

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO
AGROPECUARIAS



TESIS

**IDENTIFICACIÓN DE FECHA DE ANILLADO Y EVALUACIÓN DEL
FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN
AGUACATE 'HASS'.**

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
DOCTORADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS EN EL
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS

POR:

M.C. ESPERANZA SÁNCHEZ HERNÁNDEZ

Director: Dr. Gelacio Alejo Santiago

Co-director: Dr. Juan Diego García Paredes

Xalisco, Nayarit; marzo de 2020



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NAYARIT
POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICO AGROPECUARIAS

CBAP/022/19.

Xalisco, Nayarit; 03 de marzo de 2020.

M.C. GLORIA MACHAIN IBARRA
DIRECTORA DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
NIVEL SUPERIOR Y POSGRADO
P R E S E N T E.

Con base al oficio de fecha 25 de febrero del presente, enviado por los CC. Dr. Gelacio Alejo Santiago, Dr. Juan Diego García Paredes, Dr. Rufo Sánchez Hernández, Dr. Rosendo Balois Morales, Dra. Leobarda Guadalupe Ramírez Guerrero y Dr. Rubén Bugarín Montoya, donde se indica que el trabajo de tesis cumple con lo establecido en forma y contenido, y debido a que ha finalizado con los demás requisitos que establece nuestra institución, se autoriza a la **M.C. Esperanza Sánchez Hernández**, continúe con los trámites necesarios para la presentación del examen de grado de Doctorado en Ciencias Biológico Agropecuarias en el Área de Ciencias Agrícolas.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo.

Atentamente
"Por lo Nuestro a lo Universal"

Dr. J. Diego García Paredes
Coordinador del Posgrado



C.c.p.- Expediente

&mefm

AGRADECIMIENTOS

Al Posgrado en Ciencias Biológico Agropecuarias de la Universidad Autónoma de Nayarit, sus docentes y administrativos que contribuyeron durante mi formación.

Al consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT).

Al Dr. Gelacio Alejo Santiago por su excelente trabajo de dirección, su entrega y dedicación. Por toda la paciencia que tuvo durante el tiempo que duró la investigación, su insistencia para la conclusión de este proyecto y todos sus sabios consejos.

A la Dra. Leobarda Guadalupe Ramírez Guerrero, por sus excelentes aportaciones y consejos en la parte estadística, estructura de la tesis, por ser una excelente amiga y darme ánimos para seguir en la culminación de la investigación.

Al Dr. Rosendo Balois Morales por sus aportaciones en la investigación, por el valioso apoyo que me brindó en las instalaciones del laboratorio de Alimentos de la Universidad Autónoma de Nayarit, por ser paciente y dedicado en cada una de las observaciones que realizó durante mi trabajo de investigación.

Al Dr. Juan Diego García Paredes por formar parte del comité tutorial por el apoyo que me brindó en cada una de las observaciones durante la investigación.

Al Dr. Rufo Sánchez Hernández, gracias en todo este tiempo por sus aportaciones a la investigación y todo el empeño que mostró para ser posible el culminar el trabajo.

A la Dra. Circe Aidín Aburto Gonzáles por su apoyo y sus palabras que fueron de mucha ayuda durante mi formación.

Al Dr. Rubén Bugarín Montoya por sus aportaciones durante los seminarios que fueron de mucha ayuda en mi formación y por la revisión y aportaciones al documento.

DEDICATORIA

A Dios (Jehová) por darme la fortaleza, paciencia y la salud para culminar este proyecto de vida, además de permitirme vivir esta bonita experiencia con las personas que me aprecian y a las que me permitió conocer.

A mi razón de ser, mi hijo Alex Damián Ramírez Sánchez quien es mi motor el que me impulsó a emprender este maravilloso proyecto por ser paciente y no dejarme caer.

A mis padres Leandro Sánchez Córdova y Lucía Hernández Olán, por todo su amor y apoyo incondicional en cada uno de mis proyectos, además por sus palabras de aliento en los momentos difíciles.

Mis hermanos Ramón, Rufo, Dolores, Nélida y Adrián Sánchez Hernández (†), por su apoyo en este gran proyecto.

A mi amiga Carmina Velásquez Ventura por el valioso apoyo que me brindó durante la culminación de este proyecto.

A Ximena, Ana y Eliseo quienes fueron parte importante demostrando todo su apoyo, e hicieron más fácil el tiempo en la etapa final.

INDICE GENERAL

INDICE DE CUADROS	vi
INDICE DE FIGURAS	vii

IDENTIFICACIÓN DE FECHA DE ANILLADO Y EVALUACIÓN DEL FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN AGUACATE 'HASS'.

RESUMEN GENERAL	8
ABSTRACT	10
INTRODUCCIÓN GENERAL	12
HIPÓTESIS	14
OBJETIVO GENERAL	14
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
LITERATURA CITADA	15

CAPÍTULO I. INDUCCIÓN DE FLORACIÓN Y DESFASAMIENTO DE COSECHA DE AGUACATE 'HASS'

1.1 RESUMEN	16
1.2 ABSTRACT	17
1.3 INTRODUCCIÓN	18
II. MATERIALES Y MÉTODOS	20
2.1 Área de estudio	20
2.2 Material Vegetal	20
2.3 Anillado	20
2.4 Diseño experimental	20
2.5 Variables	21
2.5.1 Días a inicio de floración	21
2.5.2 Días a inicio de fructificación	21
2.5.3 Número de inflorescencias por m ² de dosel	21
2.5.4 Largo y grosor de panícula en etapa de antesis	22
2.5.5 Concentración nutrimental foliar de N, P, K, Ca y Mg (%) en etapa vegetativa y floración	22
2.5.6 Producción de fruto por árbol (kg)	22
2.5.7 Materia seca en mesocarpio	22
2.6 Análisis estadístico	23
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1 Efecto de las fechas de anillado en la concentración nutrimental foliar	24

3.2 Días a inicio de floración	25
3.3 Días a inicio de fructificación	27
3.4 Número de inflorescencias por m ² de dosel	29
3.5 Largo y grosor de panícula en etapa de antesis	29
3.6 Producción de fruto por árbol (kg)	30
3.7 Materia seca en mesocarpio	32
IV. CONCLUSIONES	34
V. LITERATURA CITADA	35

CAPÍTULO II. FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN SOBRE LA NUTRICIÓN FOLIAR, RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL AGUACATE 'HASS'

2.1 RESUMEN	40
2.2 ABSTRACT	42
III. INTRODUCCIÓN	43
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	46
4.1 Área de estudio	46
4.2 Material Vegetal	46
4.3 Diseño experimental	49
4.4 Variables	49
4.4.1 Concentración nutrimental foliar de N, P, K, Ca y Mg (%)	49
4.4.2 Volumen de copa	50
4.4.3 Producción de fruto por árbol (kg)	50
4.4.4 Diámetro polar de fruto (mm)	50
4.4.5 Diámetro ecuatorial de fruto (mm)	50
4.4.6 Sólidos solubles totales (°Brix)	51
4.5 Análisis Estadístico	51
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
5.1 Concentración nutrimental foliar N, P, K, Ca y Mg (%)	52
5.2 Volumen de copa (m ³) de dosel	60
5.3 Producción de fruto por árbol (kg)	61
5.4 Diámetro polar y ecuatorial de fruto (mm)	61
5.5 Sólidos solubles totales (°Brix) en cosecha	62
VI. CONCLUSIONES	65
VII. LITERATURA CITADA	66
VIII. CONCLUSIONES GENERALES	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración nutrimental foliar en aguacate ‘Hass’	25
Cuadro 2. Días a inicio de fructificación, número de inflorescencias, largo y grosor de panícula en aguacate ‘Hass’ por efecto de fechas de anillado	28
Cuadro 3. Tratamientos evaluados en la investigación.....	49
Cuadro 4. Concentración nutrimental foliar por efecto de los tratamientos en aguacate ‘Hass’ en diferentes etapas de muestreo.....	54
Cuadro 5. Volumen de copa (m ³) según la etapa fenológica de aguacate ‘Hass’ evaluado durante la aplicación fraccionada de fertilizante.....	60
Cuadro 6. Producción de fruto por árbol, tamaños del fruto y sólidos solubles totales en frutos cosechados de aguacate ‘Hass’	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Días a inicio de floración en aguacate 'Hass' por efecto de fechas de anillado. T1= anillado 15 de agosto; T2= anillado 15 de septiembre; T3= anillado 15 de octubre; T4= anillado 15 de noviembre T5 sin anillar.....	26
Figura 2. Producción de fruto de aguacate 'Hass' por efecto de fecha de anillado, en la zona productora del municipio de Tepic, Nayarit. Letras diferentes indican diferencia estadística.....	31
Figura 3. Contenido de materia seca en mesocarpio de frutos de aguacate 'Hass' por efecto de fechas de anillado, en la zona productora del municipio de Tepic, Nayarit.....	32

IDENTIFICACIÓN DE FECHA DE ANILLADO Y EVALUACIÓN DEL FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN EN AGUACATE 'HASS'.

RESUMEN GENERAL

Esta investigación se llevó a cabo en un huerto comercial de aguacate 'Hass', denominado "Los Arcos" con árboles de 9 años de edad, el huerto está ubicado en terrenos del ejido de La Fortuna, municipio de Tepic, Nayarit. Se seleccionaron 100 árboles: para el primer experimento se utilizaron 50 árboles, se evaluaron cuatro fechas de anillado 15 de agosto, 15 de septiembre, 15 de octubre y 15 de noviembre con el propósito de definir cuál fecha promueve más rápido la inducción floral y así desfasar la cosecha a los meses de mayor conveniencia, esto se realizó en el ciclo de producción de 2017, también se evaluaron los días a inicio de floración, días a inicio de fructificación número de inflorescencia por m² de dosel, largo de panícula, diámetro de tallo de panícula, días a cosecha, materia seca en frutos cosechados y concentración nutrimental. En los resultados se encontró que los árboles anillados el 15 de agosto, requirieron menos días para presentar floración (101 días), así mismo éstos fueron los primeros en producir frutos (132 días después del anillado). En esta fecha de anillado (15 de agosto) los árboles emitieron 47 % de inflorescencias, con una longitud de 12 cm que fue menor a los otros tratamientos (14 cm). La longitud de los frutos, fue mayor en los árboles anillados con respecto a los árboles no anillados. La concentración foliar de N y P disminuyó por el efecto del anillado.

La materia seca de los mesocarpios de los frutos de aguacate, alcanzaron un promedio de 23.8 %, mientras que para los frutos de los árboles anillados el 15 de septiembre fue de 21.01 % de materia seca. En la cosecha del ciclo 2018, la cual se realizó el 20 de mayo; los árboles anillados (15 agosto, 2017) tuvieron una mayor producción de frutos (21.4 kg por árbol). Para el segundo experimento, se utilizaron 50 árboles, el experimento consistió en el fraccionamiento de la dosis de fertilización, evaluando el volumen de copa, concentración foliar nutrimental en las etapas de desarrollo (vegetativa, floración, fructificación) y postcosecha (rendimiento, sólidos solubles y longitud de los frutos).

La aplicación total de la dosis de fertilización (1,154 g N y 710 g P₂O₅ por árbol) incrementó el contenido de micronutrientes en todas las etapas de desarrollo; sin embargo, el volumen de copa, rendimiento y calidad del fruto no se vio favorecido.

Los árboles a los cuales se les aplicó la dosis fraccionada (288 g N y 177 g P₂O₅ en cuatro aplicaciones por árbol) incrementaron su rendimiento y longitud de fruto, así como el contenido de sólidos solubles totales; no hubo incremento en la concentración nutrimental foliar.

