their Products.* Vol.1. Hulme, A. C. (Ed.). Academia Press. New Cork, USA.
- Ibar, L. 1983. Cultivo del Aguacate, Chirimoyo, Mango y Papaya. Editorial Mexicana. D. F., México. 267 p.
- Kader, A. A. 1985. Postharvest handling systems: Subtropical fruits, pp 152-156. *In: Postharvest Technology of Horticultural crops.* Kader A. A. (Ed.). University of California. Publication 3311. Davis, USA.
- Kader, A. A. and Arpaia, M. 2007. Aguacate. Postharvest Technology, Research and Information Center. University of California. Davis, California. 296 p.
- Kanellis, A. K. and Kalaitzis, P. 1992. Cellulase occurs in multiple active forms in ripe avocado fruit mesocarp. *Plant Physiol.* 98: 530-534.
- Knight R., J. 2001. Historia, distribución y usos, pp 13-23. *In: El Palto, Botánica, Producción y Usos.* Wiley, A. W. (Ed.). Ediciones Universitarias de Valparaíso. Valparaíso, Chile.
- Kremer-Köhne, S. and Köhne J., S., Kirkman, B. 1991. Yield and fruit quality of avocado cv fuerte as influenced by Paclobutrazol foliar applications. *S. Afr. Avocado Grow. Assn. Yearb.* 14: 22-23.
- Jones, R. L. 1968. Hormones and carbohydrate metabolism in germinating cereal grains. *Plant Physiology, Lancaster* 43, 442-4.
- Jeong, J. and Huber, D. J. 2004. Suppression of avocado (*Persea Americana* Mill) fruit softening and changes in cell wall matrix polysaccharides and enzyme activities: Differential responses to 1-MCP and delayed ethylene application. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 129(5): 752-759.

-
- Legocka, J. y Jankiewicz L., S. 2003. Acción de los reguladores de crecimiento, aspectos generales, pp 341-392. *In: Reguladores del Crecimiento, Desarrollo y Resistencia en Plantas. Propiedades y Acción.* Jankiewicz L., S. (Coord.). Ediciones Mundiprensa. D.F., México.
- Letham D., S.; Goodwin P., B and Higgins, T. 1978. Phytohormones and related compounds, A comprehensive treatise, Vol 2. Elsevier and North-Holland Biomedical Press. New York, USA. 454 p.
- López L., L. y Cajuste B., J. 1995. Efectos de la aplicaciones de diferentes fuentes de calcio en precosecha sobre la calidad de fruto de aguacate cv. Fuerte. Memoria Fundación Sánchez Colín, CICTAMEX S. C. Coatepec Harinas, México.
- López L., L. y Cajuste B., J. 1996. Tratamientos precosecha con fuentes de calcio sobre la capacidad de almacenamiento de frutos de aguacate "Fuerte". Memoria Fundación Sánchez Colín, CICTAMEX S. C. Coatepec Harinas, México.
- López L., L. y Cajuste B., J. 1997. Comportamiento postcosecha de fruta de aguacate cv. Hass con base en la altitud de producción y tipo de floración. Memoria Fundación Sánchez Colín, CICTAMEX S. C. Coatepec Harinas, México.
- Lovatt, C. J. 2005. Plant growth regulators for avocado production. *Calif. Avocado Soc. Yearb.* 88: 81-91 pp.
- Matoo, K. A., Murata, T., Pantastico, Er. B., Chacin, K., Ogata, K. and Phan, C. T. 1979. Cambios químicos durante la maduración y senescencia, pp 129-156. *In: Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales.* Pantastico, E. B. (Ed.) Compañía Editorial Universal, S. A. D.F., México.
- McGlasson, B. W. 1971. The Ethylene Factor, pp 475-533. *In: The Biochemistry of Fruits and their Products.* Vol.1. Hulme, A. C. (Ed.). Academia Press. New York, USA.
- McGlasson W., B, Wade N., L. and Adato, I. 1978. Phytohormones and fruit ripening, pp 447-493. *In: Phytohormones and Related Compounds, A Comprehensive Treatise, Vol 2.* Letham D., S.; Goodwin P., B and Higgins, T. (Eds.). Elsevier and North-Holland Biomedical Press. New York, USA.
- Moreau, F., and Romani, R. 1982. Malate oxidation and cyanide-insensitive respiration in avocado mitochondria during the climacteric cycle. *Plant Physiology.* 70: 1385-1390.

