



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria

INFORME FINAL

Propagación clonal de portainjertos nativos de aguacate (*Persea americana* Mill) mediante el método de etiolación más acodo con aplicación de fitohormonas

M. C. Aida Eleonora Ramírez Rodas
Investigadora Principal

Quetzaltenango, Guatemala, septiembre de 2021

AGRADECIMIENTO:

Este proyecto fue ejecutado gracias al apoyo financiero del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA). Las opiniones expresadas en esta publicación son las de sus autores e instituciones a las que pertenecen. La mención de empresas o productos comerciales no implican la aprobación o preferencia sobre otros de naturaleza similar que no se mencionan.

CONTENIDO

	PÁGINA
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MARCO TEÓRICO	
2.1 Importancia del cultivo del aguacate en Guatemala	2
2.2 Descripción botánica del aguacate	3
2.3 Grupos ecológicos	3
2.4 Características de los portainjertos seleccionados	4
2.5 Métodos de propagación del aguacate	5
2.6 Cultivo de tejidos vegetales en aguacate	8
2.7 Reguladores del crecimiento (fitohormonas)	8
3. OBJETIVOS	
3.1 General	9
3.2 Específicos	9
4. HIPÓTESIS	10
5. METODOLOGÍA	
5.1 Localidad y época	10
5.2 Material Vegetal	10
5.3 Método	11
5.4 Análisis de la información	13
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
6.1 Reparación y acondicionamiento de áreas de invernadero y etiolación	13
6.2 Selección y obtención del material vegetal	14
6.3 Injertación de portainjertos nativos	15
6.4 Etiolación	19
6.5 Aplicación de auxinas y acodado	21
6.6 Enraizamiento	23
6.7 Discusión de resultados	27
6.8 Análisis Económico	32
7. CONCLUSIONES	34
8. RECOMENDACIONES	34
9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
ANEXOS	38

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ANACAFE – Asociación Nacional del Café

CATIE - Centro de Agricultura Tropical Investigación y Enseñanza

CEPALO - Centro de Producción Agrícola del Altiplano Occidental

CRIA - Consorcio Regional de Investigación Agropecuaria

ICTA - Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas

IICA - Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura

INE - Instituto Nacional de Estadística

FAO - Food and Agriculture Organization

FAOSTAT - Es un sitio de la FAO que proporciona acceso libre a datos sobre alimentación y agricultura

MAGA – Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Guatemala

PROFRUTA –Programa de Fruticultura

SAGARPA -Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (México)

SIECA – Secretaría de Integración Económica de Centroamérica

USAC - Universidad de San Carlos de Guatemala

USDA - United States Department of Agriculture

Título

Propagación clonal de portainjertos nativos de aguacate (*Persea americana* Mill) mediante el método de etiolación más acodo con aplicación de fitohormonas

Aida Eleonora Ramírez

RESUMEN

En el análisis de la cadena de aguacate del Programa IICA-CRIA, del año 2016, se logró establecer que no hay certeza genética ni control fitosanitario, en la procedencia de los materiales que se utilizan como portainjertos, además no existe control ni registro sobre los viveros, lo cual perjudica la calidad y fitosanidad de las plantaciones. El objetivo principal de la investigación fue, contribuir al desarrollo de tecnología del cultivo del aguacate en Guatemala aplicando métodos convencionales para el establecimiento de un sistema de propagación de plantas. Se determinó la respuesta de enraizamiento de seis portainjertos de aguacate tratados con diferentes concentraciones de las auxinas Ácido Indol-butírico –AIB– y Ácido Naftalenacético –ANA– bajo el método de etiolación más acodo en condiciones de invernadero. Se obtuvo una respuesta superior de enraizamiento con el tratamiento ANA 5000 mg/l, con un tiempo de etiolación de 8 semanas, con porcentajes del 67, 80, 71 y 88 de plantas enraizadas para los portainjertos nativos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, respectivamente. Con el mismo tratamiento se obtuvo un mayor número de raíces con la mejor longitud promedio, así como, un 100% de sobrevivencia al trasplante de las plantas producidas por el método de etiolación más acodo de los portainjertos nativos mencionados anteriormente. La metodología está dirigida a los viveristas de Guatemala con el fin de que, dispongan de una nueva herramienta para propagar portainjertos de alta calidad genética y fitosanitaria, que garantice la uniformidad y sostenibilidad de las plantaciones de los productores de aguacate.

*Investigadora especializada en Biotecnología. Ingeniera agrónoma, Maestra en Ciencias. Programa de Biotecnología y Recursos Genéticos. ICTA. eleonoraramirez@icta.gob.gt

ABSTRACT

The analysis of the avocado group of the IICA-CRIA Program carried out in 2016, gave as a result that there is no genetic certainty or phytosanitary control of the plants that are used as rootstocks. In addition, there is no control or records of the nurseries, which affects the quality and plant health of the plantations. The main objective of the research was to contribute to the development of avocado crop technology in Guatemala by applying conventional methods for the establishment of a plant propagation system. The rooting response of six avocado rootstocks treated with different concentrations of the auxins Indolebutyric acid –IBA– and Naphthaleneacetic acid –NAA– was determined under the etiolation method plus layering under greenhouse conditions. A superior rooting response was obtained with the ANA 5000 mg / l treatment, with an etiolation time of 8 weeks, with percentages of 67, 80, 71 and 88 of rooted plants for the native rootstocks ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María and ICTA-Llano Grande, respectively. With the same treatment, a greater number of roots with the best average length was obtained, as well as a 100% survival after transplantation of the native rootstocks plants produced by the treatment mentioned above. The method is aimed at nurserymen in Guatemala so that they have a new tool to propagate rootstocks of high genetic and phytosanitary quality. It will guarantee the uniformity and sustainability of avocado producers' plantations.

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill) es una dicotiledónea perteneciente al orden de las Ranales y a la familia de las Lauráceas. Es una especie perenne, originaria de Mesoamérica, siendo Guatemala uno de los genocentros más importantes del mundo. Es uno de los frutales nativos de mayor popularidad en la dieta alimenticia de los guatemaltecos, ya que, se desarrolla en diferentes ambientes y está disponible durante la mayor parte del año (Vásquez 2006).

A nivel mundial, en el año 2016, México fue el país con la mayor superficie cosechada de aguacate en el mundo, con el 32.0% del total. Los países que le siguen son, Perú con 6.7%, Colombia con 6.2%, Chile con 5.3% e Indonesia con 4.2% (FAOSTAT 2018). En el año 2016, México exportó 927 000 toneladas, que representaron el 49% de la producción total de aguacates. Además de México, los proveedores globales más grandes en 2016 fueron Perú (194.000 toneladas) y Chile (147.000 toneladas), con una participación entre ambos del 18% de las exportaciones mundiales (Indexbox 2018).

En Guatemala hay aproximadamente 12 000 hectáreas de aguacate sembradas, las cuales producen cerca de 2.69 millones de toneladas métricas del fruto (MAGA 2014). La producción nacional de aguacate, por departamento, se encuentra distribuida de la siguiente forma: San Marcos 15%, Chimaltenango 12%, Quiché 10%, Huehuetenango 7% Sololá 7%, Sacatepéquez 7%, Alta Verapaz 6%, Peten 6%, y en los demás departamentos suman el 30% restante (CATIE 2016).

El Instituto de Ciencia y Tecnología Agrícolas -ICTA-, con el apoyo de diferentes convenios y entes financiadores de investigación, ha realizado estudios de identificación y caracterización de aguacates nativos, con el objetivo de identificar germoplasma de alto valor genético con fines de preservación en jardines clonales. En los años 1995 a 1998, se realizó la caracterización de 66 materiales nativos en diversas localidades de Huehuetenango, Quetzaltenango, Totonicapán y El Quiché. Posteriormente, entre los años, 2002 a 2006, se realizó la identificación y caracterización de 134 materiales nativos, tanto patrones como variedades, de los cuales, 64 se consideraron promisorios por sus características agro-morfológicas y fisicoquímicas, en tres diferentes regiones ecológicas: Costa, Boca Costa y Altiplano (Vásquez 2006).

En el análisis de la cadena de aguacate (CATIE 2016), se logró establecer, entre otros problemas, que no hay certeza genética ni control fitosanitario, en la procedencia de los materiales que se utilizan como portainjertos y también de las variedades, tampoco existe control ni registro sobre los viveros, cualquier persona puede hacer uno, lo que atenta contra la calidad y fitosanidad de las plantaciones. Además, se puso de manifiesto el poco conocimiento y acceso que tienen los productores a materiales certificados. Los actores locales e investigadores de la cadena demandan materiales con buenas características genéticas y libres de enfermedades, así como, la generación de tecnología para reducir el tiempo de las plantas en el vivero.

Una característica del cultivo de aguacate es que su polinización es cruzada, por lo que, al momento de obtener semilla, ésta es genéticamente heterocigótica, por lo tanto, las plantas derivadas de semilla botánica son muy heterogéneas lo cual puede traer ciertas desventajas, principalmente en los portainjertos ya que, en Guatemala convencionalmente estos se obtienen por medio de semilla criolla (ANACAFE 2011).

Una alternativa para contribuir a la disminución de los problemas señalados anteriormente, es la reproducción asexual o micropropagación de portainjertos y variedades, permitiendo de esta manera la uniformidad genética conservando características genotípicas y fenotípicas de la planta madre, garantizando a través de la reproducción clonal la uniformidad en la plantación.

En algunos países productores de aguacate, como México, se encuentra ampliamente difundida la propagación de portainjertos de aguacate por el método de etiolación con acodo (método Frolich, 1971) y el uso de fitohormonas para el enraizamiento de los mismos (Campos 2012). En Guatemala no se tiene antecedentes del uso de este método para la propagación de patrones de aguacate.

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivo principal, contribuir al desarrollo de tecnología del cultivo del aguacate en Guatemala utilizando un método convencional para el establecimiento de un sistema de propagación de plantas.

Se evaluó el método de propagación: Etiolación más acodo con diferentes concentraciones de auxinas para el enraizamiento de los brotes de seis portainjertos nativos de aguacate, provenientes de tres estratos climáticos diferentes.

En los resultados de la investigación se observó un problema de bajo porcentaje de sobrevivencia (“pegue”) de los injertos, este inconveniente se atribuyó principalmente a la producción de fenoles de los materiales nativos de aguacate y a la edad de los árboles. No fue posible realizar el análisis de varianza de los datos obtenidos porque se tuvo pérdida de plantas en todas las etapas de la investigación, desde la injertación hasta la aplicación de fitohormonas, de ahí que, se hizo un análisis de tipo descriptivo con los datos obtenidos de las plantas que sobrevivieron y respondieron a los tratamientos aplicados en esta investigación.

Dentro de las principales conclusiones se determinó una respuesta superior de enraizamiento con el tratamiento ANA 5000 mg/l, con un tiempo de etiolación de 8 semanas, con porcentajes del 67, 80, 71 y 88 de plantas enraizadas para los portainjertos nativos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, respectivamente. Con el mismo tratamiento se obtuvo un mayor número de raíces con la mejor longitud promedio, así como, un 100% de sobrevivencia al transplante de las plantas producidas por el método de etiolación más acodo de los portainjertos nativos mencionados anteriormente.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Importancia del cultivo del aguacate en Guatemala

En Guatemala, hay aproximadamente 12 000 hectáreas de aguacate sembradas las cuales producen cerca de 2.69 millones de toneladas métricas del fruto (prensa libre). Dicho cultivo se distribuye ampliamente en los departamentos del país, debido a las condiciones edafoclimáticas favorables para el cultivo. La producción nacional de aguacate se encuentra distribuida de la siguiente forma: San Marcos 15%, Chimaltenango 12%, Quiché 10%, Huehuetenango 7% Sololá 7%, Sacatepéquez 7%, Alta Verapaz 6%, Peten 6%, y en los demás departamentos suman el 30% restante (CATIE 2016).

