

Crecimiento y desarrollo de brotes durante flujos de crecimiento vegetativo en plantas de aguacate “Hass”

Shoot growth and development during vegetative growth flushes in “Hass” avocado plants

Fabian Giovanni Márquez Niño ¹

¹Ingeniería Agronómica, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Cundinamarca, Fusagasugá, Cundinamarca, Colombia

RESUMEN. El aguacate es una planta perenne nativa de América Central que, al igual que otros árboles frutales, presenta un crecimiento rítmico; se distinguen etapas de flujos de crecimiento y etapas de reposo de las yemas. Se evaluó la ocurrencia de flujos de crecimiento vegetativo en plantas de aguacate juveniles de variedad “Hass”, el tiempo promedio de duración de los flujos, la cantidad de yemas abortadas, el crecimiento en longitud, la formación de ramas y de entrenudos durante un flujo de crecimiento vegetativo. El periodo de tiempo promedio de los flujos fue de 31 días, y el número de yemas activas en promedio disminuyó desde seis hasta tres, evidenciándose abscisión. Las ramificaciones terciarias presentaron una tendencia de crecimiento cuadrático, con una disminución paulatina hasta llegar a un valor constante de seis ramas, mientras que el crecimiento en longitud de los brotes se aproximó a una curva sigmoidea.

PALABRAS CLAVE: alargamiento del tallo, brote de yemas, crecimiento, cultivo, desarrollo.

ABSTRACT. The avocado is a perennial plant native to Central America that, like other fruit trees, presents a rhythmic growth; stages of growth flushes and stages of bud dormancy are distinguished. The occurrence of vegetative growth flows in juvenile avocado plants of the “Hass” variety, the average duration of the flows, the number of aborted buds, the growth in length, the formation of branches and internodes during a flow were evaluated. The average time of the flows was 31 days; the number of active buds on average decreased from six to three, evidencing abscission. The tertiary branches showed a quadratic growth trend, with a gradual decrease until reaching a constant value of six branches, while the growth in length of the shoots approached a sigmoid curve.

KEYWORDS: bud sprouting, cultivation, development, growth, stem elongation.

Para citar este artículo: Márquez Niño, F. G. (2023). Crecimiento y desarrollo de brotes durante flujos de crecimiento vegetativo en plantas de aguacate “Hass”. *Ciencias Agropecuarias* 9(1), 9-18. <https://doi.org/10.36436/24223484.373>



Recibido: 27/07/2021 **Aceptado:** 10/01/2023 **Publicado en línea:** 20/01/2023
Contacto: Fabian Giovanni Márquez Niño - fgmarquez@ucundinamarca.edu.co

Introducción

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una planta perenne nativa de América Central y se considera un cultivo de gran importancia mundial que es producido actualmente en cerca de 70 países, siendo Colombia uno de los cinco principales productores (1). Dentro de la especie se distinguen tres variedades, estas provienen de tres razas ecológicas conocidas como: *Persea americana* var. *drymifolia* (mexicana), var. *guatemalensis* (guatemalteca) y var. *americana* (antillana) (2). A partir de esas variedades se han generado híbridos que se adaptan a distintas condiciones ambientales. El cultivar “Hass”, desarrollado en California, se adapta bien a zonas de montaña tropical donde el frío es un factor limitante para otros tipos de aguacate y actualmente es el cultivar más importante a nivel mundial (1,3).

Como es común en otros árboles tropicales, el aguacatero tiene crecimiento rítmico, en el que la extensión del tallo es periódica y se alterna con cortos periodos de reposo; se presentan dos o más flujos de crecimiento de brotes por año dependiendo de las condiciones climáticas de la zona en donde crece (4–9). En un estudio realizado por Rocha et al. (2011) en variedad de climas en México y en huertos con y sin riego, se encontró que en todos los climas y tanto en huertos con riego como sin riego, la variedad “Hass” presentó tres flujos de crecimiento vegetativo: invierno (mayor intensidad), primavera y verano (menor intensidad) (10). Por otro lado, en California se conocen típicamente dos flujos por año: uno en primavera y otro en verano (11).