-
- Nothnagel, E. A. 1987. How avocado fruits soften during ripening. *Calif. Avocado Soc. Yearb.* 71: 193-198.
- Osuna G., J., Beltrán J., A. y Vázquez V., V. 2005. Efecto del 1-Metilciclopropeno (1-MCP) sobre el comportamiento postcosecha del aguacate Hass. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(1): 1-8.
- Pantastico E., B., Matoo A., K. and Phan C., T. 1979. Acción del etileno en la maduración, pp 77-280. *In: Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales.* Pantastico E., B. (Ed.). Compañía Editorial Universal, S. A. D. F., México.
- Phan T., C., Pantastico E., B., Ogata, K. and Chachin, K. 1979. Respiración y periodo climatérico respiratorio, pp 111-128. *In: Fisiología de la Postrecolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales.* Pantastico E., B. (Ed.). Compañía Editorial Universal, S. A. D. F., México.
- Pesis, E., Fuchs, Y. and Zauberman, G. 1978. Celulasa activity and fruit softening in avocado. *Plant Physiology.* 61: 416-419.
- Platt-Aloia, K. A. and Thompson, W. W. 1981. Ultrastructure of the mesocarp of mature avocado fruit and changes associated with ripening. *Ann. Bot.* 48: 451-465.
- Preiss, J. and Levi, C. 1980. Starch biosynthesis and degradation, pp 371-423. *In: The Biochemistry of Plants. Vol. 3.* Stumpf P., K. and Conn E., E. (Eds.). Academia Press Inc. New York, USA.
- Reid, S. M. 1985. Product maturation and maturity indices, pp 8-11. *In: Postharvest Technology of Horticultural crops.* Kader A. A. (Ed.). University of California. Publication 3311. Davis, USA.
- Reyes A., J., Agilar M., J. y Campos R., E. 2007. Guía Técnica del Cultivo del Aguacate. Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX. Coatepec Harinas. Estado de México, México. 45 p.
- Rhodes, M. J. C. 1971. The climateric and ripening fruits, pp 521 – 533. *In: The Biochemistry of Fruits and their Products. Vol. 1.* Hulme, A. C. (Ed.). Academia Press. New York, USA.
- Rocha G., G. y Tijero F., R. 1978. Variedades de aguacate (Palto). Centro Regional de Ayuda Técnica. Agencia para el Desarrollo Internacional. Segunda Edición. SOFFER, S. de R.L. D. F., México. 24 p.

-
- Sacher, J. A. 1976. Studies of permeability, RNA and protein turnover during ageing of fruit and leaf tissues. *Symp. Soc. Expt. Biol.* 21: 269-304.
- Salazar-García, S. and Lovatt C., J. 2002. Flowering of avocado (*Persea americana* Mill.). II. Manipulation with GA₃. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 8(1): 77-82.
- Salisbury, F. y Ross, C. 2000. *Fisiología Vegetal*. Editorial Iberoamericana. Madrid, España. 759 p.
- Salunkhe, D. K. and Desai, B. B. 1984. *Postharvest Biotechnology of Fruits*. Vol. 2. CRC Press Inc. Boca Ratón, Florida, USA. 168 p.
- Sánchez C., S., López L., L., Aguilar, I. y Mejía J., C. 1989. Análisis físico y bromatológico de selecciones de aguacate (*Persea americana* Mill) obtenida por CICTAMEX. Memoria Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. Coatepec Harinas, Estado de México, México. pp 117-134.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca SAGARPA. 2006. D.F., México. www.sagarpa.mx.
- Scott, F. M; Bystromp, B. G. and Bowler, E. 1963. *Persea americana*, mesocarp cell structure, light and electron microscope study. *Bot. Gaz.* 124: 423-428.
- Sosa de Pró, E. 1979. *Manual de Procedimientos Analíticos para Alimentos de Consumo Animal*. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 115 p.
- Speirs, J. and Brady, C.J. 1991. Modification of gene expression in ripening fruit. *Australian Journal of Plant Physiology*. 18(5): 519-532.
- Suppo, R. I. 1982. *El Aguacate*. AGT Editorial. D. F., México. 167 p.
- Talón, M. 2000. Ácido giberélico, pp 325-342. *In: Fundamentos de Fisiología Vegetal*. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (Coord.). McGraw Hill Interamericana. Madrid, España.
- Theologyst, A. and Laties, G. G. 1978. Respiratory contribution of the alternative path during various stages of ripening in avocado and banana fruits. *Plant Physiol.* 62: 249-255.
- Tucker G., A., and Grierson, D. 1987. Fruit Ripening, pp 265-318. *In: The Biochemistry of Plants*. Vol. 3. Stumpf P., K. and Conn E., E. (Eds.). Academia Press Inc. New York, USA.