De acuerdo con las estadísticas registradas por la Secretaría de Integración Económica de Centroamérica (SIECA), durante el 2013 Guatemala exportó 3190 toneladas de aguacate a la región centroamericana, equivalentes a US\$ 217.227. Los principales países hacia donde se exporta aguacate son, Honduras, Nicaragua y Costa Rica (León 2014).

2.2 Descripción botánica del aguacate

Pertenece al orden de las Ranales, familia de las Lauráceas. El tallo es leñoso, recto y de gran crecimiento vegetativo, llegando en su hábitat a una altura de 10 a 12 metros. Las raíces son superficiales, la profundidad alcanzada puede ser de 1 a 1.5 m. Las hojas son simples y enteras, elípticas, alargadas y nervadura pinnada con inserción peciolada, cuando es joven presenta un color rojizo y una epidermis pubescente, al llegar a la madurez se tornan lisas, coriáceas y color verde intenso oscuro. Las ramas son abundantes, delgadas y frágiles, sensibles a las quemaduras del sol y a las heladas. Las flores son hermafroditas, simétricas, de color verde amarillento (Barrientos 2010).

Respecto a la polinización, las plantas son dicógamas debido a que la madurez sexual no es simultánea en ambos aparatos, lo que significa que el polen de la flor no puede fecundar al ovario de la misma, siendo necesaria una fecundación cruzada en plantaciones situadas en climas rigurosos, donde la viabilidad del polen es reducida a lapsos más cortos. Esta situación es válida en lugares desérticos como los climas de Israel, California y España. En las regiones subtropicales y templado-cálidas, donde se amplía la viabilidad fecundadora del polen, las plantas actúan como auto fértiles, tal es el caso de las plantaciones de aguacate variedad Haas de Guatemala y México en donde no son necesarias las variedades polinizadoras. El fruto del aguacate es una drupa carnosa, su forma es piriforme, ovoide, globular o elíptica alargada; su color varía del verde claro al verde oscuro, y del violeta al negro (Barrientos 2010).

2.3 Grupos ecológicos

La mayoría de las variedades comerciales en los países productores como Estados Unidos, Israel, México y en las Islas Canarias, etc. Se clasifican, en un acuerdo prácticamente general en tres razas básicas o grupos ecológicos: la mexicana, la guatemalteca y la antillana. Entre las características distintivas se ha tomado en cuenta la época de floración, la época de recolección, el período de floración-recolección, el peso y tipo de corteza de la fruta, el contenido de aceite de la pulpa y la resistencia al frío, tanto en las plantas jóvenes como en las adultas (Rodríguez 1992).

Raza Mexicana

Es originaria de los Valles de México, de regiones con alturas de 1500 a 2000 m.s.n.m., posee en las hojas un olor característico a anís, esto lo diferencia de los demás. Su floración es temprana, la época que va desde la floración a la recolección tiene un promedio de 7 meses, variando de 6 a 8. Sus hojas son pequeñas de 8 a 10 cm de largo, las flores son verde claro, el peso del fruto es menor de 2250 g. Caracterizándose por ser pequeños, el fruto tiene una vida de post-cosecha de aproximadamente unos 10 días después de separado del árbol. La raza mexicana es la más resistente a las bajas temperaturas. Las plantas jóvenes resisten de -3 a 4 grados centígrados, y las plantas adultas resisten de -4 a 7 grados centígrados, incluso pueden tolerar hasta -10 grados centígrados si la duración de la helada es corta (Rodríguez 1992).

Raza Antillana

Fue clasificada como raza Yucateca, luego como Antillana, se sitúa ecológicamente en lugares bajos menos de 500 m.s.n.m., cálidos y de una alta humedad relativa, es menos vigoroso que la raza mexicana, las hojas sobrepasan los 20 cm. de longitud color verde claro amarillento sin olor a anís. La época de floración es posterior a la mexicana (de febrero a marzo), resultando ser intermedia, el periodo entre la floración y la recolección es variable de 5 a 8 meses, el peso de la fruta oscila entre 250 g. y 2.5 kg. Constituyendo la raza con mayor tamaño de baya. El fruto separado del árbol madura rápidamente en 4 o 5 días. Es la raza que posee mayor característica tropical, es la más sensible al frío, las plantas jóvenes toleran de -1 a -2 grados centígrados, las adultas llegan a tolerar hasta -4 grados centígrados. Esta raza es resistente al calcio y a la salinidad, pudiendo vegetar en suelos con cierto contenido de cloruros, es susceptible a las quemaduras de sol, a Cercospora y a Antracnosis (Rodríguez 1992).

Raza Guatemalteca

Originaria de Guatemala, de regiones con alturas de 500 a 1,00 m.s.n.m., el árbol es de gran tamaño, con hojas anchas y largas de 15 a 18 cm., la planta no produce chupones sino ocasionalmente y los brotes son de color rojo violáceo. Posee marcadas tendencias a la alternancia por su gran producción de frutos, la vida de post-cosecha del fruto es muy larga, hasta de 5 meses después de arrancado del árbol. Sus hojas son inodoras, la época de floración comienza generalmente en marzo y termina en abril, la recolección puede abarcar un período amplio desde enero a septiembre, llegando su lapso entre floración y recolección a ser el más largo respecto a las demás razas, de 10 a 15 meses. El peso de los frutos es de 125 g. a 2.5 kg. Su resistencia al frío respecto a las otras razas es intermedia, las plantas jóvenes resisten entre -2 y -4 grados centígrados, y las adultas entre -3 y -5 grados centígrados (Rodríguez 1992).

Las variedades comerciales resultan de la selección de estas razas, realizando el mejoramiento de cada una de ellas o mediante la obtención de hibridaciones. De allí que las características resulten un tanto intermedias o modificadas por la acentuación de algunos de los comportamientos, según el objetivo del fitomejorador (Rodríguez 1992).

2.4 Características de los portainjertos seleccionados

Se realizará la investigación con materiales nativos de aguacate caracterizados agronómica y fisicoquímicamente por el ICTA (Vásquez 2006). Se seleccionaron materiales denominados promisorios, provenientes de diferentes ambientes y altitudes: Costa (0 a 800 msnm), Boca Costa (801 a 1,800 msnm), Altiplano (1,801 a 3,000 msnm). La información de los materiales proviene de Vásquez (2006), quien indicó que estos materiales nativos mostraron características de tolerancia a *Phytophthora cinnamomi*.

Zona de Costa

1. Portainjerto ICTA-CATARINA I

Es un portainjerto adaptado a condiciones de costa, en altitudes por debajo de los 500 msnm, proveniente de Catarina, San Marcos. Esta variedad está adaptada a una temperatura media anual de 26 °C, a una precipitación media anual de 3500 mm, y un periodo de precipitación de 150 días al año.

2. Portainjerto ICTA-RETALHULEU V

Es un portainjerto adaptado a condiciones de costa, en altitudes por debajo de los 500 msnm, Proveniente de Retalhuleu, Retalhuleu. Esta variedad está adaptada a una temperatura media anual de 27 °C, a una precipitación media anual de 3500 mm, y un periodo de precipitación de 125 días al año.

Zona de Boca Costa

1. Portainjerto ICTA-EL RINCON IV

Es un portainjerto adaptado a condiciones de boca costa, adaptado a una altitud de 1724 msnm, Proveniente de San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango. Esta variedad está adaptada a una temperatura media anual de 16°C, a una precipitación media anual de 1376 mm, y un periodo de precipitación de 103 días al año.

2. Portainjerto ICTA-SANTA MARIA V

Es un portainjertos adaptado a condiciones de boca costa, adaptado a una altitud de 1581msnm, Proveniente de Santa María de Jesús, Zunil, Quetzaltenango. Esta variedad está adaptada a una temperatura media anual de 13.3°C, a una precipitación media anual de 1994 mm, y un periodo de precipitación de 195 días al año.

Zona de Altiplano

1. Portainjerto ICTA-LLANO GRANDE I

Es un portainjertos adaptado a condiciones de altiplano, adaptado a una altitud de 2000 msnm, Proveniente de San Pedro, San Marcos. Esta variedad está adaptada a una temperatura media anual de 15°C, a una precipitación media anual de 1500 mm, y un periodo de precipitación de 125 días al año.

2. Portainjerto ICTA-CABRICAN XVII

Es un portainjertos adaptado a condiciones de altiplano, adaptado a una altitud de 2300 msnm, Proveniente de Cabricán, Quetzaltenango. Esta variedad está adaptada a una temperatura media anual de 15°C, a una precipitación media anual de 7500 mm, y un periodo de precipitación de 108 días al año.

2.5 Métodos de propagación del aguacate

2.5.1 Propagación convencional

La propagación y multiplicación del aguacate se lleva a cabo principalmente por la reproducción sexual de las semillas, de las cuales se obtienen los patrones o portainjertos que recibirán los injertos correspondientes de las variedades seleccionadas.

Otra vía de reproducción de los portainjertos es la asexual, por medio de la propagación de estacas con tratamiento hormonal; el acodado aéreo, el uso de tejidos cultivados en condiciones especiales. Estos patrones logrados poseen una identidad

genética, conservando todas las características genotípicas y fenotípicas de la planta madre, de la cual se extrajo el material de propagación; esta forma constituye una reproducción clonal que garantiza la uniformidad del patrón en toda la plantación (León 2014).

En Guatemala, al igual que en otros países, la producción de planta de aguacate se basa principalmente en el uso de portainjertos originados por semilla, que en la mayoría de los casos su origen es desconocido. Los portainjertos de semilla presentan gran variabilidad en las plantaciones comerciales, lo cual se manifiesta en susceptibilidad a plagas y enfermedades, sequía, alternancia productiva, dificultad en el manejo, entre otros (Campos 2012).

2.5.2 Propagación vegetativa del portainjerto (reproducción asexual)

La clonación de plantas de aguacate consiste en producir plantas con características específicas a través de partes vegetativas, con el fin de preservar la pureza genética de un individuo sin correr el riesgo de la segregación de genes en la reproducción por semilla. Con esta técnica se rescató la industria de aguacates de California, al producir patrones con resistencia a la enfermedad tristeza del aguacate causada por el hongo *Phytophthora cinnamomi* (PROFRUTA 2000).

La obtención de portainjertos clonales es de suma importancia para asegurar la homogeneidad de los caracteres genéticos del cultivo, es decir que todas las plantas del huerto posean el mismo patrón seleccionado según su tipo de raíz, resistencia al calcio, los cloruros y las enfermedades etc.

El proceso de enraizamiento de las estacas consiste en la diferenciación de las células de los tejidos endógenos de la misma. En este proceso es necesaria la presencia de auxinas (hormonas decrecimiento) y cofactores, de allí la importancia de la presencia de yemas y hojas en la parte seleccionada de la planta madre, las hojas facilitan el enraizamiento y las yemas proporcionan los cofactores.