Las yemas axilares formadas durante un flujo de crecimiento determinado pueden permanecer en reposo, brotar durante el mismo flujo, o brotar durante el siguiente. Durante los períodos de reposo de los meristemas se evidencian escamas a su alrededor; estas se abren y caen al presentarse el flujo de crecimiento, dejando cicatrices. Adicionalmente se distinguen dos tipos de brotes axilares: prolépticos (formados después de un periodo de reposo de su meristemo apical) o silépticos (formados sin un periodo de reposo) con una proporción relativa entre los dos que depende del cultivar (6).

En estudios de crecimiento y desarrollo es importante identificar los estadios de las estructuras tanto en etapas reproductivas como vegetativas. La escala extendida BBCH es un sistema para una codificación uniforme de identificación fenológica de estadios de

Crecimiento y desarrollo de brotes durante flujos de crecimiento vegetativo en plantas de aguacate “Hass”

crecimiento para todas las especies de plantas mono y dicotiledóneas, que permite identificar con dos dígitos todos los estadios fenológicos presentes en las plantas, estandarizando su nominación (12). En el presente estudio se identifican los principales estados BBCH del crecimiento vegetativo y el tiempo de duración, para evaluar el crecimiento de los brotes principales y el desarrollo de brotes prolépticos y silépticos en plantas juveniles de aguacate “Hass” en condiciones tropicales.

Materiales y métodos

Localización y material vegetal

Los datos fueron tomados en plantas de Aguacate “Hass” en estado juvenil (6 meses) establecidas con un sistema de siembra de 10m x 10m, ubicadas en el municipio de Pasca (departamento de Cundinamarca) con latitud 4°18'25" N, longitud 74°19'35" W y una altitud de 1,860 m.s.n.m. La temperatura promedio durante la época de estudio fue de 18.2 °C, humedad relativa de 83.1 %, radiación PAR de 366 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ y una precipitación acumulada de 663 mm.

Caracterización fenológica

La caracterización fenológica se realizó entre los meses de abril del año 2015 y abril de 2016 en 15 plantas tomadas como muestra de un cultivo de 90 plantas. Para ello, se observó el meristemo apical y se identificó el estadio BBCH según lo propuesto por Alcaraz et al. (2013) (6). Los distintos estadios fueron codificados y posteriormente se calculó el porcentaje de plantas en estadios de flujo de crecimiento vegetativo, el tiempo promedio del flujo total y de la expansión de hojas, así como el número de flujos totales por planta.

Evaluación del crecimiento y el desarrollo vegetativo

La evaluación del crecimiento se realizó en el intervalo de tiempo que comprendió la época en la que el mayor porcentaje de plantas presentó flujo de crecimiento y corresponde a un ciclo de flujo desde el estadio BBCH 09 (yema totalmente abierta) hasta la expansión total de las hojas y fin del flujo (estadio BBCH 19). En tres ramas por planta se midió semanalmente la longitud del brote principal, el número de entrenudos del brote principal,

el número de ramificaciones generadas a partir de brotes axilares del mismo flujo y el número de yemas del flujo anterior activas.

Análisis estadístico

Los datos de longitud de los brotes fueron analizados como variable dependiente por medio de un modelo lineal simple donde la variable independiente fue el tiempo de monitoreo. El modelo estadístico que describe los datos es $y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i + \epsilon_i$; donde y_i es la longitud de los brotes en la i -ésima observación, β_0 el intercepto, β_1 la pendiente, X_i el tiempo en la i -ésima observación y ϵ_i el error residual. Se evaluaron los supuestos del modelo (independencia entre las observaciones, homocedasticidad y la normalidad de los residuos).

Se realizó un análisis de comparación de medias (Tukey HSD) con un ($p < 0.05$) para estimar el peso de los parámetros evaluados. Los datos de conteo de número de yemas, número de entrenudos y número de ramificaciones fueron linealizados y ajustados a un modelo lineal simple de forma similar, utilizando el software R Project 3.3.1. El porcentaje de brotes se presenta de forma descriptiva como porcentaje de plantas en flujo del total de 15 plantas muestreadas en cada fecha.