ABSTRACT

IDENTIFICATION OF GIRDLING DATE AND EVALUATION OF FRACTIONING DOSE OF FERTILIZATION IN AVOCADO 'HASS'

This investigation was carried out in a commercial avocado 'Hass' orchard, named "Los arcos" with 9-year-old trees. The orchard is located in La Fortuna, Tepic, and Nayarit. 100 trees were selected. For experiment I, 50 trees were used and girdling dates were evaluated with the purpose of defining which date promotes faster floral induction and thus offset the appropriate harvest. This experiment was done in the 2017 production cycle. We also evaluated days at the beginning of flowering, the number of inflorescence per m² of canopy, panicle length, diameter of panicle stem, beginning of fruiting, days of harvest, dry matter, and nutritional concentration. The results obtained were that the girdling trees on August 15, required fewer days to bloom (101 days). Likewise, these trees were the first to produce fruits (132 days after the ringing). At this date of banding (August 15), the trees produced 47% of inflorescences per cubic canopy meter with a length of 12 cm. These lengths were lesser than the other treatments (14 cm). Regarding the length of the fruits, these were larger compared to the trees not ringed. In the nutritional foliar concentration (due to the effect of banding) the concentration of foliar N and P in dry matter of the mesocarp of the avocado fruits decreased, reaching an average of 23.8%, while for the fruits of the ringed trees, we reported 21.01% of dry matter on september 15. In the harvest 2018 cycle, which was held on May 20; ringed trees (August 15, 2017) had a higher fruit production (21.4 kg) per tree. For experiment II, 50 trees were also used. The investigation consisted in fractionate the fertilization dose, evaluating the cup

volume, foliar nutrient concentration in the development stages (vegetative, flowering, fruiting) and post-harvest (yield, soluble solids and fruit length) whose results were favorable since the unfractionated dose (1,154 g N and 710 g P₂O₅ in a single application per tree) increased the micronutrient content at all stages of development evaluated. However, the cup volume, yield, and fruit quality were not favored. The trees where the fractional doses were applied (288 g N and 177 g P₂O₅ in four applications) per tree increased their yield and fruit length, as well as total soluble solids content; no increase in foliar nutrient concentration was observed.

INTRODUCCIÓN GENERAL

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es de la familia de las lauráceas, que comprende más de 50 géneros y alrededor de 2200 especies, en su mayoría son plantas tropicales y subtropicales, incluyendo al aguacate; entre otras están el laurel, la canela y el alcanfor (Sánchez-Pérez, 1999). El aguacate es la cuarta fruta más importante en el mundo con una producción global anual de 4.7 millones de toneladas. Este frutal se considera uno de los cultivos con mayor impacto comercial en México, ya que se cultiva en 26 de sus 32 estados, entre los que destacan Michoacán, Jalisco, Estado de México, Nayarit, Guerrero, Morelos, Chiapas, Puebla, Oaxaca y Durango, estados que aportan más del 97% de la producción (Vega-Torres *et al.*, 2019). Debido a lo antes mencionado el aguacate es un frutal de gran potencial no solo por su contenido nutricional; si no también por su importancia económica ya que se exporta a otros países (Lázaro-Castellanos *et al.*, 2012). Este cultivo se enfrenta a una serie de problemas como la presencia de plagas, enfermedades, manejo deficiente del cultivo y como consecuencia bajos rendimientos en la producción. Otro problema que enfrentan los productores es la concentración de la producción en cierta época del año, lo cual incrementa la oferta del producto y disminuye el precio del mismo. Para contrarrestar estas problemáticas es necesario desarrollar tecnologías de producción que favorezcan al cultivo. Existen técnicas, como el anillado de las ramas de aguacate (Davie *et al.*, 1995) que incrementan el rendimiento, así como el tamaño de fruto y además, se puede obtener producción adelantándola a la temporada. Para lograr lo anterior, se recomienda anillar solo la mitad de las ramas, para evitar un desabasto nutrimental del árbol;

todo esto representa el éxito de la producción si va de la mano y se hace un manejo adecuado en la nutrición del cultivo.

De acuerdo a Salazar García *et al.* (2009), el diagnóstico de la condición nutrimental del aguacate 'Hass' en los municipios de Tepic y Xalisco, Nayarit fue la base para iniciar los ensayos de fertilización de sitio específico en esta región, donde realizaron muestreos foliares y de suelo en 38 huertos sin riego; lo que les permitió identificar los nutrimentos que estaban en niveles abajo de lo normal.

En este estudio se realizó la técnica de anillado evaluando cuatro fechas para definir la más adecuada, que sirviera para desfasar la época de cosecha y atender la problemática sobre la concentración de la producción, así mismo se evaluó la aplicación fraccionada de una dosis de fertilizante con el propósito de optimizar la absorción nutrimental de nitrógeno y fosforo por el cultivo.

HIPÓTESIS

- La práctica de anillado adelantará la floración del cultivo, así como la época de cosecha, de manera significativa.
- La aplicación fraccionada de la dosis de fertilización, generada con el modelo de balance nutrimental, permitirá mantener los niveles óptimos de nutrientes en el tejido foliar e incrementar la producción y calidad del fruto.

OBJETIVO GENERAL

- Desfasar la época de cosecha del fruto de aguacate y evaluar la aplicación fraccionada de la dosis de fertilización en aguacate 'Hass'.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar la fecha de anillado que induzca la floración temprana para desfasar la época de cosecha.
- Evaluar el efecto del fraccionamiento de la dosis de nitrógeno y fósforo en la producción, calidad de fruto y concentración nutrimental foliar en el cultivo de aguacate 'Hass', a partir de una dosis de fertilización anual obtenida por medio del modelo de nutrición balanceada.

LITERATURA CITADA

- Davie, S.J., Stassen, P.J., Van Der Walt, M. and Snijder, G. 1995. Girdling avocado trees for improved production. South African Avocado Growers Association Yearbook. (18) 51-13
- De la Luz Sánchez-Pérez, J. 1999. Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies a fines en México. Revista Chapingo Serie Horticultura (5) 7-18.
- Lázaro-Castellanos, C., González-Hernández, H., Lomelí-Flores, J. R., Myartseva, S. N., Ortega-Arenas, L. D., y Ochoa-Ascencio, S. 2012. Enemigos naturales de escamas armadas (Hemiptera: Diaspididae) en aguacate 'Hass' en Michoacán, México/Natural enemies of armored scale (Hemiptera: Diaspididae) on avocado 'Hass' in Michoacán, México. Revista Colombiana de Entomología. 38(1), 6.
- Salazar-García, Samuel, Cossio-Vargas, Luis Eduardo, y González-Durán, Isidro José Luis. 2009. La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate 'Hass' en huertos sin riego. Agricultura Técnica en México, 35(4), 439-448.
- Vega-Torres, M. G., Pérez-Corral, A., Berlanga-Reyes, D. I., de Jesús Ornelas-Paz, J., y Rios-Velasco, C. 2019 Actividad anti fúngica *in vitro* de microorganismos antagonistas contra *Fusarium oxysporum* de rizosfera de árboles de aguacate en Xalisco, Nayarit, México. 37(1): 57-64.

CAPÍTULO I. INDUCCIÓN DE FLORACIÓN Y DESFASAMIENTO DE COSECHA DE AGUACATE 'HASS'

1.1 RESUMEN

Entre las dificultades que presenta la producción de aguacate 'Hass' en Nayarit, están los bajos precios debido a la estacionalidad de la cosecha en los meses de septiembre a noviembre. El objetivo de la investigación fue identificar la fecha de anillado capaz de adelantar la floración y con ello adelantar la época de cosecha. Se evaluaron cuatro fechas de anillado con diez repeticiones en un diseño experimental de bloques completamente al azar, los tratamientos (T): T1 =15 de agosto, T2 = 15 de septiembre, T3 = 15 de octubre, T4 =15 de noviembre y T5 (sin anillar) en el año 2017. Cada anillado fue de 0.5 cm de ancho en el 50% de las ramas que poseían aproximadamente 10 cm de diámetro.

Las variables evaluadas fueron: días a inicio de floración, días a inicio de fructificación, número de brotes florales por m² de dosel, largo y grosor de panícula en la etapa de antesis, materia seca en mesocarpio en la cosecha, producción de fruto por árbol, y porcentaje de concentración foliar de N, P, K, Ca y Mg en etapa vegetativa y floración. El análisis de varianza mostró diferencias significativas para, días a inicio de floración, días a inicio de fructificación, largo de panícula, materia seca en mesocarpio y producción de fruto. No se presentaron diferencias en concentración nutrimental en las etapas fenológicas. Se concluyó que la fecha de anillado del 15 de agosto adelantó la floración 52 días comparado con el T5 y permitió adelantar la cosecha al mes de mayo.

Palabras clave: *frutales, producción, anillado, fecha, tropicales.*

1.2 ABSTRACT

Among the difficulties presented by the 'Hass' avocado production in Nayarit, it is low prices due to the seasonality of the harvest in the months of September to November. The objective of the investigation was to identify the date of ringing capable of advancing flowering and thereby advancing the harvest season. Four ringing dates (treatments) were evaluated with ten repetitions in a completely randomized experimental block design, generating the following treatments (T): T1= August 15th, T2= September 15th, T3 = October 15th, T4 = November 15th in 2017 and T5 (without ringing). Each ring was 0.5 cm wide in 50% of the branches. The variables evaluated were: concentration N, P, K, Ca and Mg in vegetative stage and flowering, days at the beginning of flowering, number of flower buds per m³ of canopy, days at the beginning of fruiting, panicle length, panicle thickness, fruit production per tree and dry matter of mesocarp. The analysis of variance showed significant differences for days at the beginning of flowering, days at the beginning of fruiting, panicle length, dry matter in mesocarp and fruit production. There were no differences in nutritional concentration in the phenological stages. It was concluded that the date of ringing of August 15th advanced flowering 52 days compared to T5 and allowed the harvest to advance to the month of May.

Index Words: Fruit trees, production, ringed, date, tropical

1.3 INTRODUCCIÓN

México es el mayor productor de aguacate a nivel mundial, con 1 889 354 t que representa el 33.93% de la producción (FAOSTAT, 2017). A nivel nacional, los estados productores con mayor superficie en el año 2017 fueron: Michoacán, Jalisco, Nayarit y Guerrero. Para el estado de Nayarit los rendimientos reportados son de 7.7 t ha⁻¹ y tiene una superficie establecida de 6, 129 ha para el año 2017 (SIAP, 2018). Los problemas que enfrentan los productores en el estado son: rendimientos bajos, precios bajos debido a la estacionalidad de la producción en los meses de septiembre a noviembre, plagas y enfermedades (Morales y Gamboa, 2010) y daños a la floración por efecto de bajas temperaturas.

Una alternativa para solucionar algunos de estos problemas es el adelanto de la cosecha, lo que se puede lograr mediante la inducción de floración temprana. Esto contribuiría ante el problema de precios bajos ya que, a causa de la sobreoferta del producto, los precios disminuyen, además de que las empresas empacadoras elevan sus estándares de selección del producto como consecuencia del fenómeno de oferta y demanda (Vázquez, González y Espinoza, 2009). Es necesario evitar la temporada de temperaturas bajas para proteger la flor de los daños que sufre, ya que, cuando la floración coincide con periodos de baja temperatura se reduce el número de flores femeninas, y disminuye la polinización por los insectos (Pattemore *et al.*, 2018).

El calendario fenológico del aguacate varía en función a las condiciones climáticas de cada región. En la zona productora de aguacate en el estado de

Michoacán se presentan hasta cuatro momentos de floración, en Nayarit solo se registra un evento de esta etapa fenológica (Cossio-Vargas *et al.*, 2008; Rocha-Arroyo *et al.*, 2011). En este sentido, para las condiciones de clima semi-cálido de Nayarit, el estadio floral conocido como coliflor y posteriormente la antesis se presentan en los meses de enero a febrero (Cossio-Vargas *et al.*, 2008), y coincide con las temperaturas más bajas que se presentan en la zona durante el año ($< 10\text{ }^{\circ}\text{C}$), lo que ocasiona daños severos a la floración y consecuentemente a la producción (Pattemore *et al.*, 2018).

Es por ello que la técnica de anillado puede contribuir a adelantar la floración para evitar enfrentarse a las temperaturas que no la favorecen y que por consecuencia repercuten en la producción; el anillado es una práctica que consiste en realizar una incisión en las ramas del árbol, para interrumpir el flujo en el floema y el xilema, lo que provoca una acumulación de carbohidratos y una disminución en los contenidos de giberelinas, auxinas, citocininas en brotes y hojas; es una técnica que se ha realizado en algunos frutales como el litchi, rambután y cítricos (Aburto *et al.*, 2017). Acorde a Davie *et al.* (1995) recomiendan anillar solo la mitad de las ramas, para evitar un desabasto nutrimental en el árbol; Ramírez-Gil (2017) reporta que esta práctica agronómica permite la inducción anticipada de la floración e incrementa la diferenciación floral. Otras técnicas para la inducción floral es la aplicación de hormonas, la poda, la fertilización, aunque la más efectiva es el anillado (Flores y Escobedo, 2015). Por lo que el objetivo de la investigación fue identificar la fecha de anillado idónea para adelantar la floración y con ello obtener producción en época fuera de temporada en aguacate 'Hass'.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de estudio

El experimento se realizó en árboles de aguacate 'Hass', establecidos en un huerto ubicado en un huerto del ejido La Fortuna del municipio de Tepic, Nayarit, México, localizada en las coordenadas 21° 33' 40" LN; 104° 56' 48" LO; a una altitud de 800 m, la temperatura promedio anual es de 21° C y la precipitación anual es de 1289 mm (García, 2004).