De acuerdo con Campos (2012) se ha desarrollado en Israel un sistema de propagación vegetativa (clonal) de patrones de aguacate, con tratamiento hormonal basado en aplicaciones de ácido indol-butírico (AIB).

2.5.3 Propagación por etiolación con acodo (Método Frolich)

2.5.3.1 Etiolación

La etiolación es el desarrollo de plantas o partes de la misma en ausencia de luz, que tiene como resultado hojas pequeñas no expandidas, brotes elongados y falta de clorofila, lo que da lugar a un color blanco de los tejidos (Puyas 2011).

La etiolación de brotes aumenta la concentración interna de auxinas, disminuye la lignificación de los tejidos, aumenta la acumulación de almidón en la región etiolada y disminuye el contenido de co-factores negativos del enraizamiento, especialmente de AIA-oxidasa.

El tiempo requerido en ausencia de luz para que los brotes sean adecuadamente etiolados, según reportan varios investigadores, es variable. En promedio se ubica entre 3 y 8 semanas.

En la mayoría de los casos y para fines de propagación, una vez que los brotes están totalmente etiolados, éstos son puestos en condiciones de luz para revertir el proceso de etiolación, manteniendo etiolada sólo la porción donde posteriormente tendrá lugar el enraizamiento (Campos 2012).

2.5.3.2 Aplicación exógena de auxinas en el proceso de etiolación

La presencia de la auxina es reconocida como un factor que promueve la formación de raíces adventicias, la aplicación de reguladores de crecimiento tipo auxinas como el ácido indolbutírico (AIB) puede incrementar la concentración interna de la hormona, reforzar su efecto y mejorar la calidad de las raíces (Campos 2012).

Diversos trabajos de investigación han determinado que, entre las auxinas sintéticas más utilizadas están, el Ácido Indol-butirico (AIB) y el Ácido Naftalenacetico (ANA). El Ácido Indol-butirico (AIB) ha aumentado de manera significativa el número de raíces que producen los esquejes tratados (Campos 2012).

Respecto a la forma de acción de la auxina sintética, algunos investigadores indican que no actuaría como auxina sino como protector de la auxina endógena, dirigiéndola a la formación de ciertos compuestos fenólicos, entre otros, que podrían ser empleados en el proceso de enraizamiento (Maradiaga 2017).

2.5.3.3 Acodo

De acuerdo con Campos (2012), el acodo es una forma de propagación clonal en la que las raíces adventicias se promueven e inician en una rama que aún está unida a la planta madre. La rama enraizada, o acodo es separado y se convierte en una planta íntegra que cuenta con sus propias raíces y su propio sistema caulinar. La acumulación de fotosintatos y hormonas endógenas en el área de enraizamiento son factores de mucha importancia en el éxito del proceso, que puede además ser promovido por tratamientos externos como anillado, cortes o heridas, doblado de ramas o aplicaciones de hormonas sintéticas como el AIB. El acodo se utiliza con frecuencia para propagar especies que forman raíces con mucha dificultad, siendo éste el caso del aguacate, por lo que, gran parte de los trabajos, tanto a nivel de investigación como comercial, consideran el uso del acodo para la propagación clonal de portainjertos de aguacate. En el año 1983, algunos investigadores ya describían la técnica de propagación clonal de aguacate, a la que llamaron “franqueamiento” (en el Perú se conoce también como “afrancamiento”), en el cual se acoda el brote joven del portainjerto que se desea propagar vegetativamente sin que sea previamente etiolado. Sin embargo, utilizando esta técnica y con tratamiento de AIB $10,000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$, se encontró que, 160 días después de aplicado los tratamientos no se observó una respuesta positiva en ‘Hass’, mientras que en ‘Martin Grande’ se alcanzó un 54% de enraizamiento, pero la mitad de los brotes tuvieron menos de tres raíces.

Es importante señalar que, la etiolación es un procedimiento fundamental para el éxito de la propagación clonal de patrones de aguacate por acodo. Por eso, es que la técnica de Frolich y Platt (1971) también sirve de base en la aplicación de este método de

propagación, en la mayoría de los casos. En Perú, se empleó la técnica de etiolación de brotes en acodo de aguacate, basado también en la metodología de Frolich y Platt, usando el estrangulamiento antes del acodado para promover raíces y trabajando con tiempos de etiolación que fueron desde 4 hasta 8 semanas, y tiempos de enraizamiento desde 100 hasta 160 días después del acodado, obteniéndose los mejores resultados para todas las evaluaciones con 4 a 6 semanas de etiolación y 140 a 160 días de enraizamiento (Campos 2012).

2.6 Cultivo de tejidos vegetales en aguacate

La regeneración de especies leñosas por cultivo de tejidos presenta varias dificultades y el aguacate no es una excepción ya que ha demostrado ser altamente recalcitrante al cultivo *in vitro*, sin embargo, es necesario optimizar los protocolos para cada cultivar. Es preferible utilizar tejidos juveniles o rejuvenilizados a partir de tejidos adultos para conseguir resultados satisfactorios.

Se requiere una considerable cantidad de investigación para desarrollar un protocolo exitoso para la regeneración *in vitro* y micropropagación de aguacate. Básicamente la investigación debe enfocarse sobre los siguientes aspectos: selección de explantes, pretratamiento de la o las planta (s) madre, medio de cultivo, condiciones de crecimiento del cultivo, tipos de hormonas en las diferentes etapas; todas estas condiciones son específicas para cada cultivar por lo que es necesario adaptar los protocolos para cada material de interés (Hiti-Bandaralage 2017).

La micropropagación de aguacate está enfocada en propagar masivamente portainjertos de interés comercial, principalmente con resistencia a enfermedades transmitidas por el suelo, o tolerancia a condiciones de suelos salinos o calcáreos, así como para revitalizar material adulto que posteriormente podría multiplicarse por técnicas convencionales (Ibarra 2015).

2.7 Reguladores del crecimiento (fitohormonas)

Las fitohormonas son por definición, compuestos orgánicos sintetizados por las plantas superiores, que influyen sobre el crecimiento y desarrollo; que actúan generalmente en lugares diferentes de donde son producidas y se encuentran presentes y activas en muy pequeñas cantidades. También se han desarrollado otro tipo de hormonas sintéticas que pueden tener un efecto semejante a las naturales (Valentín 2005).

2.7.1 Auxinas

Las auxinas comprenden una gran familia de sustancias, que tienen en común la capacidad de producir un agrandamiento y alargamiento celular; sin embargo, se ha encontrado al mismo tiempo que promueven la división celular en los tejidos (Valentin 2005).

La auxina se sintetiza principalmente en los ápices de tallos y raíces, de donde migra a la zona de elongación y a otras zonas donde ejercerá su acción.

Las auxinas son ampliamente utilizadas en trabajos de propagación y son para promover el crecimiento de callo u órganos y para regular la morfogénesis, juntamente con las citoquininas.

2.7.2 Efectos de las auxinas

- a. Inducción de la formación de callo.
- b. Inhibición de formación de clorofila.
- c. Morfogénesis: formación de raíz y brote.
- d. Embriogénesis somática: altos niveles de auxina 2,4-D.
- e. Cultivo de órganos. Una auxina es casi invariablemente requerida para promover el crecimiento inicial de explantes de meristemo y puntas de brotes.

Entre las auxinas más utilizadas se tiene: AIB (ácido indol-butírico), AIA (ácido indolacético), ANA (ácido naftalenacético), ácido 2,4-D (ácido 2,4-Diclorofenoxiacético). El PCA (ácido paraclorofenoxiacético) (Hurtado 1987).

3. OBJETIVOS

General

Contribuir al desarrollo de tecnología del cultivo del aguacate en Guatemala aplicando métodos convencionales para el establecimiento de un sistema de propagación de plantas.

Específicos

1. Determinar la respuesta de enraizamiento de injertos de seis portainjertos de aguacate tratados con diferentes concentraciones de las auxinas Ácido Indol-butírico y Ácido Naftalenacético bajo el método de etiolación más acodo en condiciones de invernadero.
2. Determinar la respuesta de enraizamiento de injertos de seis portainjertos de aguacate tratados con diferentes tiempos de etiolación más acodo bajo condiciones de invernadero.
3. Determinar la respuesta de sobrevivencia al transplante y adaptación a invernadero de plántulas de seis portainjertos de aguacate provenientes de los tratamientos de etiolación más acodo con auxinas.
4. Determinar los costos de producción de las plantas obtenidas en los tratamientos estadísticamente superiores para cada método evaluado.

4. HIPÓTESIS

Ha1.: Uno de los tiempos de etiolación evaluados bajo el método de etiolación más acodo presentará diferencia estadística significativa en el enraizamiento de seis portainjertos de aguacate.

Ha2.: Una de las concentraciones de Ácido Indol-butírico evaluadas bajo el método de etiolación más acodo presentará diferencia estadística significativa en el enraizamiento de seis portainjertos de aguacate.

Ha3.: Una de las concentraciones de Ácido Naftalenacético evaluadas bajo el método de etiolación más acodo presentará diferencia estadística significativa en el enraizamiento de seis portainjertos de aguacate.

5. METODOLOGÍA

5.1 Localidad y época

La investigación se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Biotecnología, Centro de Producción del Altiplano Occidental -CEPALO-, ICTA-, Olinstepeque, Quetzaltenango. El centro de producción se encuentra localizado en las coordenadas siguientes:

Latitud Norte: 14°52'16" y Longitud Oeste: 91°30'52", a una altitud de 2,373 metros sobre el nivel del mar.

La investigación se realizó bajo condiciones semi-controladas (invernadero), ya que el material vegetal colectado en campo fue llevado a los invernaderos del laboratorio de Biotecnología.

5.2 Material vegetal

Se realizó la investigación con materiales nativos de aguacate caracterizados agronómica y fisicoquímicamente por el ICTA (Vásquez 2006). Se seleccionaron los materiales provenientes de diferentes ambientes y altitudes: Costa (0 a 800 msnm), Boca Costa (801 a 1,800 msnm), Altiplano (1,801 a 3,000 msnm).

Portainjertos

Zona de Costa

1. Portainjerto ICTA-Catarina I
2. Portainjerto ICTA-Retalhuleu V

Zona de Boca Costa

3. Portainjerto ICTA-El Rincón IV
4. Portainjerto ICTA-Santa María V

Zona de Altiplano

5. Portainjerto ICTA-Llano Grande I
6. Portainjerto ICTA-Cabricán XVII

5.3 Método

5.3.2 Método de etiolación más acodo

Se utilizó el método de propagación por etiolación con acodo más auxinas: Método Frolich modificado por SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación de México) según la metodología descrita por Campos (2012).

5.3.2.1 Diseño experimental

Diseño de Bloques al azar con arreglo factorial

5.3.2.2 Tratamientos

Factores:

- A.** Portainjerto
- B.** Tiempo de Etiolación
- C.** Concentración de auxina AIB y ANA

A. Portainjertos

Materiales o niveles:

1. Portainjerto ICTA-Catarina I
2. Portainjerto ICTA-Retalhuleu V
3. Portainjerto ICTA-El Rincón IV
4. Portainjerto ICTA-Santa María V
5. Portainjerto ICTA-Llano Grande I
6. Portainjerto ICTA-Cabricán XVII

B. Tiempo de Etiolación

- T1 = 4 semanas
- T2 = 6 semanas
- T3 = 8 semanas

C. Concentración de auxina

1. 0 mg/l (testigo)
2. 5000 mg/l
3. 10 000 mg/l
4. 15 000 mg/l

5.3.2.3 Tamaño de la unidad experimental

Unidad experimental: 6 plantas injertadas con cada variedad, tres (3) repeticiones por tratamiento.