Resultados y discusión

El análisis descriptivo de los datos (Figura 1) permite evidenciar que los flujos de crecimiento vegetativo no tuvieron sincronía precisa en las plantas estudiadas, por lo que no fue posible encontrar la totalidad de las plantas en estado de flujo o reposo en un mismo instante. Sin embargo, fue posible identificar fechas en las que la proporción de plantas en flujo fue mayor a la de plantas en reposo.

Entre el 16 y el 23 de octubre de 2015 se encontró el mayor porcentaje de plantas en flujo, con un valor de 64.3 % (Figura 1). Este ciclo de crecimiento se prolongó hasta cerca del 20 de noviembre de 2015 con un porcentaje de 21.4%. Teniendo en cuenta estos porcentajes, se hizo el seguimiento de las variables de crecimiento y desarrollo en el periodo de tiempo promedio de 31 días que duró el ciclo.

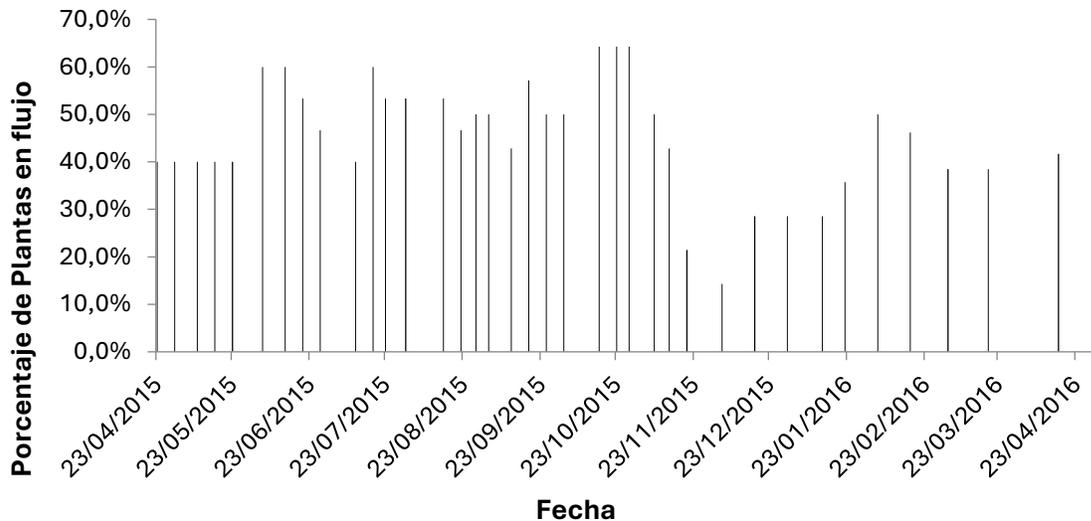


Figura 1. Porcentaje de plantas de Aguacate “Hass” en Pasca Cundinamarca en flujo de crecimiento vegetativo (n=15) entre los meses de abril de 2015 y abril de 2016

El número de yemas activas corresponde a las yemas axilares y apicales que entraron en actividad después de un periodo de reposo y que fueron formadas durante el brote anterior, e indican la cantidad de ramificaciones de brotes prolépticos. Dicho número disminuyó desde seis hasta tres (Figura 2A), evidenciándose abscisión. La abscisión se prolongó hasta el día 24, a partir del cual el número de brotes permaneció constante hasta el final del periodo de evaluación (31 días), por lo que en promedio se presentan dos ramificaciones generadas a partir de brotes prolépticos.

Fue posible ajustar los datos de yemas activas a un modelo lineal con un R^2 de 90.97 % (Figura 3A) entre los días cero a 24. El número de entrenudos no presentó una tendencia sigmoidea, más bien se observa un crecimiento lineal hasta el día 24 (Figura 2B), a partir del cual el número permaneció constante (12 nudos). Los datos se ajustaron a un modelo lineal para la etapa de cero a 24 días y se encontró una tasa de crecimiento de 0.81 log (entrenudos)/día (Figura 3B).