2.2 Material Vegetal

Se utilizaron árboles de aguacate 'Hass' de nueve años de edad, los cuales se caracterizan por presentar una sola floración en el año, en las condiciones de las zonas productoras de Xalisco y Tepic en el estado de Nayarit. El arreglo topológico del huerto fue en marco real, con un distanciamiento de 7 x 7 m. El sistema de producción fue en condiciones de temporal.

2.3 Anillado

El anillado se realizó en el 50 % de las ramas de más de 10 cm de diámetro, consistió en hacer incisiones en forma de anillo de 0.5 cm de ancho. Después del anillado, la incisión se selló con pintura vinílica para evitar la entrada de patógenos. Se anillaron en promedio cinco ramas por cada árbol, intercalando ramas sin anillar.

2.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño en bloques al azar con cinco tratamientos y diez repeticiones. Los tratamientos consistieron en cuatro fechas de anillado: 15 de agosto, 15 de

septiembre, 15 de octubre y 15 de noviembre, más un tratamiento testigo T5 (sin anillar) en el ciclo 2017, como unidad experimental se consideró un árbol.

2.5 Variables

Se registró durante el tiempo del experimento, la temperatura con un datalogger marca HOBO, instalado a una altura de dos metros (parte media del árbol).

2.5.1 Días a inicio de floración: Se cuantificó el número de días que transcurrieron desde la primera fecha de anillado (15 de agosto) hasta que se observaron brotes reproductivos en los árboles. Se consideró como inicio de floración cuando el árbol presentó por lo menos una inflorescencia en el estado de desarrollo 9, en la escala visual de Salazar-García *et al.* (1998).

2.5.2 Días a inicio de fructificación: Se cuantificó el número de días que transcurrieron desde la primera fecha de anillado (15 de agosto) hasta que se observaron frutos de 2.0 cm. Se consideró como inicio de fructificación cuando el árbol presentó por lo menos un fruto de ese tamaño.

2.5.3 Número de inflorescencias por m² de dosel: cuando la floración estuvo en etapa de antesis, se realizó la cuantificación con la metodología que indicaron Espíndola *et al.* (2008) con un cuadro de un metro cuadrado (m²) en los cuatro puntos cardinales, se contabilizó el número de inflorescencias y se calculó el promedio por árbol.

2.5.4 Largo y grosor de panícula en etapa de antesis: Se etiquetó una por cada punto cardinal de cada árbol y se registró el largo de panícula con un flexómetro. El grosor de la panícula se midió en (mm) con un vernier digital (Truper® Science Pro 1001309 vernier Digital DESS 6"x0.0005").

2.5.5 Concentración nutrimental foliar de N, P, K, Ca y Mg (%) en etapa vegetativa y floración: Para la cuantificación de concentración nutrimental foliar, se procedió al muestreo de cinco hojas de cada punto cardinal de los árboles, se lavaron, luego se sometieron a secado a 60°C por 48 horas hasta obtener peso constante, se molieron las hojas y se tomó 0.500 g de muestra, se colocó en un tubo de digestión y se procedió a la digestión húmeda, con una mezcla de ácido sulfúrico y ácido perclórico en proporción 2:1 (v/v). Los extractos que se obtuvieron producto de la digestión se utilizaron para la determinación de N por arrastre de vapor (Método Kjeldahl), P por colorimetría, K y Ca por flamometría, y Mg por absorción atómica (Alcántar y Sandoval, 1999).

2.5.6 Producción de fruto por árbol (kg): Cuando los frutos del tratamiento que tuvo floración adelantada alcanzaron en promedio 21.5% de materia seca, se cosecharon todos los tratamientos y se registró el peso de los frutos en una báscula digital marca TORREY®.

2.5.7 Materia seca en mesocarpio: Cuando se efectuó la cosecha el 20 de mayo del 2018, se evaluó la materia seca (MS) en el mesocarpio, se consideró como fruto en punto de cosecha aquellos que alcanzaron mínimo 21.5 % de MS de acuerdo con Herrera-González *et al.* (2017). En cinco frutos por árbol se

tomaron 100 gr de pulpa y se sometió a una estufa de aire forzado a 60°C, hasta que alcanzó peso constante, posteriormente se estimó el porcentaje de materia seca por diferencia de peso.

2.6 Análisis estadístico

A los datos de cada variable se les realizó análisis de varianza y prueba de comparación de medias mediante la técnica de Duncan ($\alpha \leq 0.05$). El análisis estadístico se realizó con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System 2002 versión 9.0).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Efecto de las fechas de anillado en la concentración nutrimental foliar

Los promedios de la concentración nutrimental foliar en aguacate 'Hass' mostraron un grupo estadísticamente igual en las dos etapas fenológicas evaluadas (Cuadro 1). No hubo efecto significativo de la práctica de anillado en la concentración de nutrimentos en tejido foliar, posiblemente porque los árboles no permanecieron por más de tres meses en la misma etapa fenológica, sino que, se presentó la floración, donde demanda más nutrimentos y posteriormente la fructificación, las cuales fueron etapas que no permitieron que se diera una acumulación de nutrimentos en las hojas. Es importante conocer el efecto del anillado en la concentración nutrimental foliar debido a que la alternancia productiva es otro problema que afecta a los productores de aguacate, entre las causas que la originan está el desbalance nutrimental (Alejo-Santiago *et al.*, 2015) que se presenta en los árboles después de presentar una alta producción. Singh *et al.*, (2015) encontraron que la concentración nutrimental foliar de nitrógeno y potasio se redujo significativamente por efecto del anillado en pera asiática (*Pyrus pyrifolia* L). En pistache (Vemos, 2005) reportó que el anillado redujo significativamente la concentración foliar de N en hoja mientras que la concentración de fósforo y potasio aumentó significativamente, agrega que el efecto del anillado en la concentración de carbohidratos es variable ya que depende del tamaño de las ramas, la presencia o ausencia de frutos, el tiempo en el cual se realiza el anillado, del tamaño del anillado, así como la especie en cuestión. En la presente investigación no se observó este efecto de disminución de concentración de nutrimentos al menos en las etapas fenológicas en

evaluación.

Cuadro 1. Concentración nutrimental foliar en aguacate ‘Hass’

	N	P	K	Ca	Mg
Tratamientos	----- % -----				
Vegetativa					
T1	1.83 ± 0.27	0.14 ± 0.07	0.79 ± 0.08	1.32 ± 0.13	0.52 ± 0.07
T2	1.52 ± 0.24	0.20 ± 0.05	0.74 ± 0.08	1.29 ± 0.20	0.55 ± 0.07
T3	1.61 ± 0.23	0.21 ± 0.05	0.83 ± 0.13	1.38 ± 0.19	0.60 ± 0.06
T4	1.92 ± 0.31	0.18 ± 0.05	0.78 ± 0.09	1.49 ± 0.19	0.53 ± 0.05
T5	1.72 ± 0.17	0.13 ± 0.04	0.78 ± 0.10	1.43 ± 0.17	0.54 ± 0.04
Floración					
T1	1.64 ± 0.20	0.10 ± 0.06	0.97 ± 0.07	1.34 ± 3.76	0.57 ± 0.07
T2	1.71 ± 0.19	0.06 ± 0.04	1.00 ± 0.09	1.34 ± 0.18	0.57 ± 0.07
T3	1.56 ± 0.30	0.12 ± 0.07	0.94 ± 0.09	1.46 ± 0.14	0.59± 0.04
T4	1.51 ± 0.20	0.10 ± 0.04	1.04 ± 0.12	1.33 ± 0.15	0.55± 0.05
T5	1.57 ± 0.14	0.12 ± 0.04	0.96 ± 0.08	1.41 ± 0.12	0.60± 0.06

Fechas de anillado: T1= 15 de agosto; T2= 15 de septiembre; T3= 15 octubre

T4= 15 de noviembre y T5= (sin anillar).

La concentración de N, P, K y el Ca se ubican en los rangos presentados por (Maldonado-Torres *et al.*, 2007) como niveles óptimos para este cultivo.

3.2 Días a Inicio de floración

Los árboles anillados el 15 de agosto fueron los que requirieron menor número de días (101) para presentar floración, se adelantaron en la emisión de brotes florales 52 días en comparación con los árboles sin anillado. Las otras fechas de anillado (15 de septiembre, 15 de octubre y 15 de noviembre) fueron iguales estadísticamente; los árboles sin anillado fueron los últimos en tener floración

(Figura 1).

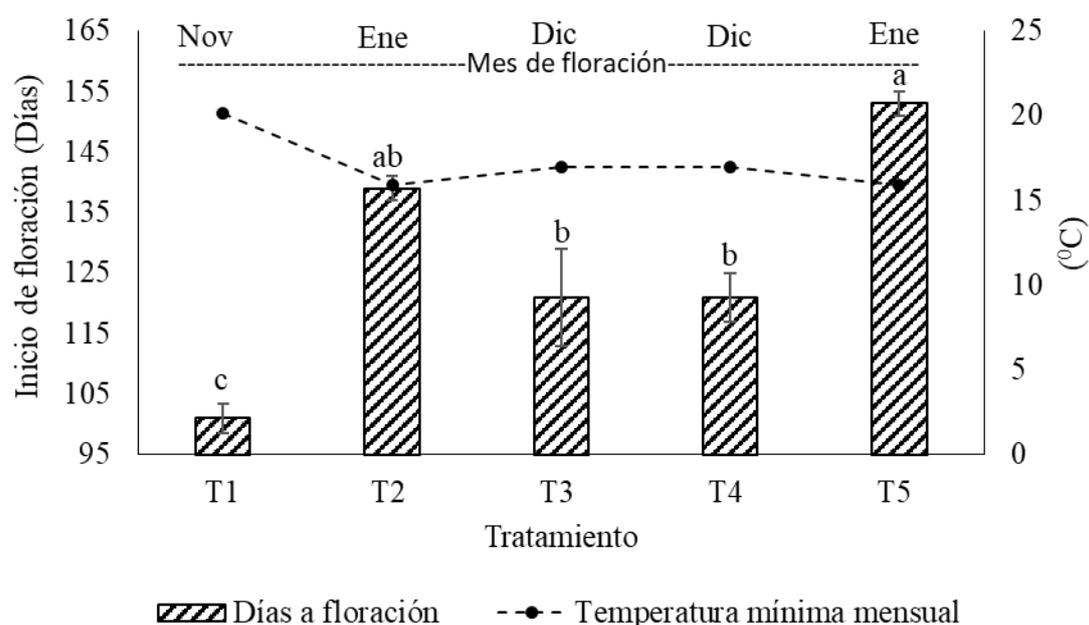


Figura 1. Días a inicio de floración en aguacate 'Hass' por efecto de fechas de anillado. T1= anillado 15 de agosto; T2= anillado 15 de septiembre; T3= anillado 15 de octubre; T4= anillado 15 de noviembre T5 sin anillar.

Salazar-García *et al.* (2017) indican que la cantidad de días que tarda el árbol de aguacate para entrar en floración depende mucho de las condiciones ambientales, ya que se requiere un cierto número de horas frío que permita la inducción floral. En la presente investigación, la práctica de anillado realizada el 15 de agosto indujo la emisión de inflorescencias aun cuando se tenían temperaturas mínimas superiores a 20 °C (Figura 1). En este sentido, el estrés oxidativo que provoca el anillado (Rivas *et al.*, 2011) y el bloqueo del transporte de azúcares hacia las raíces y la acumulación de los carbohidratos en los órganos vegetativos (Ghadage *et al.*, 2017) permite adelantar la floración en este cultivo, cuando se realiza a mediados del mes de agosto.

Estudios de los efectos del anillado con respecto a la inducción de floración

indican que, las yemas vegetativas se transforman en reproductivas (florales) en respuesta a mensajes bioquímicos procedentes de las hojas maduras (Rocha-Arroyo *et al.*, 2010). El clima influye sobre la fecha en que ocurre la determinación irreversible a la floración en los brotes vegetativos (Rocha-Arroyo *et al.*, 2010). Por ello es importante identificar la fecha en que se debe realizar la práctica de anillado en cada condición agroecológica. La floración que se presenta en el mes de noviembre Sánchez-Tienda (1999) la denomina floración aventajada y se presenta en las condiciones climatológicas de la zona productora de Uruapan, Michoacán; de manera forzada, mediante la aplicación del anillado en las ramas en el mes de septiembre. En este estudio la floración “aventajada” de noviembre se obtuvo con la fecha de anillado del 15 de agosto (Figura 1).