5.3.2.4 Modelo estadístico

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \gamma_k + (\tau\beta)_{ij} + (\tau\gamma)_{ik} + (\beta\gamma)_{jk} + (\tau\beta\gamma)_{ijk} + u_{ijk}$$

5.3.2.5 Variables de respuesta

- Plantas enraizadas %
- Numero de raíces por planta
- Longitud de raíces (cm)
- Supervivencia de plántulas al trasplante %

5.3.2.6 Manejo del experimento

Obtención de patrones para plantas madre. Los patrones temporales se obtuvieron de un vivero ubicado en Chimaltenango. Éstos provenían de semilla botánica criolla, por lo que eran muy heterogéneos.

Los patrones temporales fueron establecidos bajo las condiciones de invernadero del laboratorio de biotecnología del ICTA, en el cual se les dio el manejo agronómico adecuado.

Obtención e injerto de materiales promisorios. El material vegetal se obtuvo de los lugares originarios de cada uno de materiales nativos: Catarina, San Marcos; Retalhuleu, Retalhuleu; San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango; Santa María de Jesús, Zunil, Quetzaltenango; San Pedro Sacatepéquez, San Marcos; y Cabricán, Quetzaltenango.

Posteriormente se realizó el injerto de los materiales nativos sobre los patrones de las plantas nodrizas con la técnica de púa lateral.

Etiolación en cámara oscura. Una vez que las yemas empezaron a brotar se introdujeron las plantas en una cámara oscura por 4, 6 y 8 semanas, dependiendo del tratamiento de etiolación, donde se les aplicó riego periódico, conforme las necesidades de cada planta.

Aplicación de las auxinas AIB y ANA. Luego del tiempo determinado para la etiolación, se aplicará el tratamiento con auxina, dependiendo del tratamiento IBA o ANA, se insertó un palillo en la sección del tallo etiolado, previamente esterilizado y embebido en la solución de auxina por 24 h, y se procedió a realizar el acodo.

Realización del acodo. El acodo que se realizó es una modificación realizada por Campos (2012,) la cual consiste en que la zona etiolada y tratada con auxina, se cubre con un vaso de plástico transparente de 500 ml en el cual se podrán visualizar las raíces en un periodo de 70 a 80 días después de la aplicación de la fitohormona.

Trasplante. Cuando se observaron las raíces adventicias, se separó la nueva planta a partir de la planta madre. Se procedió al trasplante en una maceta y se colocó bajo sombra para el endurecimiento del acodo.

5.4 Análisis de la Información

Análisis estadístico. En la propuesta aprobada del proyecto se planteó realizar un análisis de los datos obtenidos mediante el programa Infostat. Específicamente un Análisis de Varianza de los datos obtenidos en la investigación, para cada una de las variables con el fin de determinar la significancia estadística entre tratamientos. No fue posible realizar este

análisis porque se tuvo pérdida de plantas en todas las etapas de la investigación, desde la injertación hasta la aplicación de fitohormonas. Se realizó un análisis de tipo descriptivo con los datos obtenidos de las plantas que sobrevivieron y respondieron a los tratamientos aplicados en esta investigación.

Análisis económico. Se determinó los costos de producción de las plantas obtenidas en el mejor tratamiento.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Reparación y acondicionamiento de áreas de invernadero y etiolación

Se realizó la reparación de un invernadero que se encontraba completamente deteriorado por el paso del tiempo, el uso y la falta de recursos para su renovación. Con fondos del proyecto se hizo una reparación de la estructura y cambio de láminas, quedando en buenas condiciones para realizar actividades del proyecto. En este mismo invernadero, se acondicionó un área para realizar la actividad de etiolación de los portainjertos nativos injertados sobre el patrón criollo temporal (figura 1).



Figura 1. Mejoramiento de invernadero y área de etiolación

6.2 Selección y obtención del material vegetal

6.2.1 Portainjertos temporales.

Se procedió a la adquisición de los patrones temporales para la injertación de los materiales nativos de interés para el proyecto. Estos patrones criollos fueron adquiridos en un vivero de La Alameda, departamento de Chimaltenango, por lo que fue necesario transportarlos a las instalaciones del laboratorio de Biotecnología en donde se desarrolla el proyecto (figura 2).



Figura 2. Transporte de patrones criollos (patrones temporales)

6.2.2 Portainjertos nativos

Se realizó la localización de los árboles de los portainjertos nativos en las diferentes áreas de ubicación de los mismos. El portainjerto ICTA-Retalhuleu fue localizado en San Sebastián, Retalhuleu; ICTA-Catarina se localizó en el municipio de Catarina, San Marcos; ICTA-El Rincón en el Rincón, San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango; ICTA-Santa María en Santa María de Jesús, Zunil, Quetzaltenango; ICTA-Cabricán en Cabricán, Quetzaltenango; e ICTA-Llano Grande en el jardín clonal de ICTA, Chimaltenango (figuras 3 a 8). Se inició la obtención de material vegetativo para injertación en cada una de las localidades mencionadas (figura 9). Los árboles tenían una altura de más de 5 metros, y de acuerdo con el Sr. Gonzalo García, en comunicación personal (2019), estos árboles eran muy viejos, aproximadamente entre 30 a 40 años de edad, excepto los árboles de ICTA-Llano Grande. Esta condición de la edad de los árboles es importante en los resultados que se obtuvieron finalmente.

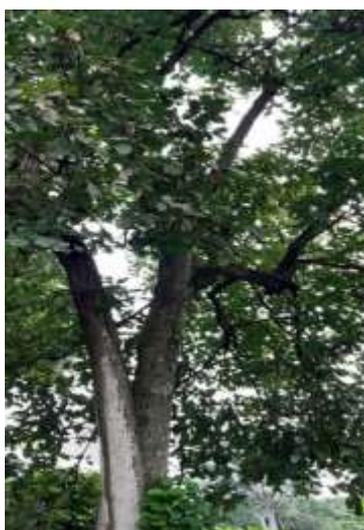


Figura 3. Árbol de ICTA-Retalhuleu



Figura 4. Árbol de ICTA-Catarina



Figura 5. *Árbol de ICTA-El Rincón*



Figura 6. *Árbol de ICTA-Santa María*



Figura 7. *Árbol de ICTA-Cabricán*



Figura 8. *Árbol de ICTA-Llano Grande*



Figura 9. *Varetas recolectadas*

6.3 Injertación de portainjertos nativos

Como se indicó en el inciso anterior, se inició la recolección de material vegetativo de los portainjertos nativos en las diferentes zonas de origen de los mismos. Se realizó el procedimiento de injertación, utilizando el método de púa lateral descopado, utilizando como portainjertos temporales las plantas criollas adquiridas en un vivero de Chimaltenango (Figuras 10 y 11).

Se observó un problema de bajo porcentaje de sobrevivencia (“pegue”) de los injertos (Tabla 1), este inconveniente se atribuyó principalmente a la producción de fenoles de los materiales nativos de aguacate y a la edad de los árboles. Con la aplicación de solución de ácido ascórbico, como antioxidante, se redujo mínimamente este problema en algunos de los portainjertos, pero todavía el porcentaje de sobrevivencia o prendimiento fue menor al 33% (Tabla 2). Los portainjertos ICTA-Llano Grande e ICTA- Catarina presentaron los porcentajes más bajos de sobrevivencia con 6% y 8%, respectivamente (Tabla 2). En el mes de enero del año 2020, se planificó recolectar más material vegetativo de los portainjertos nativos, para aplicar además del antioxidante, soluciones hormonales que mejoraran el prendimiento de los injertos.

Se realizó diferentes viajes para la recolección de material vegetativo (varetas), de los portainjertos nativos, en las localidades de Aldea El Rincón, San Martín Sacatepéquez, Quetzaltenango, San Sebastián, Retalhuleu; Santa María de Jesús, Zunil, Quetzaltenango y

San Pedro Sacatepéquez, San Marcos, pero no fue posible la recolección de material vegetativo, como se había planificado, debido a que los árboles se encontraban en etapa de floración y las yemas vegetativas se hallaban en etapa muy temprana, no apropiadas para la injertación. Se recolectó frutos, para obtener las semillas, se procedió a germinarlas y así, se obtuvo plantas a partir de semilla vegetativa, cuyos brotes fueron utilizados en la investigación (Figuras 15 y 16).

A principios del año 2020, se solicitó una ampliación en el plazo de ejecución del proyecto, la cual fue aprobada, sin embargo, debido a problemas causados por la pandemia COVID-19, ya no fue posible realizar esa actividad. Se continuó con las plantas que habían sobrevivido a la injertación de los portainjertos nativos para realizar el tratamiento con etiolación y con plantas provenientes de semilla recolectada en cuatro localidades.



Figura 10. Procedimiento de injertación: método de púa lateral descopado



Figura 11. Portainjertos nativos injertados



Figura 12. Pérdida de injertos por marchitamiento/falta de “pegue” o prendimiento



Figura 14. Injertos con crecimiento activo

Tabla 1

Sobrevivencia de injertos de materiales nativos de aguacate provenientes de cuatro localidades

Portainjerto	% de sobrevivencia (“pegue”)
ICTA-Llano Grande	2
ICTA- Santa María	20
ICTA- Retalhuleu	14
ICTA- Catarina	6

Laboratorio de Biotecnología, ICTA, Quetzaltenango. 2021

Tabla 2

Sobrevivencia de injertos de materiales nativos de aguacate provenientes de seis localidades, con aplicación de antioxidante

Portainjerto	% de sobrevivencia (“pegue”)
ICTA- Retalhuleu	24
ICTA- Catarina	8
ICTA- Santa María	28
ICTA-Cabricán	12
ICTA-Llano Grande	6
ICTA- El Rincón	33

Laboratorio de Biotecnología, ICTA, Quetzaltenango. 2021



Figura 15. Frutos recolectados de los portainjertos nativos



Figura 16. Plantas provenientes de semillas de los portainjertos nativos

6.4 Etiolación

Se realizó la etiolación de los injertos que presentaron prendimiento y desarrollo del brote principal, de los materiales recolectados e injertados en los meses de noviembre y diciembre del año 2019 (Figuras 17 y 18). Al finalizar los períodos de etiolación se procedió a realizar los tratamientos hormonales y los acodos sobre las plantas que sobrevivieron a la injertación y a la etiolación.

En la Tabla 3, se presenta los porcentajes de sobrevivencia a la etiolación de seis portainjertos nativos, se tomó estos datos independientemente del periodo de tiempo de la etiolación porque las plantas murieron antes de las 4 semanas, que era el periodo de tiempo más corto para el tratamiento con obscuridad (Figura 19). Los materiales ICTA-Catarina, ICTA-Cabricán e ICTA-Llano Grande, resultaron más afectados por el tratamiento con obscuridad.

En el año 2020, se realizó la etiolación de las plantas provenientes de semilla, de los portainjertos nativos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande. Con estas plantas se tuvo un 100% de sobrevivencia a la etiolación (Figura 20).



Figura 17. Plantas injertadas, en cámara de etiolación



Figura 18. Brote etiolado



Figura 19. Brote muerto durante el procedimiento de etiolación

Tabla 3

Sobrevivencia a la etiolación de cada portainjerto nativo

Portainjerto	% sobrevivencia a la etiolación
ICTA- Retalhuleu	65
ICTA- Catarina	20
ICTA- Santa María	73
ICTA-Cabricán	58
ICTA-Llano Grande	52
ICTA- El Rincón	59

Laboratorio de Biotecnología, ICTA, Quetzaltenango. 2021



Figura 20. Brotes etiolados de plantas provenientes de semilla

6.5 Aplicación de auxinas y acodado

De acuerdo con la metodología establecida, se realizó las diluciones de las auxinas AIB y ANA para las 3 concentraciones planteadas en la metodología (Figura 21). En las figuras 22 y 23 se muestra el procedimiento para la aplicación de la fitohormona y realización de acodos en los brotes etiolados. En la tabla 4, se observa que, con los portainjertos ICTA- Retalhuleu e ICTA- Santa María, se obtuvo hasta un 90% de sobrevivencia al acodo con la aplicación de AIB y ANA, con las concentraciones 5000 y 10 000 mg/l. Los otros portainjertos también respondieron a las concentraciones de AIB y ANA, logrando entre un 50 y 75% de sobrevivencia. Se observó que la concentración de 15 000 mg/l, tanto para AIB como para ANA, fue negativa sobre la sobrevivencia de todos los portainjertos (Figura 25).



Figura 21. Diluciones de las fitohormonas AIB y ANA



Figura 22. Procedimiento para aplicación de fitohormona y realización de acodo



Figura 23. Acodo finalizado



Figura 24. Crecimiento de plantas acodadas



Figura 25. Planta muerta después del procedimiento de acodo más aplicación de fitohormonas

Tabla 4

Sobrevivencia al procedimiento de acodo con aplicación de las fitohormonas AIB y ANA, en seis portainjertos nativos

Portainjerto	% sobrevivencia Tratamiento con fitohormona AIB (mg/l)			% sobrevivencia Tratamiento con fitohormona ANA (mg/l)		
	5000	10 000	15 000	5000	10 000	15 000
	ICTA- Retalhuleu	85	80	0	90	90
ICTA- Santa María	90	70	0	90	80	0
ICTA- Cabricán	75	0	0	60	0	0
ICTA-Llano Grande	70	60	0	75	70	0
ICTA- El Rincón	60	0	0	70	50	0
ICTA- Catarina	50	0	0	50	0	0

Laboratorio de Biotecnología, ICTA, Quetzaltenango. 2021

6.6 Enraizamiento

En el inciso correspondiente a metodología, se indicó que no se realizó el análisis estadístico planteado en la propuesta aprobada del proyecto, porque no se contaba con suficientes datos de enraizamiento de los portainjertos nativos de aguacate sujetos a estudio en esta investigación. Sin embargo se realizó un análisis descriptivo de la variable enraizamiento con los datos obtenidos de los tratamientos en los que se tuvo resultados positivos. Es importante indicar que el tiempo de enraizamiento fue de 3 a 4 meses.

6.6.1 Variable porcentaje de plantas enraizadas

A partir de los datos obtenidos de la variable porcentaje de plantas enraizadas de seis portainjertos nativos, en la tabla 5, se presentan los porcentajes de plantas enraizadas, correspondientes a cuatro portainjertos nativos que fueron tratados con tres tiempos de etiolación y posteriormente con cuatro concentraciones de las fitohormonas AIB y ANA, incluyendo al tratamiento testigo, 0 mg/l (C1), cuyos datos no se presentan porque no se obtuvo plantas enraizadas. Tampoco se presentan los datos de los otros dos portainjertos porque no formaron raíces. En esta tabla se observa que el tratamiento C2, ANA 5000 mg/l, con un tiempo de etiolación T3, 8 semanas, presentó entre 67% y 88% de plantas enraizadas para los cuatro portainjertos nativos estudiados. Seguido del tratamiento C2, AIB 5000 mg/l con un tiempo de etiolación T3, 8 semanas, con más del 30% de plantas enraizadas de los cuatro portainjertos nativos. En la figura 28, se puede apreciar una comparación entre los tratamientos con ANA y AIB con los datos obtenidos de la tabla 5. Esta figura permite visualizar las diferencias en los porcentajes de enraizamiento entre la auxina AIB (barras color amarillo) y la auxina ANA (barras de color verde) de cuatro portainjertos nativos de aguacate. En las figuras 26 y 27, se muestra el desarrollo de raíces de los acodos de los portainjertos nativos.

Además, en la tabla 5, se puede observar que no se tuvo datos en los tratamientos con altas concentraciones de AIB y ANA (C4 15 000 mg/l), los brotes etiolados tratados con esta concentración murieron en su totalidad en los cuatro portainjertos nativos. Con el tiempo de etiolación T1, 4 semanas, no se observó el desarrollo de raíces.

Tabla 5

Porcentaje de plantas enraizadas de cuatro portainjertos nativos tratados con tres tiempos de etiolación y cuatro concentraciones de AIB y ANA

Portainjerto	% plantas enraizadas Tratamiento con fitohormona AIB (mg/l)									% plantas enraizadas Tratamiento con fitohormona ANA (mg/l)								
	C2 (5000)			C3 (10 000)			C4 (15 000)			C2 (5000)			C3 (10 000)			C4 (15 000)		
Tiempo de etiolación	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3	T1	T2	T3
ICTA-Retalhuleu	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	67	0	0	0	0	0	0
ICTA-Rincón El	0	33	60	0	0	0	0	0	0	0	0	80	0	0	20	0	0	0
ICTA-Santa María	0	25	43	0	0	0	0	0	0	0	57	71	0	0	14	0	0	0
ICTA-Llano Grande	0	12	67	0	0	14	0	0	0	0	20	88	0	16	0	0	0	0

Laboratorio de Biotecnología, ICTA, Quetzaltenango. 2021



Figura 26. Inicio de desarrollo de raíces



Figura 27. Raíces desarrolladas en los portainjertos nativos

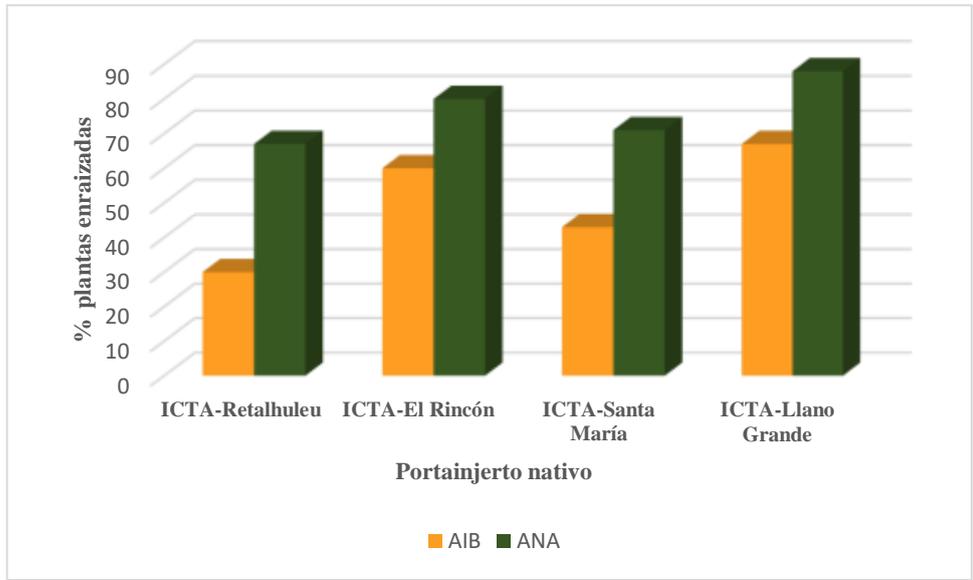


Figura 28. Porcentaje de plantas enraizadas de cuatro portainjertos nativos de aguacate

6.6.2 Variable número de raíces

En la figura 29, se presenta una gráfica comparativa del número de raíces obtenido para cuatro portainjertos nativos, con el tratamiento C2, ANA 5000 mg/l y el tratamiento C2, AIB ,000 mg/l, ambos con un tiempo de etiolación T3, 8 semanas.

Los portainjertos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, presentaron un número promedio de raíces de 17.3, 35.3, 38.0 y 36.5, respectivamente, con el tratamiento C2, AIB 5000 mg/l, en comparación con 30.2, 58.0, 43.8 y 47, que presentaron los portainjertos en el mismo orden, con el tratamiento C2, ANA 5000 mg/l, en los dos casos con un tiempo de etiolación T3, 8 semanas.

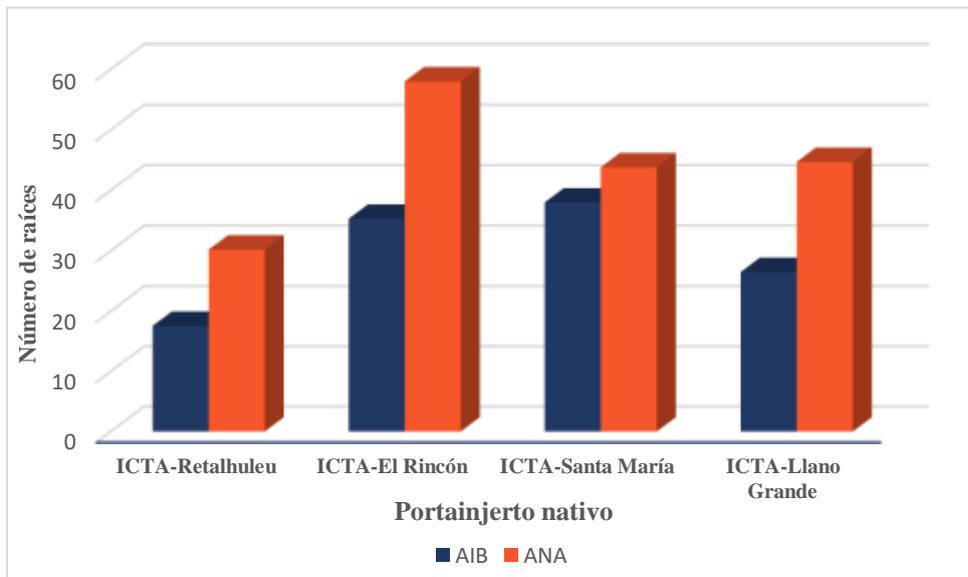


Figura 29. Variable Número de raíces de cuatro portainjertos nativos de aguacate

6.6.3 Variable Longitud de raíces

En la figura 30, se presenta una gráfica comparativa de la longitud de raíces obtenida para cuatro portainjertos nativos, con el tratamiento C2, ANA 5000 mg/l y el tratamiento C2, AIB 5000 mg/l, ambos con un tiempo de etiolación T3, 4 semanas.

Los portainjertos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, presentaron una longitud promedio de raíces (cm), de 5.8, 6.1, 6.6 y 6.95, respectivamente, con el tratamiento C2, AIB 5000 mg/l, en comparación con 8.8, 14.9, 13.1 y 9.0, que presentaron los portainjertos en el mismo orden, con el tratamiento C2, ANA 5000 mg/l, en ambos casos con un tiempo de etiolación T3, 4 semanas.

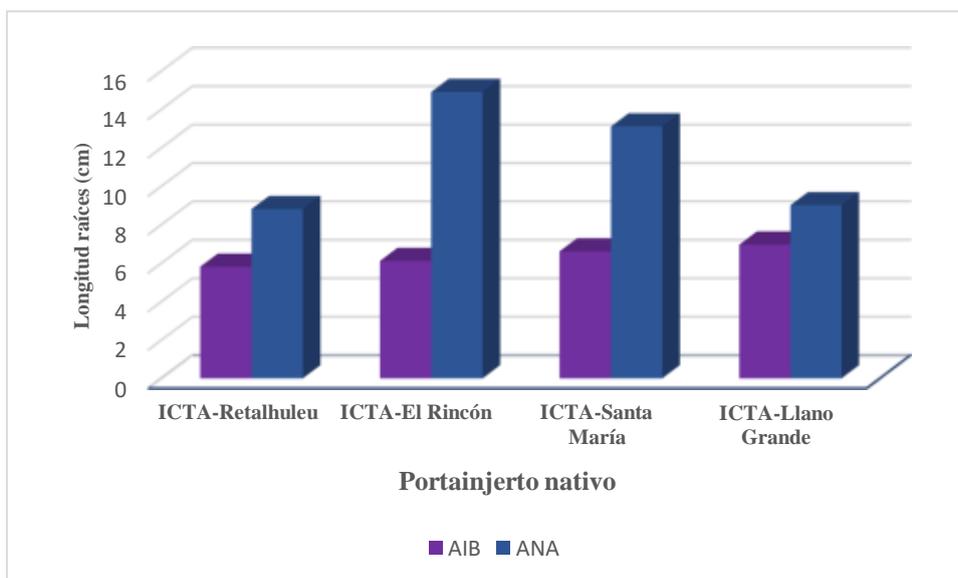


Figura 30. Variable longitud de raíces de cuatro portainjertos nativos de aguacate

6.6.4. Variable Supervivencia de plantas al trasplante

Se determinó un 100% de supervivencia al trasplante de las plantas producidas por el método de etiolación más acodo de los portainjertos nativos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, 1 mes después del trasplante, en todos los tratamientos en los cuales se obtuvo plantas enraizadas. En las figuras 31 y 32, se muestran algunos aspectos del trasplante.



Figura 31. Transplante de las plantas obtenidas por acodo de los portainjertos nativos



Figura 32. Plantas transplantadas a maceta

6.7 Discusión de resultados

La obtención de portainjertos clonales es de suma importancia para asegurar la homogeneidad de los caracteres genéticos del cultivo, es decir que todas las plantas del huerto posean el mismo patrón seleccionado según su tipo de raíz, resistencia al calcio, los cloruros y las enfermedades etc. (Campos 2012). El objetivo principal de esta investigación fue adaptar el método de etiolación más acodo con aplicación de fitohormonas para la clonación de portainjertos nativos, que hipotéticamente presentan características de resistencia/tolerancia a *Phytophthora cinnamomi*. La confirmación de esa hipótesis se realizó en otra investigación paralela a la presente. De acuerdo con Pullas (2011), en el cultivo del aguacate se están empleando principalmente, portainjertos resistentes a la “Pudrición radical” causada por *Phytophthora cinnamomi*, también portainjertos tolerantes

a suelos con problemas de salinidad y recientemente crece el interés por reducir el porte de los árboles.

El método de propagación de portainjertos clonales se inició con los investigadores Frolich y Platt en el año 1972, de la Universidad de California, Riverside, Estados Unidos. Esta metodología innovadora para la obtención de portainjertos por métodos vegetativos revolucionó la forma de propagar el aguacate en todo el mundo. El uso comercial de esta técnica se hizo popular en la década de 1970 en California, cuando algunos viveros substituyeron los portainjertos de semillas por portainjertos clonales con características de tolerancia a patógenos (principalmente a *Phytophthora cinnamomi*), tolerancia a déficit hídrico y a suelos salinos, entre otras características (Alberti et al. (2017)). En algunos países productores de aguacate, como México, se encuentra ampliamente difundida la propagación de portainjertos de aguacate por el método de etiolación con acodo (método Frolich, 1971) y el uso de fitohormonas para el enraizamiento de los mismos (Campos 2012), sin embargo en Guatemala no se tenían antecedentes del uso de este método para la propagación de patrones de aguacate, por lo que los resultados de esta investigación constituyen un punto de partida para realizar investigaciones en el futuro.

La semilla ‘madre’ es fuente de nutrimentos para el desarrollo inicial del portainjerto temporal, por esta razón para obtener una semilla libre de plagas y patógenos es necesario recolectarla directamente de la planta matriz, en el estado de madurez fisiológica del fruto, momento ideal para la germinación del embrión. Después de la extracción manual de las semillas de los frutos, estas deben ser lavadas con agua corriente de modo que se pueda remover totalmente la película que las envuelve. Posteriormente, son expuestas en un lugar sombreado por algunos días hasta que se sequen completamente, cuando entonces son llevadas a una mesa de pre-germinación, donde son raspadas en la parte basal, con el objetivo de anticipar la emisión de la radícula y posteriormente son desinfectadas con fungicidas (Alberti et al. (2017)). En el caso de la presente investigación, por razones de tiempo, se adquirieron los portainjertos temporales de un vivero localizado en Chimaltenango, por lo que presentaban una gran variabilidad por provenir la semilla de diferentes árboles, también algunas plantas mostraron problemas de fitosanidad.

Según Campos (2012), la propagación clonal de patrones, sobre los cuales se injerta el cultivar deseado, es la única posibilidad de tener una plantación constituida por plantas genéticamente uniformes en su totalidad. Esta es la tendencia mundial, en lo que respecta a la propagación de aguacate. Sin embargo, la marcada dificultad congénita del aguacate para formar raíces adventicias complica el proceso y resta eficiencia a las sofisticadas y costosas tecnologías que se siguen ensayando en diversas partes del mundo para la producción comercial de portainjertos clonales. La necesidad de superar dichas dificultades obliga a seguir buscando y/o adecuando tecnologías que reduzcan el costo y vuelvan más eficientes este tipo de propagación.

El enraizamiento es un proceso regenerativo a través del cual se forman raíces adventicias. Se denomina raíz adventicia a cualquier raíz que se constituye a partir de un tejido que no es la radícula del embrión. A pesar de haber sido estudiado e investigado ampliamente, la biología fundamental y el factor que desencadena la formación de raíces adventicias aún son desconocidos (Hartmann *et al.* 1997).

En aguacate, el tiempo que toma el enraizamiento de los tejidos del tallo suele ser variable y depende del método utilizado, las condiciones ambientales y las características del genotipo estudiado (Salazar *et al.* 2004). De acuerdo con la literatura consultada, después

de aproximadamente 8 semanas los brotes ya están enraizados (Alberti 2017). En la investigación de Pullas (2011), se determinó que el portainjerto mejorado Duke 7, presentó la mejor respuesta para la formación de raíces con AIB (10 000 ppm) con un promedio de 56.38 días; mientras que, en el segundo rango la menor respuesta se ubicó con AIB (5000 ppm) con un promedio de 59.00 días. En los resultados de la presente investigación el tiempo de enraizamiento de los portainjertos fue mayor, con un promedio de 3 a 4 meses, aunque hay que tomar en cuenta que, en otras investigaciones han realizado la toma de datos desde la aparición de primordios radiculares de pocos milímetros de longitud, pero en este estudio, se esperó hasta la formación raíces secundarias.

Pullas (2011), indica que, además de la selección de un material adecuado de propagación, otro aspecto poco estudiado está referido al manejo del material madre para la obtención de la púa clonal. Se mencionan la importancia e influencia del adecuado manejo de las plantas madres proveedoras de púas clonales en aguacate, y concentrarse en disminución de pérdidas de plantas durante la etapa de injertación en la técnica de propagación clonal. Se mencionó en el inciso de resultados, la pérdida que se tuvo de brotes injertados de todos los portainjertos nativos objeto de esta investigación.

La principal limitante en la propagación clonal de portainjertos de aguacate, recae en la dificultad de los procedimientos, como consecuencia de la extremadamente limitada disposición genética de sus tejidos para formar raíces adventicias, lo que se ve reflejado en costos muy elevados en comparación a la propagación por semilla. A pesar de ello, la producción comercial de portainjertos clonales se ha incrementado en muchos países que son importantes productores (Pullas 2011). Se reporta que, ya desde el año 2000, un estudio en California (EE.UU.), indicó que de los más de 370 000 árboles de aguacate vendidos por los viveros, cerca de 50% fueron árboles sobre patrones clonales. Por la misma época, en Sudáfrica el más grande vivero de aguacates, Westfalia Nursery, tenía una capacidad anual de producir 140,000 plantas sobre patrones clonales (Campos 2012). El precio promedio de una planta de aguacate para portainjerto, producida clonalmente, es de aproximadamente \$USD 12.00. En este estudio se determinó un costo de Q. 66.65 por cada planta producida por el método de etiolación más acodo con aplicación de fitohormonas.

La dificultad del aguacate para formar raíces adventicias, es una característica que varía de acuerdo a los diferentes genotipos. De manera general, los esquejes de aguacates mexicanos tienen mejor comportamiento que los de la raza Guatemalteca, y éstos mejor que los Antillanos (Pullas 2011).

En especies como el aguacate que son difíciles de enraizar, la edad de la planta madre de la que se usan o toman los brotes para su propagación clonal, es un factor de mucha importancia (Hartmann *et al.* 1997). Desde mucho tiempo atrás se ha reportado que la capacidad de enraizamiento en el aguacate disminuye al aumentar la edad de la planta madre, comportamiento que se relacionó con el llamado factor de juvenilidad. Estudios más recientes corroboran esta relación. Kadman (1976) citado por Campos (2012), trabajando con el cultivar Mexicola, logró 100% de enraizamiento de esquejes que provenían de plántulas de 6 meses y sólo 30% cuando éstas ya tenían 12 meses. Esta alta capacidad de enraizamiento de estacas de plántulas de aguacate también fue reportada por Krezdorn y Marte (1976) en varios cultivares (Campos 2012).

Las varetas deben ser obtenidas de árboles adultos mayores de 5 años; sanos, libres de plagas y enfermedades, poco alternantes y productivos. Se elegirán varetas del último crecimiento que presenten yemas bien formadas, hinchadas (a punto de brotar). Deben de

colectarse después de la brotación, con un grosor de 0.5 a 1.5 cm. de un tamaño de 10 a 12 cm con 4 a 6 yemas (Campos 2012). En la presente investigación, se hizo referencia a la edad de los portainjertos nativos en el inciso selección y obtención del material vegetal, eran árboles de entre 30 a 40 años de edad, por lo que, se presentaron problemas desde la injertación. Como se indica en la literatura las ramas de la planta al envejecer, pierden su capacidad para enraizar, también, las hojas al volverse senescentes, tienden a perder su poder estimulante, e inclusive, volverse inhibidoras (Zaldívar 2014).

Desde la injertación, se tuvo problemas de sobrevivencia de los injertos debido al marchitamiento de los mismos. Esta dificultad se atribuyó a la producción de fenoles que causaban la oxidación de los tejidos y posteriormente se observó problemas de baja capacidad de enraizamiento, que se atribuye a una excesiva producción de fenoles, que de acuerdo con Zaldívar (2014) se consideran como cofactores o sinergistas de la auxina en la iniciación de raíces en las formas adultas. Hartmann *et al.* (1997) mencionan que la relación entre el estado juvenil y el enraizamiento, se podría explicar por el incremento en la producción de inhibidores de las raíces a medida que la planta aumenta de edad.

Hartman (2001), afirma que, en una planta se dan tres fases: una juvenil, de transición y adulta; estas poseen variabilidad en crecimiento y desarrollo, en las distintas fases de las plantas ocurren diferencias en la capacidad de sus partes para regenerar ramas o raíces, siendo la regeneración más probable en la fase juvenil que en la madura. Así en la propagación asexual se produce un marcado cambio de la fase juvenil a la adulta. En una planta la fase juvenil se sitúa cerca del sistema radicular, este hecho ha sido aprovechado, en prácticas como el acodo en cepa y la poda severa en plantas madres para la obtención de estacas. Las podas severas en plantas madres de difícil enraizamiento, las mantienen en un estado vegetativo para la obtención de patrones clonales. Se afirma la importancia de las estacas tomadas de plantas jóvenes, que enraízan mejor que las extraídas de plantas viejas.

En la reproducción por estacas se ha observado que las estacas de madera dura se deben enraizar en condiciones que prevengan un secamiento excesivo, ya que son lentas de enraizar, tardando a veces desde varios meses a un año. Debido al factor de juvenilidad las estacas tomadas de plantas madres jóvenes procedentes de semilla, enraízan más fácilmente que aquellas tomadas de árboles viejos (Alas 2013).

La etiolación parece ser un tratamiento indispensable para lograr la emisión regular de raíces en tallos de algunos genotipos de aguacate. La etiolación induce cambios anatómicos que podrían incrementar la iniciación de los primordios radicales por las células parenquimáticas Hartmann *et al.* (1997). Por ejemplo, Barrientos *et al.* (1986) citado por Pullas (2011), trabajando con los cultivares de aguacate Colín V-33 y Fuerte, encontraron que sin una previa etiolación, el enraizado de los brotes fue nulo, a pesar de haberse realizado tratamientos con auxinas, anillados y usando camas enraizadoras. Sin embargo, Zaldívar y Sánchez (2014) encontraron que la etiolación no produjo ningún efecto en la rizogénesis del portainjerto de aguacate de la variedad Ereguayquín.

El tiempo requerido en ausencia de luz para que los brotes sean adecuadamente etiolados, según reportan diferentes investigadores, es variable, en promedio se ubica entre 3 a 8 semanas (Campos 2012). En la presente investigación se obtuvo la mejor respuesta al enraizamiento con un tiempo de 8 semanas para los portainjertos nativos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande.

Respecto a la aplicación de auxinas, se sabe que las características principales de las fitohormonas es que actúan como reguladores del desarrollo, que son sintetizados por la planta, los mismos que se encuentran en muy bajas concentraciones en el interior de los tejidos, y pueden actuar en el lugar que fueron sintetizados o en otro lugar, de lo cual concluimos que estos reguladores son transportados en el interior de la planta (Aldaz y Ochoa 2011). Las auxinas son sintetizadas en el meristemo apical y traslocadas hacia la base de la planta. Se ha encontrado que la aplicación de auxinas incrementa el movimiento de fotoasimilados al sitio de iniciación de primordios de raíz. De ahí la importancia de la conversión del almidón en azúcares, ya que la sacarosa y la glucosa son carbohidratos que favorecen el enraizado. Barrientos *et al.* (1986) citado por Pullas (2011), basándose en la técnica de Frolich y Platt (1971), utilizaron los ácidos naftalenacético e indolbutírico a 300 y 10 000 mgL⁻¹ respectivamente, obteniendo más del 90% de enraizamiento en estacas etioladas de los cultivares Fuerte y Colín V-33. En los resultados de la investigación realizada por Zaldívar y Sánchez (2014), se reportó que las dosis de 10 000 y 5000 mg.L⁻¹ de AIB, fueron superiores estadísticamente; promoviendo el mayor número de plantas con callosidad, del portainjerto variedad Ereaguayquín. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Rogel-Castellanos (2000), con el portainjerto de raza Mexicana enraizado por acodo aéreo en maceta; se determinó que la aplicación de 10 000 mg.L⁻¹ de AIB sin obstrucción de savia en los brotes etiolados, alcanzaron una mayor calidad de enraizamiento.

El ácido naftalenacético –ANA- es un poderoso estimulante para formar un mayor sistema radicular en las plantas, para la propagación asexual por medio de estacas para enraizar acodos y esquejes. Algunos autores afirman que el ANA es más efectiva que otros homólogos como IBA (ácido indolbutírico) y IAA (ácido indolacético) (Aldaz y Ochoa 2011). Las auxinas sintéticas, más baratas y más estables que el AIA (ácido indolacético), se utiliza en la agricultura, horticultura e investigación. Estos incluyen los índoles y las naftalinas por ejemplo el ácido naftalenacético que se usa como hormona para la formación de la raíz y el fruto. Numerosos trabajos de investigación en diversas especies confirman esta posibilidad, siendo el AIB y el ANA, las auxinas sintéticas más empleadas a diversas concentraciones y aplicadas en diferentes modalidades (Pullas 2011).

En investigaciones de propagación de especies leñosas forestales, se encontró que en *Proumnopytis montana*, la propagación por acodadura aérea resulto negativa, pero existen indicios de que pueda propagarse esta especie con esta metodología. La propagación por acodadura aérea en el *Roupala obovata*, arrojó resultados negativos, porque los tallos de sus ramas presentan características muy leñosas, lo cual dificulta los procesos de proliferación y diferenciación celular. El *Myrcianthes halli*, presenta ciertos inconvenientes, porque posee tallos muy leñosos, un elevado porcentaje, llegó a formar el callo, luego se cicatrizan (Aldaz y Ochoa 2011).

En cuanto a porcentajes de enraizamiento en aguacate, en Brasil, Alves de Oliveira *et al.* (1999) citado por Pullas (2011), evaluaron la propagación vegetativa de portainjertos de aguacate a través de acodo en contenedor, mediante el anillado de la corteza (3 mm), estrangulado con alambre y aplicación de ácido indolbutírico (AIB), en brotes injertados y etiolados de plantas cultivadas en macetas y mantenidas en invernadero. En la evaluación, realizada a los 70 días de la aplicación de los tratamientos, se observó que el anillado de la corteza combinado con 10 gL⁻¹ de AIB fue superior estadísticamente a los demás tratamientos y promovió mayor porcentaje (73.6%) de acodos enraizados, formación de raíces primarias y secundarias por planta. En forma separada, los brotes etiolados con anillado (26.6%) también fueron superiores estadísticamente al estrangulado, que a su vez

fue igual al testigo. En México, Rogel *et al.* (1998) citado por Pullas (2011), obtuvieron 66% de enraizamiento como máximo, con el uso de franqueamiento, etiolación y ácido indolbutírico a 10 000 mgL⁻¹, en un criollo de la raza mexicana. Con las demás metodologías, obtuvo resultados inconsistentes. En Perú, Escobedo (2009) citado por Pullas (2011), contando con la existencia de plantas nodrizas con brotes etiolados a partir de cámaras oscuras individuales (COI), aplicó tratamientos que tuvieron como objetivo, estimular precozmente la formación de raíces adventicias en brotes aún adheridos a las plantas nodrizas. El mismo autor, al retirar las COI de cada planta nodriza, obtuvo brotes etiolados que fueron expuestos a la luz; cubriendo parte de su tercio basal con papel aluminio, de manera que la parte restante del brote se des-etiole. En algunos de estos brotes así manipulados, antes de colocar la cubierta de papel aluminio se les administró tratamientos de pre-enraizado (TPE). Estos consistieron en la incrustación transversal de pequeñas astillas de madera (5 mm de largo y 1 mm de diámetro aproximadamente) en la zona del brote que luego fue cubierta por el papel aluminio. Dichas astillas fueron previamente remojadas por un mínimo de 24 horas en soluciones de ácido indolbutírico. Las evaluaciones realizadas demostraron como resultado un 53.3% de enraizamiento a los 45 días con dosis de 10 000 ppm de AIB.

En los resultados obtenidos en esta investigación, se tuvo porcentajes de enraizamiento que coinciden con los citados anteriormente, ya que, con el tratamiento ANA 5000 mg/l, con un tiempo de etiolación de 8 semanas, se alcanzó 67, 80, 71 y 88 por ciento de plantas enraizadas de los portainjertos nativos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, respectivamente.

6.8 Análisis Económico

En la tabla 6, se presentan los costos de producción de las plantas de aguacate producidas mediante etiolación más acodo, correspondientes al mejor tratamiento de los evaluados en esta investigación. El costo unitario por plántula es de Q. 66.65, de este costo, la mano obra ocupa un segmento importante por los procedimientos y los cuidados que deben tener las plantas en todas las etapas, es importante recordar que al producir un mayor volumen de plantas se puede reducir los costos de producción. De acuerdo con algunos documentos revisados, el precio por planta reproducida asexualmente en otros países es de aproximadamente de \$12.00 USD.

Tabla 6

Costo de producción de plantas de aguacate de portainjertos nativos producidas mediante el método etiolación más acodo con aplicación de fitohormonas

COSTO DE PRODUCCION DE PLANTAS DE AGUACATE PRODUCIDAS MEDIANTE ACODO CON APLICACIÓN DE FITOHORMONAS					
Lote de producción: 100 plantas					
Año: 2021					
Ubicación: Laboratorio de Biotecnología, ICTA-CEPALO, Olintepeque, Quetzaltenango					
Descripción	Número Unidades	Unidad Medida	Valor Unidad	Sub-total	Costo Total
			Q.	Q.	Q.
Costos Directos					
Mano de obra a destajo					
Injertación y cuidado de plantas	10	Tarea	100.00	1000.00	1000.00
Cuidados en cámara de etiolación	2	Tarea	100.00	200.00	200.00
Realización de acodos y cuidado de plantas	5	Tarea	100.00	500.00	500.00
Transplante de plantas enraizadas	4	Tarea	100.00	400.00	400.00
Cuidados culturales en invernadero	20	Tarea	100.00	2000.00	2000.00
Total mano de obra					4100.00
Insumos					
Portainjerto temporal en bolsa	100	planta	5.00	500.00	500.00
Pacas de peat moss	3	paca	325.00	975.00	975.00
alcohol etílico	1	litro	20.00	20.00	20.00
Fitohormonas AIB y ANA	10	gramo	20.00	200.00	200.00
bolsas de almacigo	100	bolsa	0.6	60.00	60.00
Vasos de plástico	100	unidad	0.5	50.00	50.00
Tape sellador	4	unidad	20	80.00	80.00
Guantes desechables	1	caja	75	75.00	75.00
Palillos de madera	1	caja	5	5.00	5.00
Hojas de bisturie	10	unidad	2	20.00	20.00
Estacas de madera	100	unidad	2	200.00	200.00
Estructura para etiolación	1	unidad	250	250.00	250.00
Masking tape	1	unidad	15	15.00	15.00
Marcadores	1	unidad	15	15.00	15.00
Total insumos					2465.00
Total Costos Directos					6565.00
Costos Indirectos					
Servicios					
Agua Potable				100.00	100.00
Costo Total					6665.00
Costo Total					6665.00
Número de plantas					100
Costo unitario en quetzales por planta					66.65

7. CONCLUSIONES

Se obtuvo una respuesta superior de enraizamiento con el tratamiento ANA 5000 mg/l, con un tiempo de etiolación de 8 semanas, con porcentajes del 67, 80, 71 y 88 de plantas enraizadas para los portainjertos nativos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, respectivamente.