Como se evidencia en la Figura 3C, las ramificaciones terciarias o de brotes silépticos presentaron una tendencia de crecimiento cuadrático, en la que la velocidad de formación de ramas inicialmente rápida fue presentando una disminución paulatina hasta llegar a un valor constante de seis ramas hacia el día 18, se encontró una tasa de 0.52 Log (ramas)/día.

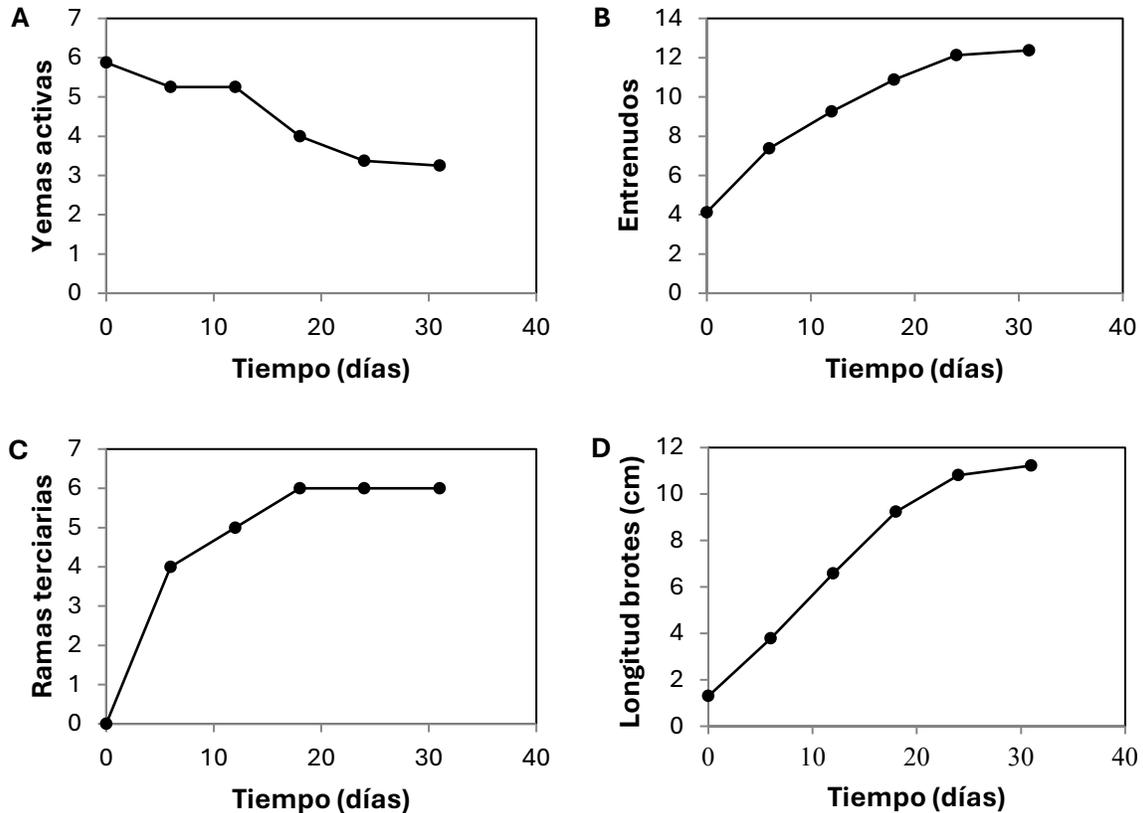


Figura 2. Crecimiento y desarrollo de brotes de plantas juveniles de Aguacate “Hass” en Pasca Cundinamarca. A. Número de yemas activas; B. Número de entrenudos generados en los brotes principales; C. Número de ramificaciones silépticas generadas en los brotes principales; D. Longitud de los brotes principales. Los datos son mostrados como medias (n=15).