3.3 Días a inicio de fructificación

Los árboles anillados el 15 de agosto fueron los primeros en presentar fruto a los 132 días después del anillado, mientras que las demás fechas fueron estadísticamente iguales con los árboles testigo (Cuadro 2).

Cuadro 2. Días a inicio de fructificación, número de inflorescencias, largo y grosor de panícula en aguacate ‘Hass’ por efecto de fechas de anillado.

Tratamiento		DIFR	NINF	LP	GP
(Fecha de anillado)			(m ²)	(cm)	(mm)
1	15 de agosto	132.2 ± 4.11b	7.70 ± 1.61b	12.00 ± 1.01b	6.63 ± 0.62 a
2	15 de septiembre	160.0 ± 8.40ab	3.50 ± 0.77c	14.75 ± 1.63ab	6.26 ± 0.54a
3	15 de octubre	163.0 ± 5.30a	3.70 ± 0.43c	18.84 ± 1.97a	6.76 ± 0.62a
4	15 de noviembre	154.2 ± 5.87ab	5.60 ± 0.42c	16.08 ± 0.87ab	6.74 ± 0.84a
5	Testigo sin anillar	171.6 ± 6.70a	16.3 ± 2.25a	14.00 ± 0.40ab	6.62 ± 0.71a

Días a inicio de fructificación (DIFR), Número de inflorescencias por m² (NINF), Largo de panícula (LP) y Grosor de panícula (GP). †Letras diferentes indican diferencia estadística (Duncan P ≤ 0.05).

El adelanto en floración conlleva a un desfase en las etapas fenológicas de los árboles. En la fenología del aguacate ‘Hass’ Cossio-Vargas *et al.* (2008) indicaron que, para las condiciones climáticas de la zona productora de Nayarit, aun cuando se presentan dos momentos de emisión de brotes reproductivos, solo se registra un momento de antesis al año en el mes de enero, por lo que la cosecha se concentra en los meses de septiembre a noviembre. Los resultados de la presente investigación indican que al efectuarse el anillado el 15 de agosto se induce una floración temprana (noviembre) y se provoca un adelanto también de la etapa fenológica de fructificación, esto permite adelantar la cosecha al mes de mayo.

3.4 Número de inflorescencias por m² de dosel

La cantidad de inflorescencias emitidas por los árboles sin anillar superaron estadísticamente a las demás fechas en que se realizó la práctica (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Espíndola *et al.* (2008), quienes reportaron 16 brotes reproductivos por m² en árboles sin anillar. El anillado realizado el 15 de agosto ocasionó que los árboles emitieran solo 47% de inflorescencias en comparación con la cantidad de brotes que se reporta que emite el aguacate 'Hass', en este sentido el anillado induce la emisión de brotes reproductivos; sin embargo, no se da en la totalidad de la copa, sino que se logró de manera parcial, puesto que los árboles volvieron a emitir brotes florales en su periodo normal (enero-marzo), en las ramas que no tenían floración; la inducción parcial de la floración representa una ventaja para la producción en sistema de temporal ya que se logró llevar de manera exitosa dicha floración, lo cual no se logra si se tiene floración total, por la demanda de agua que representa el que toda la copa tenga floración. En otros cultivos se ha reportado incremento de floración por efecto del anillado, como el litchi (Kumar *et al.*, 2017) en donde se incrementó 50% la floración o el mango (Hartinee *et al.*, 2014) que se incrementó significativamente la cantidad de panículas; pero en estos casos la floración se dio al mismo tiempo tanto en árboles anillados y sin anillar.

3.5 Largo y grosor de panícula en etapa de antesis

La menor longitud de panícula se registró en los árboles que se anillaron el 15 de agosto, mientras que en las otras fechas y los árboles testigo fueron iguales

(Cuadro 2). En el grosor de panícula no hubo efecto de los tratamientos (Cuadro 2). Esta respuesta se puede considerar como una ventaja más de la práctica de anillado, ya que como Huang y Chen (2014) lo indican, el hecho de que los árboles desarrollen panículas largas trae como consecuencia un desgaste nutricional debido a que agota las reservas de carbohidratos en los tallos. El largo de panícula en los demás tratamientos es similar a lo que reportan Villalva-Morales *et al.* (2015).

Para el grosor de panícula es indistinto el tiempo en que se realice el anillado ya que, en todas las fechas manejadas en este estudio, el grosor obtenido comprende un grupo con igualdad estadística (Cuadro 2).

3.6 Producción de fruto por árbol (kg)

La cosecha se realizó el 20 de mayo, el tratamiento con anillado del 15 de agosto fue el de mayor producción de fruto por árbol (21.4 kg) en la fecha o temporada deseada de cosecha (Figura 2). Desfasar la producción de fruto puede representar un ingreso importante para el productor, ya que el precio que alcanza en la temporada fuera de su época normal en que se cosecha puede incrementarse hasta 600% al que usualmente se obtiene, cuando se cosecha en los meses de septiembre a noviembre.

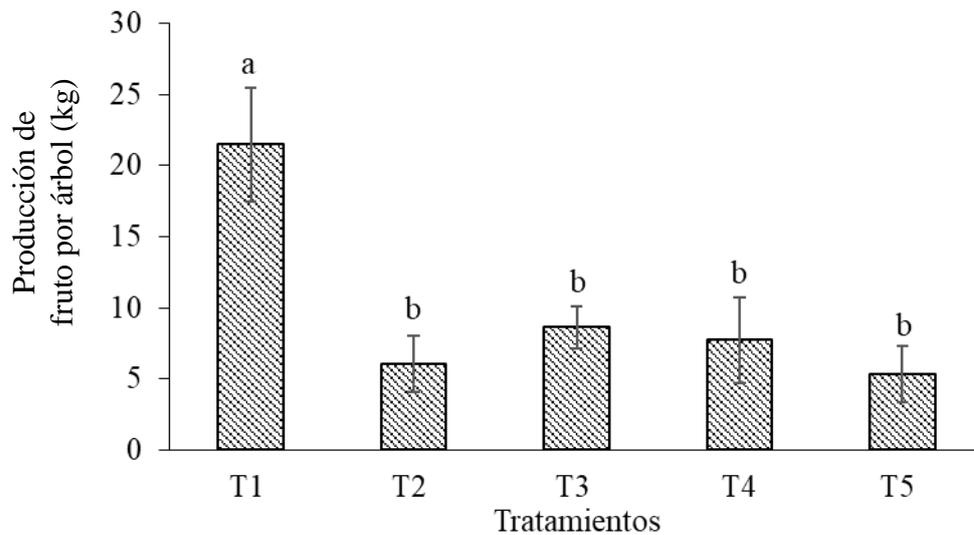


Figura 2. Producción de fruto de aguacate ‘Hass’ por efecto de fecha de anillado, en la zona productora del municipio de Tepic, Nayarit. Letras diferentes indican diferencia estadística.

La producción de frutos en la temporada de cosecha deseada (mayo) fue posible obtenerla mediante T1, aunque la cantidad de fruto que produjeron los árboles en T1 fue significativamente menor a lo que producen de manera normal, esto puede ser compensado con el alto precio que alcanza el producto en este mes en la zona. No es recomendable anillar un porcentaje mayor de ramas debido a que puede existir un desabasto nutrimental en el sistema radicular, y se incrementa el grado de estrés en los árboles y puede provocar su muerte (Davie *et al.*, 1995). El 90% de la superficie establecida con aguacate ‘Hass’ en el estado de Nayarit no cuenta con riego (SIAP, 2018), por lo que, una mayor emisión de brotes reproductivos no es conveniente, ya que implica mayor necesidad de agua (Holzapfel *et al.*, 2017), además de que en esta etapa fenológica se incrementa el uso consuntivo del cultivo (Sánchez-Tienda, 1999) y en estas condiciones se

afectaría la producción.

3.7 Materia seca en mesocarpio

Los frutos que alcanzaron en promedio el porcentaje mínimo indicado para aguacate 'Hass' de materia seca (MS) en mesocarpio (21.5%) fueron los obtenidos de los árboles anillados el 15 de agosto (23.8% de MS), aun cuando la MS de los frutos producidos de esta fecha son iguales estadísticamente a los obtenidos el 15 de septiembre, la materia seca en mesocarpio de estos últimos es menor al valor mínimo indicado (21.01%). El resto de los frutos obtenidos de árboles anillados en las demás fechas registraron valores inferiores al 21.0% (Figura 3).

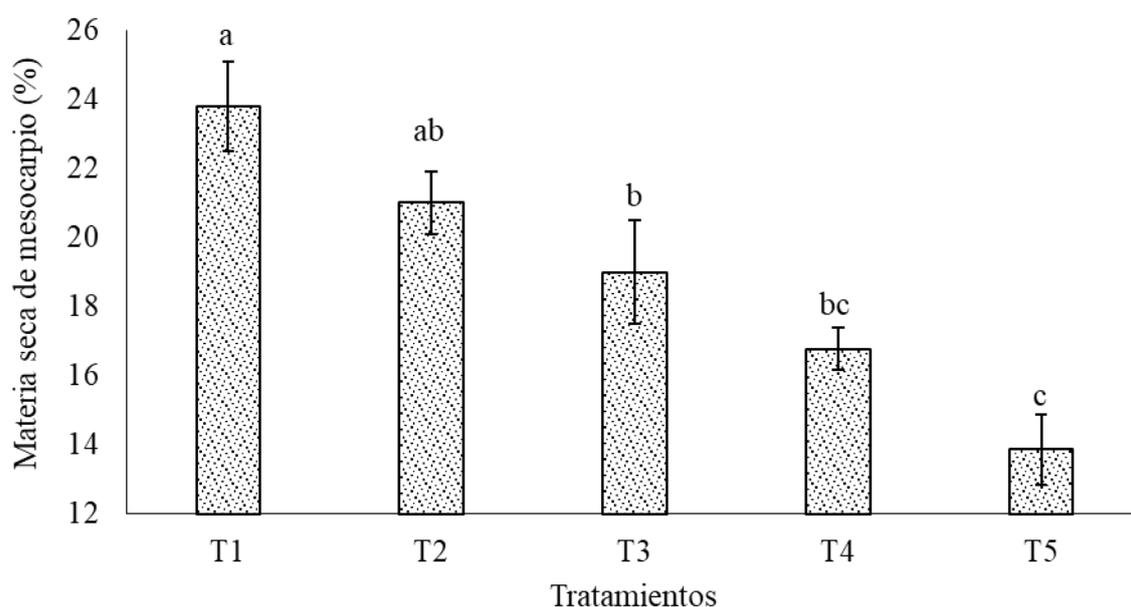


Figura 3. Contenido de materia seca en mesocarpio de frutos de aguacate 'Hass' por efecto de fechas de anillado, en la zona productora del municipio de Tepic, Nayarit.

El tiempo requerido para la acumulación de MS en el mesocarpio de los frutos fue de seis meses después de floración un lapso de tiempo menor a los 10 meses como reportan Herrera-González *et al.* (2017) para la zona productora de Uruapan, Michoacán, México. Lo anterior puede ser debido a las características ambientales que predominan en cada región, ya que la zona de Nayarit es más cálida-húmeda que la del estado de Michoacán. En este sentido, los árboles anillados a mediados del mes de agosto, permitieron adelantar considerablemente la época de cosecha del aguacate 'Hass' al mes de mayo, en las condiciones climatológicas que prevalecen en el municipio de Tepic. Esto resulta ventajoso para los productores del estado de Nayarit, debido a que la producción de fruto que se puede obtener de manera desfasada representa el 50% de lo que se puede obtener en los meses de septiembre a noviembre, y la cosecha se realiza en el momento en el cual la oferta de fruto en el mercado nacional es escasa.

IV. CONCLUSIONES

En las condiciones climáticas del sitio de estudio, el anillado de ramas que se realizó el 15 de agosto, adelantó la época de cosecha del aguacate al mes de mayo, esto favorece significativamente la economía del productor, ya que en este mes el producto alcanza el valor económico más elevado en la zona de producción Tepic-Xalisco, en Nayarit.