Los portainjertos presentaron un mayor número promedio de raíces de 30.2, 58.0, 43.8 y 47, respectivamente con el tratamiento ANA 5000 mg/l, con un tiempo de etiolación de 8 semanas, en comparación con otros tratamientos.

Los portainjertos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, presentaron una mayor longitud promedio de raíces de 8.8, 14.9, 13.1 y 9.0, respectivamente con el tratamiento ANA 5000 mg/l, con un tiempo de etiolación de 8 semanas, en comparación con otros tratamientos.

Se determinó un 100% de sobrevivencia al trasplante de las plantas producidas por el método de etiolación más acodo de los portainjertos nativos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, en todos los tratamientos.

Se obtuvo una mejor respuesta al enraizamiento con plantas provenientes de semilla de los portainjertos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, por la juvenilidad del material vegetativo en comparación con los injertos obtenidos de los árboles de edad avanzada que presentan inhibidores del enraizamiento.

El costo de cada planta de los portainjertos ICTA-Retalhuleu, ICTA-El Rincón, ICTA-Santa María e ICTA-Llano Grande, enraizada mediante el método de etiolación más acodo es de Q. 66.65.

8. RECOMENDACIONES

Utilizar material juvenil para los procedimientos de etiolación más acodo, ya que se obtiene una mejor respuesta de enraizamiento y sobrevivencia.

Realizar prácticas de rejuvenilización sobre los árboles portainjertos nativos seleccionados en esta investigación.

Aplicar los resultados obtenidos en esta investigación a portainjertos mejorados y a materiales nativos seleccionados por sus características de tolerancia/resistencia a factores bióticos y abióticos.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alas, J. I. 2013. Evaluación de cuatro métodos de propagación asexual del árbol de mazapán. Tesis. Universidad Rafael Landívar. Facultad de Ciencias Ambientales y Agrícolas. Licenciatura en Ciencias Agrícolas con Énfasis en Cultivos Tropicales. Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla, Guatemala. 61 p.
- Alberti, M. F. et al. 2017. Revista Brasileira de Fruticultura. Avances en la propagación del aguacate. ISSN 0100-2945. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018782>
- Aldaz, L. J. & Ochoa, I. L. 2011. Propagación asexual de diez especies forestales y arbustivas en el jardín botánico “Reinaldo Espinosa” Tesis. Universidad Nacional de Loja. Área Agropecuaria de Recursos Naturales Renovables. Carrera de Ingeniería Forestal. Ecuador. 113 p.
- ANACAFE. 2011. Cultivo de Aguacate. consultado el 20 de octubre de 2018. Disponible en https://www.anacafe.org/glifos/index.php/Cultivo_de_aguacate
- Barrientos, A.F. 2010. Historia y genética del aguacate. Departamento de fitotecnia, Universidad Autónoma de Chapingo. México. 21p.
- Campos, E. et al. 2012. Propagación de aguacate. SAGARPA. México. 55 p.
- CATIE. 2016. Análisis de la cadena de aguacate Región Occidente Guatemala. IICA / USDA / CATIE. Guatemala. 34 p.
- FAOSTAT (Food Agricultural Organization Statistics). 2018. Disponible en <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>. Consultado 10 de enero de 2019.
- Frolich, E.F; Platt R.G. 1971. Use of the etiolation technique in rooting avocado cuttings. California Avocado Society 1971-72 Yearbook 55: 97-109.
- Gamarro, U. 2017. El cultivo de “oro verde” apunta a un mayor crecimiento. Prensa Libre, Guatemala. 3 p.
- Gandulfo, L.M. 1983. Efecto del anillado y la aplicación del ácido indolbutírico en el enraizamiento de brotes etiolados de palto (*Persea americana* Mill.) cv. Mexícola. Tesis. Universidad católica de Valparaíso, Quillota – Chile. Escuela de Agronomía. Departamento de horticultura. 71 p.
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davis, Jr. F. T. And Geneve, R.L. 1997. Plant propagation: Principles and Practices. 6th Ed. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, U.S.A. 770 p.
- Hartman T.H & Kester, D.E. 2001. Propagación de plantas: principios y prácticas. Trad. AM Ambrosio. CECSA. 2 ed. México. 368 p.
- Hiti-Bandaralage, J.C.A. 2017. Micropropagation of Avocado (*Persea americana* Mill.). American Journal of Plant Sciences, 2017, 8, 2898-2921

- Hurtado, D.V & Merino M. 1987. Cultivo de Tejidos Vegetales. Editorial Trillas. 197 p.
- Ibarra, R. 2015. Organogénesis de cuatro cultivares de aguacate *Persea americana* Mill. Tesis Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México. 91 p.
- Indexbox. 2018. Mercado mundial del aguacate: resultados y perspectivas. Disponible en <https://www.freshplaza.es/article/3115119/mercado-mundial-del-aguacate-resultados-y-perspectivas/>. Consultado 11 de enero de 2019.
- León, Ángel. 2014. Evaluación cualitativa de la cadena de valor de aguacate en Guatemala. MINECO. Guatemala. 82 p.
- MAGA. 2014. Perfil comercial de Aguacate. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. Guatemala. 10p.
- Maradiaga, R. 2017. Manual Técnico para el manejo de viveros certificados de aguacate. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura, Unión Europea. San José, CR. 66 p.
- Pierik, R.L.M. 1990. Cultivo In Vitro de las Plantas Superiores. Martinus Nijhoff Publishers. España. 326 p.
- Pullas, D. C. 2011. Propagación clonal de aguacate Duke 7 (*Persea americana* Mill.) mediante la técnica de etiolación de brotes o cultivo in vitro. Escuela politécnica del Ejército, Sagolqui, Ecuador. 73 p.
- Rogel-Castellanos, Muñoz-Pérez R.B. & Cruz-Castillo J.G., Propagación de aguacatero por acodo utilizando etiolación, ácido indolbutírico, y obstrucción de savia. Revista Chapingo Serie Horticultura 6(1): 101-104, 2000.
- Restrepo, C. et al. 2017. *In vitro* propagation of avocado (*Persea americana* Mill.) cv. Hass through morphogenesis *Acta Agron.* (2018) 67 (1) p 160-167 ISSN 0120-2812 | e-ISSN 2323-0118.
- Rodríguez, F. 1992. El aguacate. Editorial AGT S.A. México. 167p.
- Salazar, S., Velasco C. J.J., Medina T. R. Y J. R. Gómez A. 2004. Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. II. Respuesta al enraizamiento mediante acodos. Revista Fitotecnia Mexicana 27(2): 183-190.
- Valentín, J.A. 2005. Respuesta de dos genotipos de aguacate (*Persea americana* Mill) a la micropropagación utilizando diferentes combinaciones de auxinas y citocininas, en el laboratorio de cultivo de tejidos vegetales. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. 97 p.
- Vásquez, J. 2006. Identificación de aguacate nativo y formación de jardines clonales con aguacate nativo seleccionado. Proyecto AGROCYT 033-2002. MAGA/ FONACYT/ CONCYT/ ICTA. Guatemala. 190 p.

Zaldívar, C.M; Sánchez J. 2014. Propagación clonal de portainjertos de aguacate (*Persea americana* Mill) variedad Ereguayquín a través de la técnica de acodo aéreo utilizando etiolación y ácido indolbutírico como enraizador. UDES, El Salvador. 72 p.

ANEXOS

ANEXO 1

FICHA PRESUPUESTARIA FINANCIERA					
Nombre del Proyecto:		Propagación clonal de portainjertos nativos de aguacate (Persea americana Mill) mediante el método de etiolación más acodo con aplicación de fitohormonas			
No. del Proyecto:					
Nombre del Responsable Principal:		Ing. Agr. Ms.C. Aida Eleonora Ramírez Rodas			
Nombre de la Unidad Ejecutora:		IICA-CRIA			
Nombre de las otras instituciones		ICTA / CUNOC			
DESCRIPCION DEL PRESUPUESTO					
Codigo	DESCRIPCION	MONTO	Monto	Monto	Saldo
	Nombre	Programado	Ejecutado	Disponibile	
Monto Total del Proyecto		Q			105,323.00
400 VIAJES OFICIALES					
401	Viaticos Internacionales	Q -	Q -	Q -	Q 105,323.00
403	Transporte Internacional	Q -	Q -	Q -	Q 105,323.00
405	Otros Gastos de Viajes Internacionales		Q -	Q -	Q 105,323.00
407	Viaticos Nacionales	Q 21,660.00	Q -	Q 21,660.00	Q 83,663.00
409	Transporte Nacionales		Q -	Q -	Q 83,663.00
411	Otros Gastos de Viajes Nacionales	Q -	Q -	Q -	Q 83,663.00
500 DOCUMENTOS Y MATERIALES E INSUMOS					
501	Publicaciones	Q 1,000.00	Q -	Q 1,000.00	Q 82,663.00
503	Reproduccion de Documentos Impresos y Electronicos	Q 500.00	Q -	Q 500.00	Q 82,163.00
505	Material e Insumos	Q 19,955.00	Q -	Q 19,955.00	Q 62,208.00
509	Materiales para Proyectos	Q 14,080.00	Q -	Q 14,080.00	Q 48,128.00
513	Información Especializada		Q -	Q -	Q 48,128.00
600 PLANTA, EQUIPO Y MOBILIARIO					
611	Equipo y Mobiliario		Q -	Q -	Q 48,128.00
700 SERVICIOS GENERALES					
701	Correspondencia	Q 600.00	Q -	Q 600.00	Q 47,528.00
703	Telecomunicaciones y Enlaces de Internet		Q -	Q -	Q 47,528.00
709	Combustibles	Q 6,000.00	Q -	Q 6,000.00	Q 41,528.00
719			Q -		Q 41,528.00
JORNALES					
729	Jornales (Mano de Obra)	Q 20,000.00	Q -	Q 20,000.00	Q 21,528.00
INCENTIVOS					
823	Investigador Principal		Q -	Q -	Q 21,528.00
	Investigador Auxiliar	Q 21,528.00	Q -	Q 21,528.00	Q -
OTROS					
			Q -	Q -	Q -
TOTAL		Q 105,323.00	Q -	Q 105,323.00	Q -

ANEXO 2

Fotografías de diferentes actividades realizadas en el proyecto



Recolección de material vegetativo (varetas) en diferentes localidades



Capacitación en el método de injertación



Aplicación de antioxidante a las varetas recolectadas



Toma de datos de las variables estudiadas



MINISTERIO DE
AGRICULTURA,
GANADERÍA
Y ALIMENTACIÓN



Programa de consorcios de Investigación Agropecuaria