El crecimiento en longitud de los brotes presentó un comportamiento con tendencia sigmoidea (Figura 2D); entre los cero y los seis días el crecimiento fue más lento que el que se presentó entre los seis a 18 días, y posteriormente, hasta el día 31, el crecimiento disminuyó. Se calculó la tasa de crecimiento para la etapa lineal (seis a 18 días) y fue de 1.44 cm/día con un R^2 de 99.21 % (Figura 3D).

Los flujos de crecimiento vegetativo no tuvieron sincronía precisa entre las plantas estudiadas, pero en cada planta sí fue posible observar sincronía entre los brotes, lo que corresponde a lo reportado por Dixon (13), quien encontró que no hubo periodos de crecimiento constante, pero el crecimiento de los brotes fue sincrónico dentro del árbol, iniciando y terminando al mismo tiempo en todas las ramas (13).

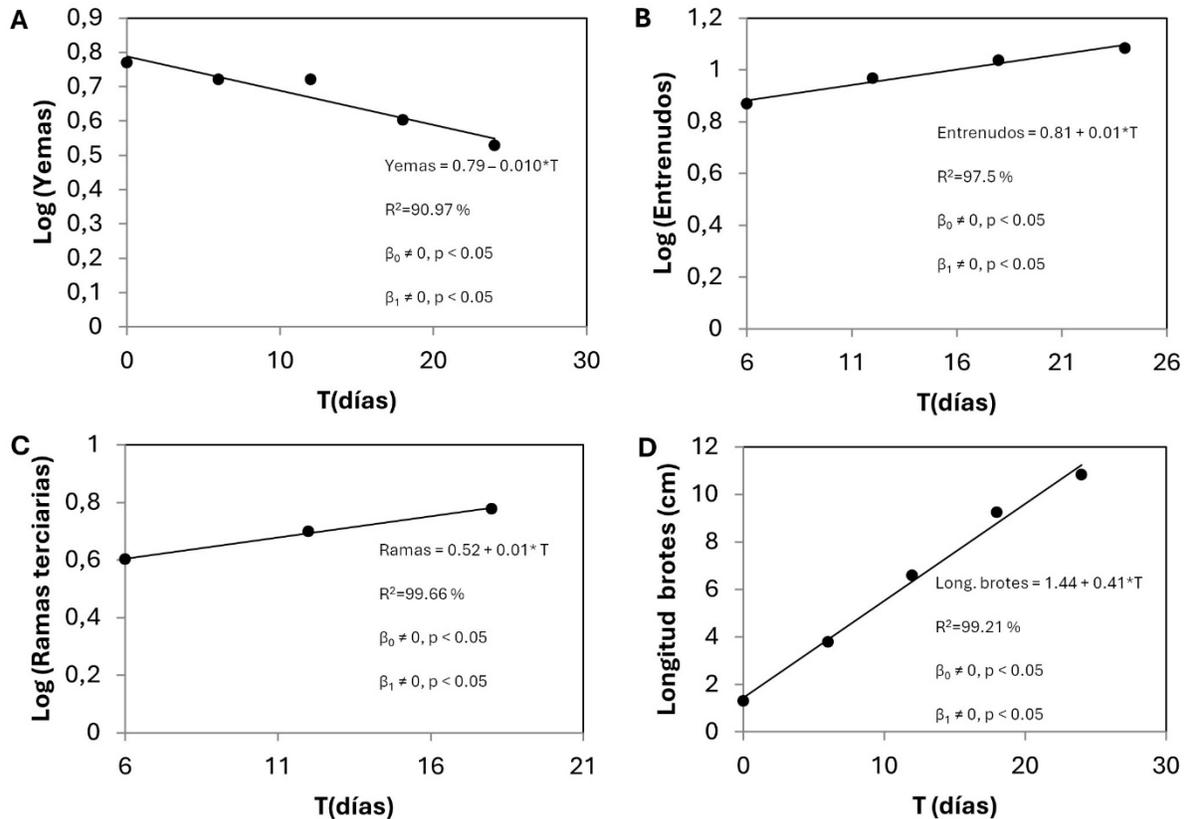


Figura 3. Crecimiento y desarrollo de brotes de plantas juveniles de Aguacate "Hass" en Pasca Cundinamarca. A. Número de yemas activas; B. Número de entrenudos generados en los brotes principales; C. Número de ramificaciones silépticas generadas en los brotes principales; D. Longitud de los brotes principales. Los datos fueron ajustados a un modelo lineal ($p \leq 0.05$).