V. LITERATURA CITADA

- Alejo-Santiago, G., Luna-Esquivel, G., Salcedo-Pérez, E., Sánchez-Hernández, R., y Aburto-González, C. A. 2015. Dinámica de crecimiento y extracción nutrimental del fruto de litchi (*Litchi chinensis* sonn) cv. Brewster. Ecosistemas y Recursos Agropecuarios, 2(4) ,1-12.
- Aburto-González, C. A., G. Alejo-Santiago, L. G. Ramírez-Guerrero y R. Sánchez-Hernández. 2017. Concentración foliar de macronutrientes en diferentes etapas fenológicas del litchi cv. Brewster. Interciencia. 42 (7): 441 - 445.
- Alcántar, G. G. y M. Sandoval-Villa. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 155 p.
- Cossio-Vargas, L. E., S. Salazar-García, I. J. González-Durán y R. Medina-Torres. 2008. Fenología del aguacate 'Hass' en el clima semicálido de Nayarit, México. Revista Chapingo Serie Horticultura, 14(3): 319-324.
- Davie, S. J., C. P. J. Stassen, M. Van der Walt y B. Snijder. 1995. Girdling avocado trees for improved production. South African Avocado Growers' Association Yearbook 18, 51-53.
- Espíndola, B. M de la C., M. R. Cano, A. J. Rodríguez y P. G. Sánchez. 2008. Amarre de fruto en aguacate 'Hass' con aplicación de AG₃, N y anillado. Agricultura Técnica en México, 34 (4): 407-419.
- Flores, V. S. y J. A. Escobedo. 2015. Incremento del tamaño de fruto de palto 'hass' (*Persea americana* Mill.) con aplicaciones de ácido giberélico,

- thidiazuron y anillado de ramas. Actas Proceedings. VIII Congreso Mundial de la Palta. Lima Perú. 284-289.
- FAOSTAT. 2017. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Consultado 22/06/2018.
- García E. 2004. Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Koppen. 5ta Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. 90pp.
- Ghadage, N.J., J. S. Patil, Y. R. Khopade, I. N. Shah and A. S. Hiray. 2017. Effect of time and width of girdling on flowering and yield of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Alphonso. International Journal of Chemical Studies, 5(6): 1580-1583.
- Hartinee, A., A. Zabedah, H. A. Mohd, S. A. Mohd and M. A. M. T. Tengku. 2014. Effects of Girdling Technique on Flowering of Mango cv. Chok Anan. In: Innovative Plant Productivity and Quality. Transactions of the Malaysian Society of plant Physiology, 22: 101-104.
- Herrera-González, J. A., S. Salazar-García, E. H. Martínez-Flores and E. J. Ruiz-García. 2017. Indicadores preliminares de madurez fisiológica y comportamiento postcosecha del fruto de aguacate Méndez. Revista Fitotecnia Mexicana, 40(1): 55-63.
- Holzapfel, E., S. J Alves de, J. Jara and H.C. Guerra. 2017. Responses of avocado production to variation in irrigation levels. Irrigation Science, 205-215.
- Huang, X. M. and B. H. Chen. 2014. Studies on shoot, flower and fruit development in litchi and strategies for improved litchi production. Proc. Fourth IS on Lychee, Longan and other Sapindaceae fruits. Ed. R Cronje. Acta Horticulturae, 127-136.

- Kumar, A., D. S. Pandey, K. R. Patel, K. Srivastava, M. Tripathi and V. Nath. 2017. Effect of girdling on flowering and fruiting of litchi (*Litchi chinensis* Sonn) in subtropics of Bihar. Indian Journal of Agricultural Sciences, 87 (3):397–401.
- Maldonado-Torres, R., E. M. Álvarez-Sánchez, G. Almaguer-Vargas, F. A. Barrientos-Priego y R. García-Mateos. 2007. Estándares nutrimentales para aguacatero 'Hass'. Revista Chapingo Serie Horticultura, 13 (1): 103-108.
- Morales, C. N., Gamboa Z. T. 2010. El aguacate como eje de una estrategia de desarrollo regional en Nayarit. Revista de Geografía Agrícola. 44: 41-45.
- Pattemore, D., Buxton, M. N., Cutting, B. T., McBrydie, H., Goodwin, M., y Dag, A. (2018). Low overnight temperatures associated with a delay in 'hass' avocado (*Persea americana* Mill) female flower opening, leading to nocturnal flowering. Journal of Pollination Ecology, 23.
- Ramírez-Gil, J. G. 2017. Calidad del fruto de aguacate con aplicaciones de ANA, boro, nitrógeno, sacarosa y anillado. Agronomía Mesoamericana, 28: 591-603.
- Rivas, F., E Fornes., M.J. Rodrigo, L. Zacarías and M. Agustí. 2011. Changes in carotenoids and ABA content in citrus leaves in response to girdling. Scientia Horticulturae, 127: 482-487.
- Rocha-Arroyo, J.L., S. Salazar-García y E. A. Bárcenas-Ortega. 2010. Determinación irreversible a la floración del aguacate 'Hass' en Michoacán. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 1(4): 469-478.

- Rocha-Arroyo, J.L., S. Salazar-García., A. E. Bárcenas-Ortega., J. J. L. González-Durán., L. E. Cossio-Vargas. 2011. Fenología del aguacate 'Hass' en Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 2(3): 303-316.
- Salazar-García, S., M. E. Lord and J. C. Lovatt. 1998. Inflorescence and flower development of the 'Hass' avocado (*Persea americana* Mill.) during "On" and "Off" crop years. *Journal of American Society of Horticultural Science*, 123: 537-544.
- Salazar-García, S., M. Ibarra-Estrada, A. Álvarez-Bravo y J. González-Valdivia. 2017. Determinación irreversible a la floración del aguacate 'Méndez' en el sur de Jalisco, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Publicación Especial 19*: 3923-3938.
- Sánchez-Tienda, J. 1999. Uso consuntivo del cultivo aguacate: Metodología Blaney y Criddle modificada relacionando fenología y precipitación. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5: 201-207.
- SIAP. 2018. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Sistema de Información Agropecuaria. SIACON. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> Fecha de consulta: 28 noviembre 2018.
- Singh, D., S. W. Dhillon, P. N. Singh and S. P. P. Gill. 2015. Effect of girdling on leaf nutrient levels in pear cultivars Patharnakh and Punjab Beauty. *Indian Journal of Horticulture*, 72(3): 319-324.
- Vázquez, A. J. M. P.; González, E. A. y Espinoza, A. J. J. 2009. Diseño y evaluación ex ante de política agrícola. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). Instituto

Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP),
Campo Experimental Zacatepec. Libro científico Núm. 1. 160 p

Vemos, S. N. 2005. Effects of shoot girdling on bud abscission, carbohydrate and nutrient concentrations in pistachio (*Pistacia vera* L.). Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 80(5): 529-536.

Villalva-Morales, A., A. Damían-Nava, A. V. González-Hernández, O. Talavera-Mendoza, E. Hernández-Castro, F. Palemón-Alberto, G. Díaz-Villaseñor y H. Sotelo-Nava. 2015. Nutrición química y orgánica en aguacate 'Hass' en Filo de Caballos, Guerrero, México. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, Pub. Esp. 11: 2169-2176.

CAPÍTULO II. FRACCIONAMIENTO DE LA DOSIS DE FERTILIZACIÓN SOBRE LA NUTRICIÓN FOLIAR, RENDIMIENTO Y CALIDAD DEL AGUACATE 'HASS'

2.1 RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto del fraccionamiento de la dosis de fertilización, sobre la concentración nutrimental foliar en diferentes etapas fenológicas del cultivo, el rendimiento y la calidad del fruto del aguacate 'Hass'. Se calculó una dosis de fertilización, la cual fue suministrada en un solo evento (tratamiento 1), y fraccionada en dos, tres y cuatro aplicaciones (tratamientos 2, 3 y 4 respectivamente) y se consideró un tratamiento sin fertilización como testigo (tratamiento 5). El diseño experimental fue de bloques completos al azar, con 10 repeticiones. Se evaluó el volumen de copa y concentración foliar de macronutrientes durante las etapas: vegetativa, floración, fructificación y postcosecha; al momento de la cosecha, se determinó el rendimiento agronómico, sólidos solubles totales y dimensiones del fruto. Los resultados indican que los valores más bajos de las variables evaluadas se registraron en el tratamiento control, la fertilización sin fraccionar incrementó los niveles de macronutrientes durante todas las etapas fenológicas del cultivo, aunque el volumen de copa, rendimiento agronómico y la calidad del fruto no se vio favorecido. Los tratamientos de la fertilización fraccionada, expresaron mayor rendimiento y calidad de fruto, en ninguna de las etapas fenológicas evaluadas se reflejó un incremento en la concentración foliar de macronutrientes, lo que se interpreta como una mayor tasa de exportación de nutrimentos durante la cosecha. Se concluye que el fraccionamiento de la dosis en cuatro aplicaciones

mejora el rendimiento agronómico, tamaño y calidad de los frutos en el cultivo de aguacate 'Hass'.

2.2 ABSTRACT

The aim of the research was to evaluate the effect of the split of fertilization dose on nutritional concentration at different phenological stages, the yield and quality of the fruit of the Hass 'avocado. A fertilization dose was calculated, which was supplied in a single event (treatment 1), and splits in two, three and four additions (treatments 2, 3 and 4 respectively) and it was considered a treatment without fertilization. The experimental design was of blocks completely randomized with 10 replicates. The volume of the tree canopy and the concentration of macronutrients in the leaves were evaluated during the vegetative, flowering, fruiting and postharvest stages; during the harvest, the agronomic yield, the total soluble solids and the fruits dimensions were determined. The results indicate that the lowest values of the evaluated variables were registered in the control treatment, fertilization without split increased macronutrient levels during all the phenological stages of the crop, although were not favored canopy volume, agronomic yield and the quality of the fruit. The treatments that involved a certain level of fractionation, expressed a higher yield and fruit quality, no phenological stage evaluated reflected an increase in the macronutrient foliar concentration, which is interpreted as a higher export rate of nutrients during harvest. It is concluded that the split of the dose into four applications improves the agronomic yield, size and quality of the fruits in the Hass' avocado crop.

Key words: *Persea americana* Mill. mineral nutrition, macronutrients, nitrogen, phosphorus

III. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill) tiene un rol importante en la economía de México, debido a que es el producto agrícola que más se exporta (Guerrero-Polanco *et al.* 2018). A nivel nacional los estados con mayor superficie de producción son Michoacán, Jalisco, Nayarit y Guerrero, de estos, Nayarit reportó una superficie establecida de 6,129 ha en el año 2017 (SIAP 2018). De acuerdo con Salazar-García *et al.* (2009), en la zona productora de Nayarit, el potencial productivo de aguacate 'Hass', en condiciones de temporal, fue de 28.19 t ha⁻¹, sin embargo, en la actualidad el rendimiento promedio apenas alcanza las 7.7 t ha⁻¹, para superar este déficit, el manejo adecuado de la nutrición es importante. De acuerdo con Aburto-González *et al.* (2017), durante etapas fenológicas de alta demanda nutrimental, en frutales como el litchi, los árboles sufren desgaste, por lo que particularmente se ha observado una disminución en la concentración del fósforo durante la floración, mientras que la reducción del potasio se acentúa durante la etapa de postcosecha, esto es atribuido a la exportación del nutrimento durante fructificación. En los últimos años, se han encausado esfuerzos para mejorar las prácticas agronómicas que permitan incrementar el rendimiento en los frutales. Benítez-Pardo *et al.* (2003) hacen énfasis, a través de los resultados del análisis foliar en el cultivo de mango y mencionan que es posible correlacionar el contenido nutrimental de toda la planta con su apariencia, metabolismo y crecimiento. Estos estudios auxilian para llevar un programa de fertilización adecuado que permita mejorar y aumentar la producción significativamente. Por otra parte, con la dosificación adecuada de fertilizante disminuirán los riesgos de contaminación de suelos y aguas. De acuerdo con

Stewart *et al.* (2005) y Fixen y García (2007), entre el 30-50% de la productividad de los cultivos es atribuible a la optimización de los nutrientes, ello implica que dicho suministro se realice en las cantidades suficientes y en el momento que las plantas los requieren mayormente. Algunas experiencias obtenidas con el fraccionamiento de las dosis de fertilizantes en frutales han resultado positivas. Vega y Molina (1999) reportaron que el fraccionamiento de la dosis de fertilización de nitrógeno en cinco aplicaciones, junto con una fertilización a base de potasio, en el cultivo de mango, favoreció el rendimiento. Rivera *et al.* (1994) mencionaron que el fraccionamiento de la dosis de fertilización en cuatro momentos en el cultivo de café incrementa la eficiencia de recuperación de los fertilizantes. Entre otras razones, el enfoque del fraccionamiento permite reducir los problemas de contaminación ambiental y pérdidas por la lixiviación de los fertilizantes solubles, particularmente en suelos que presentan altas conductividades eléctricas y bajas o moderada capacidad de intercambio catiónico, además de que dicho fraccionamiento permite un mejor aprovechamiento de nutrimentos con la correspondiente economía del fertilizante (Pacheco *et al.* 1986). De acuerdo con Suniaga *et al.* (2008), algunos enfoques de la fertilización se basan en la tasa de extracción total del cultivo, y queda de lado la necesidad del fraccionamiento de nutrientes. En el cultivo de aguacate la información disponible con respecto al fraccionamiento de la fertilización es escasa, por lo que es necesario generar conocimiento sobre la optimización del suministro nutrimental, para lo cual, se requiere identificar la dinámica en la tasa de extracción de nutrimentos, así como, las etapas fenológicas de mayor demanda. Por lo anterior, en este experimento se evaluó el efecto que tiene el fraccionamiento de la dosis de fertilización, en la

concentración nutrimental foliar del cultivo, producción, y calidad de fruto de aguacate 'Hass'.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Área de estudio

El experimento se realizó en árboles de aguacate 'Hass', establecidos en un huerto ubicado en terrenos del ejido La Fortuna del municipio de Tepic, Nayarit, México, localizada en las coordenadas 21° 33' 40" LN; 104° 56' 48" LO; a una altitud de 800 m, la temperatura promedio anual es de 21° C y la precipitación anual es de 1289 mm (García, 2004).