-
- Tucker, M. L. and Laties, G. G. 1984. Interrelationship of gene expression, polysome prevalence and respiration during ripening of ethylene and/or cyanide – treated avocado fruit. *Plant Physiol.* 74: 307-315.
- Valmayor, R. V. 1967. Cellular development of the avocado from blossom to maturity. *Philippine Agr.* 40:907-976.
- Van Buren, J. 1970. Fruit phenolics, pp 269-304. *In: The Biochemistry of Fruits and Their Products.* Vol. 2. Hulme, A. C. (Ed.). Academia Press. New York. USA.
- Van Den Dool, B. and Wolstenholme, B. N. 1983. Further studies on avocado fruit growth and maturity in inland Natal. *S. Afr. Avocado Grow. Assn. Yearb.* 6: 34-40.
- William, H., Senzel, A. and Reynolds, H. 1975. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist. Published by Association of Official Analytical Chemist, Washington, D. C. USA. 1094 p.
- Wittwer, S. H. 1978. Phytohormones and chemical regulators in agriculture, pp 601-603. *In: Phytohormones and Related Compounds, A Comprehensive Treatise,* Vol 2. Letham D., S., Goodwin P., B, and Higgins, J. (Eds.). Elsevier and North-Holland Biomedical Press. New York, USA.
- Yang S., F. and Adams D., O. 1980. Biosynthesis of ethylene, pp 163-175. *In: The Biochemistry of Plants.* Vol. 3. Stumpf P., K. and Conn E., E. (Eds.). Academia Press Inc. New York, USA.
- Zaubermann, G. and Schiffmann-Nadel, M. 1972. Respiration of whole fruit and seed of avocado at various stages of development. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 97: 313.
- Zaubermann, G., Schiffmann-Nadel, M. and Yanko, U. 1977. The response of avocado fruits to different storage temperatures. *HortScience* 12: 353-354 pp.

8. ANEXO

Cuadro 1A. Prueba de rangos de Kruskal y Wallis para muestras independientes y comparaciones de medias de rangos de peso fresco en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con aplicaciones precosecha de ácido giberélico

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Rangos	Medias de rangos
0.0	283.50	31.5 a ²
100	280.00	31.11 a
200	222.00	24.66 a
300	153.00	17.00 a
400	278.00	30.94 a
500	268.00	29.77 a
DMS	14.7584	
Probabilidad de Chi ²	0.308	

²Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas

Cuadro 2A. Prueba de rangos de Kruskal y Wallis para muestras independientes y comparaciones de medias de rangos de longitud y diámetro en frutos de aguacate cv. Fuerte tratados con aplicaciones de ácido giberélico

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Longitud		Diámetro	
	Rangos	Medias de rangos	Rangos	Medias de rangos
0.0	1129	62.722 a ²	1176	65.333 a
100	955	53.056 a	1228	68.222 a
200	867	48.167 a	577	32.083 b
300	1099	61.056 a	846	47.028 b
400	985	54.722 a	986	54.777 a
500	851	47.278 a	1072	59.556 a
DMS	20.82		19.52	
Probabilidad de Chi ²	0.58		0.005	

²Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas

Cuadro 3A. Prueba de rangos de Kruskal y Wallis para muestras independientes y comparaciones de medias de rangos de índice de redondez en frutos de aguacate cv. Fuerte sometidos a tratamientos poscosecha de ácido giberélico

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Rangos	Medias de rangos
0.0	238	26.444 a ²
100	298	33.111 a
200	197	21.889 a
300	231	25.667 a
400	220	24.444 a
500	301	33.444 a
DMS	15.053	
Probabilidad de Chi ²	0.53	

²Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas

Cuadro 4A. Prueba de rangos de Kruskal y Wallis para muestras independientes y comparaciones de medias de rangos de firmeza (N) durante diez días de almacenamiento en frutos de aguacate cv. Fuerte bajo tratamientos poscosecha de ácido giberélico.

Concentración de ácido giberélico (mg·L ⁻¹)	Días de almacenamiento a temperatura ambiente (20 ± 2 °C)				
	Cosecha	Día 4	Día 6	Día 8	Día 10
0.0	9.0 a ²	14.66 a	16.33 bc	14.66 a	10.0 a
100	16 a	11.3 a	8.16 a	5.33 a	12.66 a
200	2.66 a	4.66 a	2.83 a	9.67 a	10.66 a
300	9.33 a	8.0 a	10.33 ab	6.83 a	10.5 a
400	12.0 a	7.33 a	11.83 ab	6.50 a	4.66 a
500	8.0 a	11.0 a	7.5 ab	14.0 a	8.5 a
DMS	7.10	8.84	6.78	7.95	9.85
Probabilidad de Chi ²	0.06	0.25	0.05	0.12	0.55

²Valores con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas.