

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS  
DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA



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.

POR:

Zaldívar Cerón, Maritza Guadalupe

Sánchez Pérez, José Ernesto

REQUISITO PARA OPTAR AL TITULO DE:  
INGENIERO(A) AGRONOMO

SAN SALVADOR, MAYO DE 2014

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR: Ing. Mario Roberto Nieto Lovo

SECRETARIA GENERAL: Dra. Ana Leticia Zavaleta de Amaya

**FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS**

DECANO: Ing. Agr. M.s.c. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla

SECRETARIO: Ing. Agr. M.s.c. Luis Fernando Castaneda Romero

**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA**

---

Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra

**DOCENTES DIRECTORES**

---

Ing. Agr. M.s.c. Fidel Ángel Parada Berríos.

---

Ing. Agr. M.s.c. Juan Rosa Quintanilla Quintanilla.

**COORDINADOR GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACIÓN**

---

Ing. Agr. Mario Antonio Bermúdez Márquez

## RESUMEN

La investigación se realizó durante ocho meses, en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, a partir de julio de 2010; con el propósito de obtener un método eficaz, para propagar clonalmente portainjertos de aguacate, mediante la técnica de acodo, a fin de homogenizar plantaciones de este cultivo. Se emplearon plantas de aguacate injertadas con la variedad Ereguayquín, provenientes de vivero comercial. El acodo se efectuó anillando con alambre de cobre a 7 cm, arriba del punto de injerto, donde se realizaron cuatro heridas longitudinales para aplicar los tratamientos. El diseño utilizado, fue bloques al azar con arreglo factorial 2x4: dos niveles de etiolación y cuatro niveles de ácido indolbutírico (AIB), en dosis de 0 mg.L<sup>-1</sup>; 2,000 mg.L<sup>-1</sup>; 5,000 mg.L<sup>-1</sup> y 10,000 mg.L<sup>-1</sup>; empleando la prueba estadística de Duncan cuando el análisis resultó significativo ( $p \leq 0.05$ ). Las variables evaluadas fueron el número de raíces, longitud de raíces, número de plantas con callosidad y número de plantas con estrangulamiento. Para el análisis económico, se aplicó el método del Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT). Como resultado de la investigación, se reportó que las dosis de 10,000 y 5,000 mg.L<sup>-1</sup> de AIB, fueron superiores estadísticamente; promoviendo el mayor número de plantas con callosidad. El número de raíces fue no significativo; sin embargo algunas plantas sin etiolación, en las dosis anteriores desarrollaron raíces incipientes. Económicamente la dosis de 10,000 mg.L<sup>-1</sup> de AIB sin etiolación, fue mejor con beneficios netos de 8.42 dólares americanos. Concluyendo que la etiolación no produjo ningún efecto en la rizogénesis; el anillado más la aplicación de ácido Indolbutírico, son necesarios para la emisión de raíces.

**Palabras claves:** acodo aéreo, ácido indolbutírico, etiolación, *Persea americana*, variedad Ereguayquín.

## ABSTRACT

The research was conducted along eight months in the nursery of the Faculty of Agricultural Sciences at the University of El Salvador in July 2010. In order to obtain an effective method to propagate clonally avocado rootstocks using air layer technique to homogenize plantations of this crop. Grafted avocado plants from the variety Ereguayquín commercial nursery were used. The layering was done banding with copper wire at 7 cm above the grafting point, where four longitudinal wounds were made to apply the treatments. The design was a randomized block with factorial arrangement 2x4, two levels and four levels of etiolation indole butyric acid (IBA) at doses of 0 mg.L<sup>-1</sup>, 2 000 mg.L<sup>-1</sup>, 5,000 mg.L<sup>-1</sup> and 10 000 mg.L<sup>-1</sup>; applying the statistical Duncan's test when the analysis was significant ( $p \leq 0.05$ ). The variables assessed the number of roots, root length, number of plants and number of plants callus with strangulation. For the economic analysis, the International Maize and Wheat Improvement Center (CIMMYT) method was applied. As a result, the investigation reported that doses of 10 000 and 5 000 mg.L<sup>-1</sup> IBA were statistically superior, promoting more plants with calluses. The number of roots was not significant; however some plants without etiolation in the above doses developed emerging roots. Economically the dose of 10 000 mg.L<sup>-1</sup> IBA without etiolation is better with net benefits of 8.42 American dollars. Concluding that etiolation did not produce any effects in rhizogenesis, the ring making with Indole Butyric Acid application is needed for rhizogenesis.

**Keywords:** air layer, Indole Butyric Acid, etiolation, *Persea americana*, Ereguayquín variety.

## **AGRADECIMIENTOS**

A DIOS TODO PODEROSO.

Por habernos dado la vida y los conocimientos y la capacidad necesaria para culminar nuestra carrera profesional.

A nuestras familias.

Por darnos todo su amor y apoyo incondicional.

A NUESTROS ASESORES.

Ing. Agr. M.s.c. Fidel Ángel Parada Berríos

Ing. Agr. M.s.c. Juan Rosa Quintanilla.

Por brindarnos su tiempo y apoyo logístico en este trabajo.

AL DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA.

Al Ing. Agr. Balmore Martínez Sierra por habernos permitido realizar esta investigación en este departamento.

AL DEPARTAMENTO DE QUÍMICA AGRICOLA.

A la Lic. Yanira de Linares y al Ing. Agr. Milton por el préstamo de equipo, reactivos y su ayuda.

AL DEPARTAMENTO DE PROTECCION VEGETAL.

Ing. Agr. Morena de Soto (Q.D.D.G.), Lic. Rosmery Erroa e ing. Agr. Leopoldo Serrano Cervantes por su colaboración en la observación y medición de células vegetales.

AL ING. AGR. JUAN CARLOS SERMEÑO CHICAS.

Por su apoyo y solidaridad a través la donación de 200 plantas de aguacate de la variedad Ereguayquín.

AL SEÑOR ALFREDO DE LA CRUZ CERNA RAMOS.

Por su aporte desinteresado en la realización del montaje de tejido vegetal mediante la técnica del parafinado.

A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Y A LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS.

Por toda la enseñanza recibida y por forjarnos como nuevos profesionales.

A LA SOCIEDAD SALVADOREÑA

Porque gracias a sus impuestos tenemos acceso a la educación. Gracias a todos los productores y empresarios agropecuarios, profesionales, instituciones y organizaciones que hacen posible nuestro aprendizaje en campo al abrirnos sus puertas del conocimiento, información, experiencias y la realidad del país.

## DEDICATORIA

### A DIOS TODO PODEROSO.

Quien me ha creado, me ha dado la vida, el tiempo, la sabiduría y capacidad de ser quien soy, por ser paciente, amoroso, quien me da las fuerzas necesarias cuando más lo he necesitado. Quien siempre ha estado a mi lado.

### A MI MADRE.

Margarita del Carmen Cerón, por permitir mi existencia, por haberme apoyado para sacar mi carrera en los años que esta duró, por su apoyo económico y su cariño durante toda mi vida.

### A MIS HERMANOS.

Marvín A. Zaldívar y Claudia I. Zaldívar, por alentarme a estudiar una carrera universitaria, por su paciencia, consejos, apoyo y comprensión.

### A MI COMPAÑERO DE TESIS.

José Ernesto Sánchez Pérez por su aporte.

### A MIS FAMILIARES Y AMIGOS DE LA FACULTAD.

A mi abuelo Jesús Cerón un pequeño agricultor fuente de mucha experiencia y parte motivadora de mi carrera. A mi abuela Rosa Emma Alvarenga (Q.D.D.G) por su eterno cariño y de quien aprendí mucho.

A mis compañeras y compañeros de la facultad, con quienes hemos vivido la experiencia de ser estudiantes en el aula, laboratorios, giras de campo, trabajos extra cátedra y la convivencia de momentos más buenos que malos en la carrera de ingeniería agronómica.

A todos mis amigos gracias por su amistad y cariño.

### A LOS DOCENTES.

Por transmitir todos sus conocimientos durante toda la carrera, su paciencia, comprensión y amistad, y en especial a los asesores Ing. Agr. Fidel Parada e Ing. Agr. Juan Rosa Quintanilla por su valiosa guía durante la realización de este trabajo.

***Maritza Guadalupe Zaldívar Cerón***

#### A DIOS TODO PODEROSO.

Al único Dios verdadero (Jehová) al que le debo todo, por darme paciencia, salud, sabiduría, por estar siempre conmigo en los momentos más difíciles. Gracias Jehová por haberme dado las energías necesarias para culminar este trabajo y ser un futuro profesional.

#### A MIS PADRES.

Clemente Sánchez y Catalina de Sánchez, por darme su cariño incondicional, por su apoyo económico durante la carrera y por estar siempre conmigo en los momentos más difíciles durante la carrera.

#### A MI HERMANA.

Norma, por apoyarme y animarme siempre a seguir adelante en mi carrera profesional.

#### A MIS ABUELOS

Por su cariño y sus consejos buenos y darme ánimos a seguir adelante en mis estudios

#### A MI COMPAÑERA DE TESIS.

Maritza Zaldívar, por aceptar ser mi compañera de tesis, por su paciencia y por su amistad incondicional durante la carrera y en especial en el desarrollo de este trabajo.

#### A NUESTROS ASESORES.

Ing. Agr. Fidel Ángel Parada Berríos, Ing. Agr. Juan Rosa Quintanilla por brindarnos el apoyo logístico en el desarrollo de este trabajo y estar siempre a disposición en los tiempos cuando se les necesito.

#### A LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR Y A LA FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS.

Por brindarnos todo lo necesario y formarnos como futuros profesionales.

***José Ernesto Sánchez Pérez***

## INDICE GENERAL

<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>vii</b>
<b>INDICE GENERAL</b> .....	<b>ix</b>
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	<b>xi</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>xi</b>
<b>INDICE DE ANEXOS</b> .....	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1. Generalidades</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1.1. El aguacate y su economía en El Salvador</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1.2. Origen de la variedad Ereguayquín</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1.3. Clasificación botánica</b> .....	<b>2</b>
<b>2.1.4. Características de la raza Guatemalteca</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2. Métodos de propagación</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2.1. Propagación sexual</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2.2. Propagación asexual</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2.2.1. Estacas</b> .....	<b>3</b>
<b>2.2.2.1.1. Estacas de tallo</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2.2.1.2. Estacas de raíz</b> .....	<b>4</b>
<b>2.2.2.2. Acodo</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2.2.2.1. Tipos de acodo y su procedimiento</b> .....	<b>5</b>
<b>2.2.2.2.2. El sustrato</b> .....	<b>7</b>
<b>2.2.2.2.3. Trasplante de acodo</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3. Factores que afectan la rizogénesis de plantas propagadas por acodo</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3.1. Acondicionamiento fisiológico</b> .....	<b>8</b>
<b>2.3.2. Influencia de la yema y hoja</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3.3. Influencia de las reservas</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3.4. Tratamiento al tallo</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3.5. Efecto del descortezado anular</b> .....	<b>9</b>
<b>2.3.6. Heridas</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3.7. Callo</b> .....	<b>10</b>
<b>2.3.8. Nudo</b> .....	<b>10</b>

2.3.9. Edad de la planta.....	10
2.3.10. Exclusión de la luz y la etiolación.....	12
2.3.11. Auxinas.....	12
2.3.12. Las giberelinas.....	14
2.3.13. Etileno.....	14
2.3.14. Humedad.....	15
2.3.15. Temperatura.....	15
2.3.16. Oxígeno.....	15
2.3.17. Luz.....	15
2.4. Estudios sobre propagación de aguacate.....	16
2.5. Otros estudios sobre propagación asexual.....	18
<b>3. MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>20</b>
3.1. Localización.....	20
3.2. Características climatológicas del lugar de la investigación.....	20
3.2.1. Clima: Universidad de El Salvador (UES). San Salvador.....	21
3.3. Origen del material vegetal.....	21
3.4. Realización de los acodos aéreo.....	21
3.4.1. Preparación de AIB.....	21
3.4.2. Preparación de los acodos.....	22
3.4.3. Manejo de las plantas.....	22
3.4.4. Variables.....	24
3.4.4.1. Variables cuantificadas en la investigación.....	24
3.4.4.2. Variables que validaron el diseño experimental.....	26
3.5. Análisis económico de los tratamientos.....	26
3.6. Diseño experimental.....	26
3.6.1. Análisis estadístico.....	27
3.7. Observación anatómica de células epidérmicas en aguacate Ereguayquín ..	28
3.7.1. Preparación de plantas.....	28
3.7.2. Observación de células de corte longitudinal de tallo.....	28
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>29</b>
4.1. Número y longitud de raíces.....	29
4.2. Número de plantas con callosidad.....	33
4.3. Número de plantas con estrangulamiento.....	35
4.4. Anatomía de las células epidérmicas etioladas.....	38

<b>4.5. Análisis económico de los tratamientos .....</b>	<b>40</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>44</b>
<b>7. BIBLIOGRAFIA.....</b>	<b>45</b>
<b>8. ANEXOS .....</b>	<b>49</b>

## INDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1. Arreglo factorial 2 x 4 con tres repeticiones más dos testigos con diseño en bloques al azar. ....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 2. Bloques ordenados por gradiente de diámetro.....</b>	<b>27</b>
<b>Cuadro 3. Resultados del efecto de la etiolación y aplicación del ácido indolbutírico sobre la iniciación radicular, producción de callo y estrangulamiento del tallo acodado de aguacate Ereguayquín. ....</b>	<b>29</b>
<b>Cuadro 4. Análisis de Varianza para la variable Número de Raíces, transformada. ....</b>	<b>30</b>
<b>Cuadro 5. Análisis de Varianza para la variable Longitud de Raíces, con datos transformados.....</b>	<b>33</b>
<b>Cuadro 6. Análisis de Varianza con datos transformados para Número de Plantas con formación de Callosidad, a los ocho meses de instalada la investigación. ....</b>	<b>34</b>
<b>Cuadro 7. Prueba de Duncan para Factor dosis de Ácido Indolbutírico de la variable Número de Plantas con Callosidad.....</b>	<b>34</b>
<b>Cuadro 8. Análisis de Varianza para Número de Plantas con Estrangulamiento en tallo, con datos transformados. ....</b>	<b>36</b>
<b>Cuadro 9. Presupuesto parcial para la producción de plantas acodadas establecidas durante ocho meses a nivel de vivero.....</b>	<b>42</b>

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1. Comparación de datos climatológicos a) Luz solar y b) Precipitaciones. ....</b>	<b>20</b>
<b>Figura 2. Preparación de materiales y manejo de plantas: a) Medición del pH de aserrín con peachimetro Orión 420A+, b) Desinfección de aserrín, c) Preparación y dilución de AIB, d) Estaquillado y amarre a andamio de plantas acodadas, e) hidratación de los acodo aéreos, f) Aplicación de fungicida.....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3. Preparación de la investigación: a) Medición del área a acodar, b) Pretratamiento: bloqueo de luz, c) Toma de altura de la planta, d) Heridas a 7 cm</b>	

del punto del injerto, e) Anillado con alambre de cobre, f) Aplicación del AIB, g) Colocación de sustrato y papel aluminio y h) Plantas en piletas de absorción. ....	25
Figura 4. Comparación de medias de alturas (a) y de diámetro del tallo (b) en el crecimiento de plantas de aguacate en el periodo de ocho meses.....	37
Figura 5. Resultados de la investigación: a) Tallo sin estrangulamiento, b) Tallo estrangulado y con callo, c) Tallo con raíces, d) Estacas con una y dos raíces preparadas para medir sobrevivencia e) Estaca con retoños a los 34 días del trasplante.....	38
Figura 6. Efecto de la oscuridad, en el incremento del tamaño promedio de células en tejido epidérmico, y parte de la corteza en tallo de aguacate ( <i>Persea americana Mill</i> ).....	39
Figura 7. a) Microscopio, micrómetro ocular y micrómetro de platina a un costado; b) Ajuste del objetivo 40X, con los micrómetros ocular (líneas grandes) y de platina (líneas pequeñas); c) Tejido vegetal observado con objetivo 10X; y d) Células observadas al microscopio, con objetivo 40X y micrómetro ocular. ....	40

## INDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Características diferenciales y clasificatorias de las variedades Ereguayquín 1 y 3.....	49
Anexo 2. Costo del establecimiento de 180 plantas acodadas en el período de nueve meses.....	50
Anexo 3. Datos climatológicos de la zona de San Salvador.....	51
Anexo 4. Principales datos climatológicos de las estaciones: San Andrés, San Salvador e Ilopango .....	52
Anexo 5. Distribución de los tratamientos.....	52
Anexo 6. Eventos Hidrometeorológicos Extremos que Impactaron a El Salvador desde la década de los Sesenta ordenados según máximos acumulados.....	53
Anexo 7. Importación mensual de aguacate en El Salvador de 2002- 2010.....	53
Anexo 8. Ilustración del procedimiento de cuatro técnicas de acodo. ....	54
Anexo 9. Datos meteorológicos de precipitación en mm de junio a diciembre de 2010. Estación S- 10 Ilopango (615 msnm). ....	55
Anexo 10. Datos meteorológicos de luz solar ( $Kw.m^{-2}.día^{-1}$ ) de junio a diciembre de 2010. Estación S- 10 Ilopango (615 msnm). ....	56

<b>Anexo 11. Datos meteorológicos de Temperatura promedio (°C) de junio a diciembre de 2010. Estación S-10 Ilopango (615 msnm). .....</b>	<b>57</b>
<b>Anexo 12. Datos meteorológicos de Humedad Relativa (%) de junio a diciembre de 2010. Estación S- 10 (615 msnm). .....</b>	<b>58</b>
<b>Anexo 13. Resumen Análisis de Varianza (ANVA) de las variables que validaron la investigación: alturas, número de plantas vivas .....</b>	<b>59</b>
<b>Anexo 14. Resumen Análisis de Varianza (ANVA) de las variables que validaron la investigación: diámetro inicial y final. ....</b>	<b>59</b>

## 1. INTRODUCCIÓN

En El Salvador el cultivo de aguacate (*Persea americana* Mill), tiene una gran importancia económica, debido a que forma parte de la dieta alimenticia. Con una población estimada de 6.5 millones de habitantes y un consumo per cápita por año de 2.5 kg por persona, se necesitarían 16, 250 TM, para abastecer el mercado nacional. El aguacate es una de las frutas con mayor importación, siendo México el principal abastecedor, con un 91% de las importaciones (ECONOSUL s.f.); reportándose entre 2004 y 2007, de 9,000 a más de 11,000 TM procedentes solo de ese país (MAG, 2009)<sup>1</sup>.

Es importante, tomar en cuenta la adaptabilidad de plantaciones de aguacate en zonas específicas, y es por ello, que con la investigación sobre la utilización de la técnica de acodo aéreo, para producir portainjertos clonales a partir de un material conocido; se pretende conservar las características genéticas de la variedad o clon con las adaptaciones requeridas<sup>2/</sup>.

La variabilidad que poseen los patrones reproducidos sexualmente, para adaptarse a determinadas condiciones altitudinales, calor, humedad y enfermedades; puede variar y no garantiza el éxito de una plantación de aguacate, establecida en zonas con determinadas condiciones adversas como: sequia, insolación y que debido a esto puede haber hasta 60% de pérdidas en una plantación recién establecida.