4.2 Material Vegetal

El huerto se maneja bajo condiciones de temporal, en el cual los árboles solo presentan una floración durante el año. Se seleccionaron 50 árboles que presentaron alta producción (>1.23 kg de fruta por m³ de volumen de copa).

Muestreo de suelo. En cada unidad experimental se tomaron muestras de suelo, para su análisis físico y químico, y se realizó la estimación de la dosis de fertilización, considerando la extracción nutrimental por fruto y la biomasa, así como la eficiencia productiva del árbol, además del aporte nutrimental del suelo. El muestreo del suelo se realizó a una profundidad de 40 cm a una distancia de 0.7 m de la base del tallo. Con base a la información obtenida, se generó una dosis de fertilización anual, de acuerdo con el método racional de fertilización.

Generación de la dosis de fertilización. La dosis de fertilización anual por árbol, se estimó con la siguiente ecuación:

$$DF = (Dem - Sum) / ERF;$$

Donde DF= Dosis de fertilizante en gramos por árbol; Dem= Demanda nutrimental; Sum= Suministro de nutrimento por el suelo; ERF= Eficiencia de recuperación de fertilizante.

Estimación de dosis de N: Se realizó fijando una meta de producción por árbol de 108 kg. La extracción de N se consideró de acuerdo a lo reportado por Maldonado-Torres *et al.* (2007), que es de 2.73 kg de N por tonelada de fruto, así como, una producción de materia seca por material susceptible de poda de 30 kg año⁻¹, con una concentración de N de 0.66 %. El suministro se estimó a partir del contenido de materia orgánica del suelo, el cual reportó 2.04 % de materia orgánica, con una tasa de mineralización anual del 2.0 % y contenido de N en Materia Orgánica de 5 % y una exploración de 1.5 Mg de suelo, el cual resulta al considerar un radio de exploración de 1 m, la profundidad de 0.40 m y la densidad aparente del suelo de 1.2 Mg m⁻³. La eficiencia de recuperación de fertilizante nitrogenado (ERFN) considerada fue de 60 %. Por lo tanto, la dosis de N anual fue de 1154 g árbol⁻¹.

Estimación de dosis de P: Se estimó considerando la extracción nutrimental por fruto que mencionan Maldonado-Torres *et al.* (2007), de 0.31 kg de P por tonelada de fruto, al igual que para N, a este valor se sumó la extracción nutrimental por material vegetativo diferente de fruto, partiendo de una concentración de P de 0.15 %. El suministro se calculó considerando la cantidad de suelo explorado, la concentración de P en el suelo, reportado en el análisis de suelo (7.7 mg kg⁻¹). El valor de eficiencia de recuperación de fertilizante

fosfatado que se utilizó fue de 30 %. Las consideraciones anteriores resultaron en una dosis anual de P_2O_5 por árbol de 710 g.

Estimación de dosis de K: La demanda se estimó con la extracción nutrimental que reportan Maldonado-Torres *et al.* (2007) de 3.32 kg de K por tonelada de fruto y la extracción nutrimental por material vegetativo de 1.01 %. El suministro se calculó considerando la cantidad de suelo explorado y el resultado de K intercambiable que reportó el análisis de suelo (662 g kg^{-1}). La eficiencia de recuperación utilizada fue 70 %. La operación de cálculo de dosis presentó al potasio disponible en el suelo en cantidad suficiente, lo que indica que el suelo es capaz de proveer la cantidad de nutrimento que requiere el árbol para la meta de producción establecida.

Tratamientos. La dosis de fertilización anual por árbol, se manejó con cinco tratamientos (Cuadro 3), los cuales se comenzaron a aplicar una vez que inició el temporal de lluvias (15 de julio) hasta el 15 de octubre.

Cuadro 3. Tratamientos evaluados en la investigación

Tratamiento	N	P ₂ O ₅	No. de aplicaciones	Fechas de aplicación ciclo 2017
	----g árbol ⁻¹ ----			
1	1154	710	1	15 de julio
2	577	355	2	15 de julio y 15 de agosto
3	384	236	3	15 de julio, 15 de agosto y 15 de septiembre
4	288	177	4	15 de julio, 15 de agosto, 15 de septiembre y 15 de octubre
5 Testigo	0	0	0	Sin aplicación

Fuentes de fertilización: Nitrógeno (Urea), Fósforo (Fosfato mono amónico).

4.3 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar con cinco tratamientos y diez repeticiones considerando un árbol por repetición.

4.4 Variables

4.4.1 Concentración nutrimental foliar de N, P, K, Ca y Mg (%): Se realizaron muestreos foliares en etapa vegetativa, floración, fructificación y posterior a los 10 días de la cosecha, para ello se tomaron 20 hojas de cada árbol, cinco de cada punto cardinal (Guerrero-Polanco *et al.* 2018), se sometieron a secado en una estufa de aire forzado a 60 °C, durante 48 horas; hasta obtener un peso constante, posteriormente se sometieron a una digestión húmeda para determinar los contenidos de N, P, K Ca y Mg, dicha digestión se obtiene a partir de una mezcla de ácido nítrico y ácido perclórico en proporción 2:1 (Alcántar y Sandoval, 1999).

4.4.2 Volumen de copa: en etapa vegetativa, inicio de fructificación y postcosecha se consideró la altura desde la superficie del suelo hasta la cima del árbol con un estadal retractable. El diámetro de copa se calculó en las direcciones N-S y E-O considerando el límite del dosel vegetal. Con la siguiente fórmula:

$$VC = 2.09 (H) (r^2)$$

Donde

VC= Volumen de copa

H= altura del árbol

r= radio del árbol (Medina *et al.*, 2007).

4.4.3 Producción de fruto por árbol (kg): Cuando los frutos tuvieron 22 % de materia seca se realizó la cosecha, se registró el peso de frutos por árbol, en una báscula digital marca TORREY®.

4.4.4 Diámetro polar de fruto (mm): En cuatro frutos al azar, de cada repetición, se midió con un vernier digital Truper® Science Pro 1001309 vernier Digital DESS 6"x0.0005").

4.4.5 Diámetro ecuatorial de fruto (mm): En cuatro frutos al azar, de cada repetición, se midió con un vernier digital Truper® Science Pro 1001309 vernier Digital DESS 6"x0.0005").

4.4.6 Sólidos solubles totales (°Brix): Se tomaron dos frutos de cada repetición y se tomó parte de la pulpa en frutos cosechados en estado de madurez fisiológica y se molieron en una licuadora y se colocó en una malla de tela para extraer las gotas y colocarlas en el refractómetro HI96801 para su lectura.

4.5 Análisis Estadístico

Para el análisis de resultados se realizó un análisis de varianza, así mismo, para todos los casos la prueba de Duncan ($\alpha \leq 0.05$) y se utilizó el paquete estadístico SAS año 2009 (Statistical Analysis System).

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Concentración nutrimental foliar N, P, K, Ca y Mg (%)

En el Cuadro 4 se presentan las concentraciones nutrimentales foliares por tratamientos que fueron evaluados en las etapas vegetativa, floración, fructificación y postcosecha. En el N en los tratamientos 3, 4 y 5, se observa un incremento durante la etapa vegetativa, así como, una disminución durante la etapa de floración, fructificación y postcosecha, en dichas etapas fenológicas todos los tratamientos presentaron contenidos de N similares estadísticamente, los tratamientos 1 y 2 sobresalieron como los dos que registraron los mayores contenidos de N durante la etapa vegetativa. La concentración más alta de N fue de 2.28% en la etapa vegetativa, dicho porcentaje se obtuvo en el tratamiento 1. El crecimiento y desarrollo óptimo de los árboles frutales y calidad del fruto que producen depende de los factores de manejo, entre ellos la nutrición, la nutrición del árbol está estrechamente relacionada con la disponibilidad de nutrientes en el suelo, la cual está determinada por la fertilidad nativa del suelo y la fertilización que se aplique. Aunque la mayoría de los frutales utilizan cantidades pequeñas de nutrimentos, con excepción de N, P y K, la escasez de alguno de ellos puede afectar su ciclo biológico y rendimiento (Faust, 1989). En terrenos planos y con pendiente moderada, la variación de los nutrientes disponibles en el suelo es menor, en comparación con aquellos con pendiente pronunciada (>20%), donde el suelo está sujeto a fuerte erosión hídrica (Santiago-Mejía *et al.*, 2008).

El contenido de fósforo foliar fue estadísticamente igual entre tratamientos en la etapa vegetativa, así como en la etapa de fructificación y postcosecha. Solamente se observaron diferencias entre tratamientos en la etapa de floración.

El potasio presentó diferencias significativas solamente en la postcosecha, los mayores contenidos de este elemento se presentaron en la etapa vegetativa y en fructificación. El tratamiento que presentó la concentración más baja de potasio fue el testigo. Por su parte, el Ca no presentó diferencias significativas entre tratamientos en ninguna de las etapas evaluadas, la mayor concentración de este elemento se registró en la etapa de floración. El magnesio no se diferenció estadísticamente en las etapas vegetativa, floración y fructificación, en la etapa de postcosecha se observó que el contenido de magnesio en el tratamiento 1 fue más alto que el tratamiento 3, pero similar a los demás tratamientos.

Cuadro 4. Concentración nutrimental foliar por efecto de los tratamientos en aguacate ‘Hass’ en diferentes etapas de muestreo.

Nutrimento (%)	Etapa	Tratamiento					Pr>F	C.V. (%)	μ Gral.
		1	2	3	4	5			
N	VG	2.28±0.55a	1.94±0.44ab	1.26±0.38b	1.49±0.34b	1.54±0.17ab	0.06 ^{ns}	23.06	1.70
	FL	1.51±0.12a	1.46±0.37a	1.60±0.32a	1.68±0.28a	1.30±0.43a	0.66 ^{ns}	21.12	1.51
	FR	1.62±0.21a	1.51±0.19a	1.34±0.16a	1.43±0.21a	1.55±0.19a	0.49 ^{ns}	13.16	1.49
	PC	1.57±0.03a	1.40±0.11a	1.42±0.14a	1.53±0.12a	1.48±0.16a	0.44 ^{ns}	8.19	1.48
P	VG	0.12±0.03a	0.12±0.02a	0.09±0.01a	0.12±0.01a	0.10±0.00a	0.14 ^{ns}	15.46	0.11
	FL	0.15±0.02a	0.11±0.01b	0.16±0.03a	0.14±0.01ab	0.11±0.01b	0.01 ^{**}	13.55	0.13
	FR	0.15±0.02a	0.14±0.02a	0.13±0.01a	0.13±0.04a	0.14±0.03a	0.88 ^{ns}	18.44	0.14
	PC	0.12±0.02a	0.13±0.03a	0.12±0.02a	0.12±0.01a	0.18±0.13a	0.62 ^{ns}	13.79	0.13
K	VG	0.85±0.17a	0.81±0.14a	0.74±0.08a	0.85±0.20a	0.79±0.17a	0.76 ^{ns}	12.79	1.41
	FL	0.88±0.02a	1.01±0.01a	1.05±0.03a	1.07±0.01a	1.05±0.01a	0.72 ^{ns}	20.3	0.98
	FR	1.00±0.15a	1.33±0.14a	1.23±0.23a	1.29±0.10a	1.25±0.24a	0.30 ^{ns}	14.71	1.22
	PC	0.88±0.04ab	0.90±0.10ab	1.07±0.10a	0.74±0.20bc	0.61±0.04c	0.005 ^{**}	13.21	0.84
Ca	VG	1.49±0.11a	1.27±0.28a	1.49±0.17a	1.49±0.39a	1.34±0.19a	0.74 ^{ns}	17.77	1.41
	FL	1.46±0.11a	2.09±0.79a	1.49±0.28a	1.64±0.17a	1.79±0.30a	0.31 ^{ns}	24.19	1.68
	FR	1.31±0.36a	1.04±0.17a	1.01±0.19a	1.12±0.22a	1.01±0.11a	0.48 ^{ns}	20.58	1.10
	PC	1.46±0.11a	1.38±0.17a	1.27±0.13a	1.42±0.28a	1.38±0.13a	0.76 ^{ns}	12.79	1.38
Mg	VG	0.25±0.02a	0.27±0.04a	0.24±0.02a	0.24±0.01a	0.25±0.04a	0.79 ^{ns}	12.49	0.25
	FL	0.25±0.03a	0.22±0.04a	0.22±0.05a	0.23±0.06a	0.20±0.03a	0.79 ^{ns}	18.89	0.22
	FR	0.18±0.02a	0.15±0.03a	0.15±0.01a	0.19±0.00a	0.18±0.02a	0.13 ^{ns}	12.66	0.17
	PC	0.22±0.01a	0.18±0.01ab	0.15±0.04b	0.19±0.04ab	0.18±0.01ab	0.09 ^{ns}	12.66	0.18

Abreviaturas: VG= Vegetativa, FL=Floración, FR= Fructificación, PC=Postcosecha. NS = Diferencia estadística no significativa; μ gral = Media general. CV (%) = Coeficiente de variación.

El incremento de nitrógeno observado durante la etapa vegetativa, demuestra la importancia que este nutrimento tiene en la conformación de nuevos tejidos, según Pilbean (2018), las plantas requieren nitrógeno para el crecimiento de nuevos brotes, mejorar la relación raíz-brote, aunque detienen el crecimiento de

las hojas, ya que este elemento se asigna más a las hojas superiores, donde hay un mayor requerimiento de enzimas fotosintéticas y clorofila, particularmente la absorción durante una temporada de crecimiento está regulada por la demanda de la planta. La rápida adquisición de nitrógeno por los árboles se pudo constatar en todos los tratamientos que recibieron la dosis de fertilización, por lo que el suministro de este macronutriente se vio reflejado en la etapa vegetativa, por ser esta la etapa inmediata posterior a la aplicación del fertilizante, posteriormente, los contenidos de nitrógeno descendieron hasta registrar los niveles más bajos durante las etapas de fructificación y postcosecha, esto se interpreta como resultado de la exportación de N durante la cosecha de los frutos, ya que un rendimiento de 30 t ha⁻¹ de aguacate remueven aproximadamente 120, 25 y 240 kg ha⁻¹ de N, P y K respectivamente (Silver *et al.* 2018). Al respecto, Granja y Covarrubias (2018) reportaron incrementos en la concentración de N foliar a los 60 días después de la fertilización en el cultivo del aguacate 'Hass'. De acuerdo con Vega y Molina (1999), el nivel del nitrógeno en el follaje está relacionado con la movilidad del elemento en la planta, y si no se aplica la dosis de fertilización necesaria el árbol puede tener niveles de deficiencia nutrimental. Según Maldonado *et al.* (2007), el manejo de la fertilización nitrogenada representa un desafío, debido a la dinámica que posee el elemento, básicamente el interés radica en determinar la mejor manera de fraccionarlo en condiciones de agricultura de temporal, que permita disminuir el daño ambiental provocado por una aplicación excesiva, a la vez de elevar la concentración nutrimental del elemento a un nivel de 2.28 % aproximadamente, considerado como óptimo para el cultivo del aguacate. De acuerdo a los resultados obtenidos en la

investigación, dichos niveles solo se registraron en el tratamiento 1 que corresponde a la dosis sin fraccionar.

El fósforo, después del nitrógeno es el elemento más crítico para la producción agropecuaria, su disponibilidad es cada vez es más limitada debido a la progresiva insuficiencia de sus fuentes actuales, su relativa escases edáfica, elevada retención por parte de la matriz del suelo, la falta de reposición natural comparada con la de otros nutrientes (Rubio, 2002). El fósforo es uno de los nutrientes limitantes en el suelo, debido a su baja disponibilidad y por presentar una baja tasa de movilidad entre los macro nutrientes (Souchie *et al.* 2006). La absorción de fósforo en las plantas se realiza a través de iones di ácido o mono ácido del sustrato, debido a la baja solubilidad de los compuestos fosfatados, se presenta una tendencia de desplazamiento del equilibrio hacia la fase sólida, por lo que la concentración de fósforo en solución en un tiempo específico puede llegar a ser muy baja (0.02 a 0.1 mg L^{-1}) (Chesworth 2008). Estas características han propiciado que las plantas desarrollen mecanismos fisiológicos (acumulación de carbohidratos en la raíz) y bioquímicos (exudados radiculares) para aumentar la adquisición de nutrientes, de fosforo. Existe una gran demanda del fósforo sobre todo al inicio de floración ya que es cuando el árbol requiere mayor cantidad de este nutrimento, como lo indican Aburto *et al.* (2017), esto se puede deber a la alta movilidad que posee el elemento dentro de la planta (White 2012), lo cual permite su desplazamiento hacia las zonas de demanda. Por otro lado, Banerjee *et al* (2010) afirman que la disponibilidad del fósforo es esencial para el crecimiento vegetal. Maldonado *et al.* (2007) indican que el intervalo óptimo de concentración de fósforo en tejido foliar para aguacate varía entre 0.15 - 0.18% , durante el experimento la concentración foliar de fósforo osciló de

manera general entre 0.11-0.14, se observa que los niveles más altos se ubican entre la floración y fructificación, aunque este aumento es muy ligero, ubicándose en apenas 0.13-0.14 %, así mismo, se observa un declive en la concentración del fósforo durante la postcosecha. De acuerdo con Silver *et al.* (2018), la remoción de fósforo por el fruto es baja con respecto a la del nitrógeno y potasio, razón por la cual en algunas zonas productoras, y dependiendo de las concentraciones de fósforo, el suministro de este nutrimento se da durante la estación de crecimiento y cuando se dispone de sistemas de riego, solo basta con suministrar 20-30 kg P ha⁻¹ como ácido fosfórico, el cual además de aportar nutrientes, sirve para limpiar el sistema de riego y prevenir obstrucción de los emisores. Se puede observar que el fraccionamiento del fósforo de la dosis no afecta de manera importante su concentración, por ello, es posible suministrar este macronutriente, en un solo evento. Este elemento es un nutriente que se encuentra concentrado en los tejidos meristemáticos, es fuente primaria de energía vía ATP, forma parte de las coenzimas NAD y NADP y participa activamente en la síntesis de proteínas. Si hay carencia se produce menor crecimiento y menor emisión de nuevos órganos vegetativos, además de provocar hojas con clorosis difusa de tono opaco en las hojas adultas, las cuales evolucionan como manchas necróticas sin patrón definido, la textura de las hojas se tornó coriácea, mientras que el color aunque mantiene verde muy oscuro sin brillo, por lo tanto al no contar con hojas altamente funcionales para mantener un nivel óptimo de fotosíntesis, la producción de los productos derivados de esta función fisiológica se reducen, afectando con ello, tanto la floración, cuajado y llenado de frutos (Ramírez-Gil 2017). En las plantas, este nutrimento se requiere para la formación de ácidos nucleicos, fosfatos de azúcares y membranas,

síntesis de proteínas y formación del nuevo protoplasma, por lo que es necesario un adecuado abastecimiento de este elemento en el suelo (Condrón y Tiessen 2005).

El potasio es un elemento que contribuye a mantener la presión de turgencia de las células debido a que interviene en el potencial osmótico, su alta movilidad le permite su transporte de célula a célula, de tejido viejo a tejido nuevo o a los órganos de almacenamiento (Marschner, 1995). Al respecto, Benítez-Pardo *et al.* (2003) indica que la aplicación fraccionada de este elemento contribuye a mantener un nivel óptimo después de cosecha, etapa en la que disminuye la concentración en las hojas. La fertilización balanceada del potasio en los cultivos se ha discutido ampliamente, buscando siempre los niveles nutricionales óptimos, sin embargo, los resultados específicos de una investigación no se puedan extrapolar a todos los cultivos, inclusive entre variedades o cultivares de una misma especie se encuentran diferencias en los requerimientos, más aún entre regiones climáticas y suelos (Lazcano-Ferrat, 2006). Aunque en los tratamientos que se evaluaron en este trabajo no se incluyó potasio, debido a que la fertilidad nativa del suelo abastecía con suficiencia la demanda del cultivo, se pudo observar que el fraccionamiento de la dosis tuvo un efecto sobre la concentración foliar de potasio.

El calcio es de gran importancia en las plantas para obtener frutos de buena apariencia. En el cultivo del banano, la deficiencia de calcio durante las fases de diferenciación floral y desarrollo de los frutos induce la aparición de un desorden fisiológico que se identifica en los frutos por un bronceado pardo claro a rojizo, cuya presencia es castigada en el momento de la selección de los frutos para la

exportación es por ello la importancia de una buena asimilación de este elemento (Díaz *et al.* 2007). Por su parte, el calcio no es un elemento móvil dentro de la planta lo cual depende de su transpiración lo que indica que en días nublados no hay una absorción adecuada de dicho elemento; por su parte en esta investigación el calcio se mantuvo estable en la etapa vegetativa, fructificación y postcosecha y su mayor concentración se registró en la etapa de floración esto puede atribuirse que en esta etapa posiblemente hubo menor humedad relativa; de acuerdo con Cooman *et al.*, (2005). Una deficiencia de calcio también se hace presente mostrando rajaduras en los frutos, esto debido a la disponibilidad del elemento; pero también se debe tener en cuenta que la humedad del suelo también influye en la absorción de los elementos por parte de la planta. La importancia del magnesio, es un elemento secundario que requieren las plantas para crecer vigorosamente, y es esencial para el crecimiento óptimo de la planta, pero se necesitan en menor cantidad que los primarios. Roos (2004) menciona que el magnesio intercambiable, que generalmente llega hasta el 5% del magnesio total, es absorbido por superficies de minerales de arcilla y materia orgánica, y por lo tanto fácilmente liberado por otros cationes como K^+ y Ca^{2+} , la liberación de magnesio por esta fracción generalmente es muy lenta e insuficiente para suplir la demanda de cultivos. Esto mencionado por este autor coincide con los resultados obtenidos en esta investigación ya que no hubo significancia de este elemento, solo fue mayor contenido de magnesio en la etapa vegetativa, lo cual se presentó una disminución en la etapa de la floración y ya se quedó estable hasta fructificación y la postcosecha.

5.2 Volumen de copa (m³) de dosel

En el Cuadro 5 se presentan los incrementos en la biomasa foliar evaluado mediante el volumen de copa según las etapas fenológicas. No se encontraron diferencias significativas para la variable volumen de copa en ninguno de los tratamientos, de manera general se visualiza un incremento del volumen de copa desde la etapa vegetativa hasta la etapa de postcosecha.

Cuadro 5. Volumen de copa (m³) según la etapa fenológica de aguacate ‘Hass’ evaluado durante la aplicación fraccionada de fertilizante.

Tratamiento	No. de aplicaciones	Vegetativa	Floración	Fructificación	Postcosecha
1	1	54.0±15.3 a	66.3±19.6 a	75.5±18.5 a	98.5±30.4 a
2	2	50.7±16.3 a	61.9±18.0 a	69.9±17.7 a	86.1±20.8 a
3	3	54.4±9.8 a	65.1±10.8 a	75.7±14.7 a	93.9±25.5 a
4	4	48.9±9.2 a	62.6±13.6 a	70.9±15.7 a	80.9±13.4 a
5	0	53.7±19.3 a	63.7±20.6 a	69.8±20.7 a	82.1±26.5 a
Pr>F		0.89 ^{ns}	0.97 ^{ns}	0.88 ^{ns}	0.41 ^{ns}
C.V. (%)		27.74	26.49	24.28	27.22
μ Gral (m ³)		52.33	63.92	72.26	88.30

NS = Diferencia estadística no significativa; C.V. = Coeficiente de variación; μ Gral = media

general

5.3 Producción de fruto por árbol (kg)

Por su parte, en el Cuadro 6 se presentan las variables que determinan la producción de frutos, se pueden observar diferencias altamente significativas para la variable producción de fruto por árbol (kg).

El tratamiento 4 tuvo mayor producción con un rendimiento de 76.66 kg, mientras que el tratamiento 5 fue el de rendimiento más bajo con 15.71 kg.