Los resultados del presente trabajo evidencian abscisión de yemas axilares en reposo, por lo que el número de brotes prolépticos es menor al número de yemas axilares formadas inicialmente. Aunque son escasos los trabajos actuales sobre el desarrollo vegetativo del aguacate, muchas de las características del desarrollo que hoy se conocen son producto de trabajos clásicos. Venning y Lincoln (14) indicaron que la abscisión de yemas es un proceso natural en el desarrollo del aguacatero, que los brotes que entraron en reposo durante un flujo de crecimiento sufren frecuentemente abscisión, a menudo antes de la abscisión de la hoja subyacente. Incluso una vez iniciado el proceso de brote en yemas persistentes, estas pueden presentar abscisión y, por tanto, el número total final de yemas se ve reducido por la abscisión de éstas durante su periodo de reposo (14).

El número total de entrenudos corresponde con los hallazgos de Thorp et al. (5), quienes reportan un promedio de 12 entrenudos por módulo de brotes vegetativos prolépticos, que además fueron preformados durante la época de reposo de las yemas (5). En el presente estudio sólo se evaluó el número de entrenudos de brotes silépticos, porque el conteo se realizó en los brotes principales.

Para el crecimiento en longitud se distinguió un patrón de crecimiento sigmoideo. Los brotes de aguacate crecen en un patrón bien definido, donde empiezan a crecer lentamente, luego la longitud del brote se incrementa linealmente en una tasa relativamente estable antes de que el crecimiento disminuya y se detenga (13). Este comportamiento sigmoideo, si bien se encontró para el crecimiento en longitud, no es el mismo que se observa para la aparición de entrenudos. La longitud total de los brotes fue mayor (112 mm) que la reportada por Kohne y Kremer (15), en la que la longitud de brotes en las plantas control de un experimento de tratamiento con paclobutrazol fue de 70.2 mm (15).

Conclusiones

Las yemas persistentes pueden ser abortas antes o después de su reactivación durante un nuevo flujo. El número de entrenudos no presenta un patrón de crecimiento sigmoideo como el que se encuentra en el crecimiento en longitud de los brotes. El número de ramificaciones de origen siléptico fue mayor a las ramificaciones de origen proléptico debido al aborto de yemas persistentes. La aparición de entrenudos y ramas terciarias fue constante desde el comienzo, pero con una etapa más lenta hacia el final del flujo.

Agradecimientos

Al Proyecto 1 “Ecofisiología, nutrición mineral y manejo integrado de plagas y enfermedades en aguacate, curuba, gulupa y tomate de árbol orientados hacia su manejo agronómico, como materia prima para el desarrollo de productos de interés comercial”, de la Red Nacional para la bioprospección de frutos tropicales, financiado por el Departamento Administrativo de Ciencias, Tecnología e Innovación - COLCIENCIAS y ejecutado por la Universidad Nacional de Colombia. Código: 110154332012; contrato 459/2013.

Declaración de divulgación

El autor declara que no existe ningún potencial conflicto de interés relacionado con el artículo. No se emplearon herramientas de generación de contenido por inteligencia artificial para la elaboración del artículo.

Referencias

1. Kourgialas NN, Dokou Z. Water management and salinity adaptation approaches of Avocado trees: A review for hot-summer Mediterranean climate. *Agric Water Manag* [Internet]. 2021 [citado 29 de junio de 2021];252:1-12. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106923>
2. Saavedra R, Vásquez HD, Mejía E. Aguacate (*Persea americana* Mill.). En: Fischer G, editor. Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Bogotá, Colombia: Produmedios; 2012. p. 319-48.
3. Cossio LE, Hernández LM, López JG, Gómez R, Sánchez R. Flujos de crecimiento vegetativo y reproductivo del aguacate ‘Hass-Méndez’ en Nayarit, México. En: Actas VII Congreso Mundial del Aguacate [Internet]. Cairns, Australia; 2011. p. 1-10. Disponible en: http://www.avocadosource.com/wac7/Section_06/CossioVargasLE2011.pdf
4. Thorp T, Sedgley M. Architectural analysis of tree form in a range of avocado cultivars. *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 1993;53(1-2):85-98. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(93\)90140-L](https://doi.org/10.1016/0304-4238(93)90140-L)
5. Thorp T, Aspinall D, Sedgley M. Preformation of Node Number in Vegetative and Reproductive Proleptic Shoot Modules of *Persea* (Lauraceae). *Ann Bot* [Internet]. 1994;73(1):13-22. Disponible en: <http://www.jstor.org/stable/42758997>
6. Alcaraz ML, Thorp TG, Hormaza JI. Phenological growth stages of avocado (*Persea americana*) according to the BBCH scale. *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 2013 [citado 29 de junio de 2021];164:434-9. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2013.09.051>
7. Thorp T, Sedgley M. Shoot Growth and Tree Architecture in a Range of Avocado Cultivars. En: Proceedings of the Second World Avocado Congress [Internet]. Orange, California; 1992. p. 237-40. Disponible en: http://www.avocadosource.com/WAC2/WAC2_p237.pdf
8. Salazar-García S, Cossio-Vargas LE, Lovatt CJ, González-Durán IJL, Pérez-Barraza MH. Crop Load Affects Vegetative Growth Flushes and Shoot Age Influences Irreversible Commitment to Flowering of ‘Hass’ Avocado. *HortScience* [Internet]. 2006;41(7):1541-6. Disponible en: <https://journals.ashs.org/hortsci/view/journals/hortsci/41/7/article-p1541.xml>
9. D’Asaro A, Reig C, Martínez-Fuentes A, Mesejo C, Farina V, Agustí M. Hormonal and carbohydrate control of fruit set in avocado ‘Lamb Hass’. *Sci Hortic (Amsterdam)* [Internet]. 2021 [citado 29 de junio de 2021];282. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.110046>
10. Rocha J, Salazar S, Bárcenas AE, González IJ, Cossio LE. Fenología del aguacate “Hass” en Michoacán. *Rev Mex Cienc Agríc* [Internet]. 2011;2(3):303-16. Disponible en: <https://bit.ly/3qBAov8>

11. Robinson PW, Mickelbart MV, Arpaia ML. “Hass” avocado phenology in California—preliminary results. HortScience. 1994;29(5):517c.
12. Meier U. Etapas de desarrollo de las plantas monocotiledóneas y dicotiledóneas BBCH Monografía [Internet]. Quedlinburg, Alemania: Instituto Julius Kühn; 2018. 11 p. Disponible en: <https://bit.ly/3qHZqJj>
13. Dixon J. Shoot growth of “Hass” avocado trees in «on» and «off» flowering years in the western bay of plenty. N Z Avocado Grow Assoc Annu Res Rep [Internet]. 2007;7:41-8. Disponible en: <https://bit.ly/3Ajn9nz>
14. Venning FD, Lincoln FB. Developmental morphology of the vegetative axis of avocado (*Persea americana* L.) And its significance to spacing, pruning practices, and yields of the grove. Proc Fla State Hort Soc [Internet]. 1958;71:350-6. Disponible en: <https://bit.ly/3wfOzHu>
15. Kohne JS, Kremer S. Vegetative growth and fruit retention in avocado as affected by a new plant growth regulator (Paclobutrazol). En: Proceedings of the First World Avocado Congress. South Africa; 1987. p. 64-6.