El rendimiento obtenido en este trabajo es aproximado con lo reportado por Guerrero-Polanco *et al.* (2018) quienes obtuvieron 83 kg de fruto por árbol. En el tratamiento 4 la dosis de fertilización se realizó en cuatro partes; al respecto, Rivera *et al.* (1994) argumentan que fraccionar una dosis de fertilización a cuatro momentos, incrementan los rendimientos en comparación con una sola aplicación (Cuadro 6), Lazcano-Ferrat, (2006) considera que cultivos de alto potencial de rendimiento, bien fertilizados producen sistemas radiculares vigorosos que tienen la capacidad de explorar un mayor volumen de suelo, siendo mucho más eficientes en la absorción de nutrientes y se mejoran las características físicas y biológicas de la zona.

5.4 Diámetro polar y ecuatorial de fruto (mm)

Tanto el diámetro polar como ecuatorial del fruto no se diferenciaron estadísticamente entre tratamientos.

El diámetro polar y ecuatorial obtenido con el tratamiento 4 fue de 89.06 mm y 61.43 mm respectivamente, estos resultados coinciden con los reportados por

Acosta *et al.* (2013) quienes mencionan que 89 mm de diámetro polar y 61 mm de diámetro ecuatorial son representativos en el tamaño del fruto de aguacate 'Hass' (Cuadro 6).

La importancia de una fertilización aplicada en el momento apropiado y en las cantidades adecuadas, se ve reflejada en productos de mayor calidad de exportación, lo cual resalta Lazcano-Ferrat, (2006) quien argumenta que la calidad de los vegetales y frutas con estándar de excelencia, conlleva a que sean frutos de buena apariencia, como el color, la forma, las dimensiones, la textura, el peso, la composición química y la vida de anaquel.

5.5 Sólidos solubles totales (°Brix) en cosecha

El contenido de sólidos solubles totales (°Brix), se detectaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos, los frutos del tratamiento 4 presentaron un mayor contenido de SST con respecto a los demás tratamientos, en el tratamiento testigo, los frutos presentaron el valor más bajo de esta variable.

Para grados °Brix en cosecha es muy escasa la información que se tiene acerca del contenido de sólidos solubles totales en aguacate; sin embargo, dada la importancia acerca de los parámetros de calidad, se menciona que el aumento progresivo de los grados °Brix en el proceso de maduración se debe a que el fruto presenta menor cantidad de agua y mayor concentración de azúcares originado por su carácter climatérico, el aguacate presenta una elevada tasa de producción de etileno al inicio del proceso de maduración que se asocia con una pronta madurez del fruto en el tratamiento 4, el cual presentó 7.23 de sólidos solubles totales (°Brix), un valor por encima de lo reportado por Buelvas, Patiño

y Cano (2013) quienes mencionan un valor de 6.1 en grados °Brix. Los frutos con el tratamiento testigo (sin fertilización) tuvieron un valor de 5.6 en sólidos solubles totales.

En México no hay suficiente información sobre la calidad en cosecha y postcosecha del fruto (Rodríguez y Henao 2016). Adicionalmente, no se tienen estándares adaptados a las características fisicoquímicas del producto, lo cual dificulta tener criterios objetivos de calidad al momento de llevar a cabo pruebas de inspección en procesos postcosecha o de transformación agroindustrial de los frutos. Vinha *et al.* (2013) refieren que parámetros fisicoquímicos del fruto, como la acidez y el contenido de sólidos solubles, son indicadores de importancia en la calidad, los cuales pueden estar asociados con el índice de madurez.

Gordillo *et al.* (2004) también asocia la importancia del calcio en la planta ya que los daños en los frutos durante el almacenamiento o cualquier otra fase postcosecha, puede ocurrir en frutos con bajo nivel de calcio. La disponibilidad de este elemento ha sido reportado por varios autores como importante para prevención de daños en los frutos.

Cuadro 6. Producción de fruto por árbol, tamaños del fruto y sólidos solubles totales en frutos cosechados de aguacate 'Hass'.

Tratamiento	Producción de fruto (kg/árbol)	Diámetro del fruto (mm)		SST (°Brix)
		Polar	Ecuatorial	
1	25.71 b	85.27a	60.03a	6.76ab
2	25.00 b	80.15a	56.78a	6.00bc
3	27.14b	87.00a	58.23a	6.46abc
4	76.66 a	89.06a	61.43a	7.23a
5	15.71 b	79.39a	53.22a	5.60c
Pr>F	0.0006**	0.53ns	0.56ns	0.02*
C.V. (%)	34.41	9.59	10.78	8.25
μ Gral.	34.04	84.17	54.94	6.41

NS = Diferencia estadística no significativa; C.V. = Coeficiente de variación; μ = Media.

VI. CONCLUSIONES

Los árboles de aguacate 'Hass' fertilizados con la dosis sin fraccionar (1,154 g N y 710 g P₂O₅ en una sola aplicación por árbol) incrementaron el contenido de micronutrientes en todas las etapas de desarrollo evaluadas. Sin embargo, el volumen de copa, rendimiento y calidad del fruto no se vio favorecido. Los árboles a los cuales se les aplicó dosis fraccionada (288 g N y 177 g P₂O₅ en cuatro aplicaciones) por árbol, incrementaron su rendimiento y longitud de fruto, así como contenido de sólidos solubles totales. No hubo incremento en la concentración nutrimental foliar.

VII. LITERATURA CITADA

- Aburto-González CA, Alejo-Santiago G, Ramírez-Guerrero LG, Sánchez-Hernández R 2017 Concentración foliar de macronutrientes en diferentes etapas fenológicas del litchi cv. Brewster. *Interciencia* 42: 441-445.
- Acosta-Díaz E, León A HI, Hernández-Torres I 2013 Evaluación de aguacates criollos en Nuevo León, México: región norte. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 4: 531-542.
- Alcántar GG, Sandoval VM 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 155 p.
- Banerjee S, Palit R, Sengupta C, Standing D 2010. Stress induced phosphate solubilization by *Arthrobacter* sp. and *Bacillus* sp. Isolated from tomato rhizosphere. *Australian Journal of Crop Science* 4: 378.
- Benítez-Pardo D, Hernández-Montoya M, Osuna-Enciso T, Valenzuela-López M, Galván-Piña B 2003. Muestreo y análisis foliar relacionados con fenología en mango en el sur de Sinaloa, México. *Terra Latinoamericana* 21: 273-283.
- Buevas Salgado GA, Patiño Gómez JH, y Cano Salazar J A 2012. Evaluación del proceso de extracción de aceite de aguacate has (*Persea americana* Mill) utilizando tratamiento enzimático. *Revista Lasallista de Investigación* 9:138-150.
- Cooman, A., Torres, C., y Fischer, G. 2005. Determinación de las causas del rajado del fruto de uchuva (*Physalis peruviana* L.) bajo cubierta. II. Efecto

de la oferta de calcio, boro y cobre. *Agronomía Colombiana*, 23(1), 74-82.

De la Luz Sánchez-Pérez, J. 1999. Recursos genéticos de aguacate (*Persea americana* Mill.) y especies afines en México. *Revista Chapingo serie Horticultura*, 5, 7-18.

Díaz A, Cayón G, Mira J 2007. Metabolismo del calcio y su relación con la “mancha de madurez” del fruto de banano. Una revisión. *Agronomía Colombiana* 25: 280-287.

Faust, M. 1989. *Physiology of temperate zone fruit trees*. John Wiley & Sons. New York, USA. 338 p.

García, E. 1988. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen (Para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana.). Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.

Gordillo O, Fischer G, Guerrero R 2004. Efecto del riego y de la fertilización sobre la incidencia del rajado en frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en la zona de Sylvania (Cundinamarca). *Agronomía Colombiana* 22: 53-62.

Granja F, Covarrubias JI 2018. Evaluation of acidifying nitrogen fertilizers in avocado trees with iron deficiency symptoms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 18: 157-172.

Guerrero-Polanco F, Alejo-Santiago G, Sánchez HR, Bugarin MR, Aburto-Gonzales CA, Isiordia-Aquino N 2018. Respuesta del cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill.) ‘Hass’ a la aplicación de nitrato de potasio. *Acta Agronómica* 67: 425-430.

Holzapfel E, Alves de Souza J, Jara J, Carvalho GH 2017. Responses of avocado production to variation in irrigation levels. *Irrigation Science* 35: 205-215.

- Lazcano-Ferrat, I. 2006. El potasio y el concepto de la fertilización balanceada. Extracto de la ponencia presentada en la conferencia regional para México y el Caribe de la Asociación Internacional de la Industria de los Fertilizantes. INPOFOS-PPI, México. 5 p.
- Lovatt CJ 2010. Alternate bearing of 'Hass' Avocado. California Avocado Society. Yearbook 93:125-140.
- Maldonado-Torres R, Álvarez-Sánchez ME, Almaguer-Vargas G, Barrientos-Priego AF, García-Mateos R 2007. Estándares nutrimentales para aguacatero 'Hass'. Revista Chapingo Serie Horticultura, 13: 103-108.
- Malvi UR 2011. Interaction of micronutrients with major nutrients with special reference to potassium. Karnataka Journal of Agricultural Sciences 24:106-109
- Marschner H 2012. Mineral Nutrition of Higher Plants. Tercera edición. Academic Press Limited. London. 672 p.
- Pacheco R, González MA, Briceno JA 1986. Efecto del fraccionamiento de la fertilización nitrogenada en la lixiviación de nitrato, potasio, calcio y magnesio en un Andept de Costa Rica. Agronomía Costarricense 10:129-138.
- Pilbeam, David J. The utilization of nitrogen by plants: A whole plant perspective. *Annual Plant Reviews online*, 2018, p. 305-351.
- Rivera R, Bustamante C, Ochoa M, Martín JR, Molina J, González C, Rodríguez M 1994. La fertilización nitrogenada del café en diferentes condiciones edafoclimáticas de Cuba. Cultivos Tropicales 15: 5-11.

- Rodríguez P, Henao J 2016. Maduración del aguacate (*Persea americana* Mill. cv. 'Hass') y calidad de los frutos. *Agronomía Colombiana* 1: 914–917.
- Ross M 2004. Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Palmas* 25: 98-104.
- Rubio G 2002. Conectando el fósforo del suelo con la planta. *Informaciones Agronómicas del Cono Sur* 16: 19-23.
- Salazar-García S, Cossio-Vargas LE, González-Duran IJL 2009. La fertilización de sitio específico mejoró la productividad del aguacate 'Hass' en huertos sin riego. *Agricultura Técnica en México*. 354: 436-445.
- Silber A, Naor A, Cohen H, Bar-Noy Y, Yechieli N, Levi M, Noy M, Peres M, Duari D, Narkis K, Assoulinea S 2018. Avocado fertilization: Matching the periodic demand for nutrients. *Scientia Horticulturae* 24: 231-240.
- Sistema de Información Agropecuaria (SIAP) 2018. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). SIACON. <https://www.gob.mx/siap/documentos/siacon-ng-161430> Fecha de consulta: 28 junio 2018.
- Thirkell TJ, Cameron DD, Hodge A 2016. Resolving the 'nitrogen paradox' of arbuscular mycorrhizas: fertilization with organic matter brings considerable benefits for plant nutrition and growth. *Plant, Cell y Environment*. 39: 1683-1690.
- Urías-López, M. A., Salazar-García, S., y Johansen-Naime, R. 2007. Identificación y fluctuación poblacional de especies de trips (Thysanoptera) en aguacate 'Hass' en Nayarit, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 13(1): 49-54.

- Vega EV, Molina E 1999. Nitrogen fertilization in mango, var. Tommy Atkins, at Guanacaste, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 23: 37-44.
- Vinha AF, Moreira J, Ferreira V 2013. Physicochemical Parameters, Phytochemical Composition and Antioxidant Activity of the Algarvian Avocado (*Persea americana* Mill). *Journal of Agricultural Science* 5:100-109.
- White P 2012. Long-distance transport in the xylem and phloem. *In*: Marschner P (Ed.): *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants*. Elsevier Ltd. Amsterdam. Pp. 49–70.

VIII. CONCLUSIONES GENERALES

Para el huerto de aguacate 'Hass' "Los arcos", la mejor fecha para realizar el anillado fue la del 15 de agosto, los árboles presentaron el 47 % de inflorescencia por metro cuadrado por árbol, mientras que la floración se presentó a los 101 días y la producción de frutos a los 132 días, lo que favoreció el desfase de la época de cosecha.

En los árboles de aguacate 'Hass' fertilizados con una dosis sin fraccionar, en una sola aplicación (1,154 g N y 710 g P₂O₅ por árbol) se incrementó el contenido de micronutrientes en todas las etapas de desarrollo evaluadas. Por otra parte con la dosis fraccionada en cuatro aplicaciones por árbol, éstos incrementaron su rendimiento y longitud de fruto, así como el contenido de sólidos solubles totales.