Mediante esta investigación, se busca generar información básica para utilizar la técnica de acodo aéreo, en la producción de portainjertos clonales de características conocidas, como la variedad Ereguayquín, para establecer plantaciones uniformes con el objetivo de: determinar la combinación de AIB más etiolación, que favorece la rizogénesis, y verificar si el diámetro de la rama acodada, influye sobre la respuesta al enraizamiento y el porcentaje de sobrevivencia al trasplante del enraizado; comparar la anatomía del tallo etiolado a diferentes intervalos de tiempo y sus implicaciones en la rizogénesis y determinar económicamente cual de los tratamientos produce los mejores resultados beneficio-costos.

---

<sup>1</sup> Para más detalles ver Anexo 6 importaciones mensuales de aguacate en El Salvador

<sup>2/</sup> Parada Berríos, FA. 2012. Establecimiento de plantaciones de frutales (entrevista). San Salvador Universidad de El Salvador.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Generalidades

#### 2.1.1. El aguacate y su economía en El Salvador

La variedad de aguacate que más se importa, es la conocida como Hass o mexicano, siendo el periodo entre octubre y marzo donde ocurre la mayor importación (Anexo 7), decayendo las importaciones en mayo y junio (MAG 2003; MAG 2004; MAG-DGEA 2007; MAG-DGEA 2009 y MAG-DGEA s.f.), registrándose en los últimos años una mayor importación desde México, con una ventaja altamente significativa con respecto a Guatemala que se han mantenido sin cambios las importaciones anuales en dicho período. México abastece gran parte de la demanda nacional con un 91% para el año 2007 (CENTA s.f. y ECONOSUL s.f.). Siendo el consumo salvadoreño de 2.5 kg de aguacate por persona por año, según el MAG (2009), se necesitarán más de 15 mil toneladas métricas para abastecer el mercado salvadoreño, equivalente a 2,035.6 ha en plena producción.

Estos datos muestran el gran potencial que tiene el establecimiento de nuevas plantaciones de aguacate con fines económicos y sociales, que produzcan con el menor riesgo posible, materiales que garanticen ampliar el mercado para competir.

#### 2.1.2. Origen de la variedad Ereguayquín

El aguacate Ereguayquín tiene dos variedades seleccionadas (Anexo 1), según Pérez Rivera (1986): Ereguayquín 1 colectada en 1969 y Ereguayquín 3 colectada en 1971 ambas en Ereguayquín, departamento de Usulután a 90 msnm; recomienda su cultivo desde 50 a 600 msnm considerando el lugar de origen de ellos, la raza a la que pertenecen (guatemalteca) y el sitio donde se evaluaron: 460 metros sobre el nivel del mar correspondientes a la Estación Experimental de San Andrés, La Libertad.

#### 2.1.3. Clasificación botánica

Orden: Ranales

Suborden: Magnólineas

Familia: Lauráceas

Género: Persea

Especie: americana

Raza: guatemalteca

Variedad: Ereguayquín

#### **2.1.4. Características de la raza Guatemalteca**

Las hojas, sin olor a anís y de 15 a 18 cm de largo, son de un color verde oscuro. Flores poco pubescentes con floración entre marzo y abril. El tamaño de los frutos puede ser: mediano (107 cm de longitud y 120 g de peso) y grande (25 cm y 1500 g) con pesos entre 125 g a 2.5 kg, con un 20% contenido de aceite, tienen forma esférica, ovalada o periforme. El epicarpio (cáscara) es de consistencia correosa, dura y hasta leñosa y de color verde opaco, incluso morado, más o menos oscuro en la madurez. Se desarrolla entre 500 – 1000 msnm (Godínez *et al.* 2000, Ibar 1979)

### **2.2. Métodos de propagación**

A continuación se consideran los métodos de propagación utilizados, en general, en frutales de difícil enraizamiento.

#### **2.2.1. Propagación sexual**

La reproducción sexual o por semillas mantiene la variabilidad genética y el avance evolutivo de las especies (Rojas Gonzáles *et al.* 2004). Esta técnica de propagación requiere que la planta madure para producir frutos siendo esta una de sus principales desventajas productivas. En cuanto a tiempo se refiere, a nivel de vivero es muy utilizada en la propagación de patrones por semilla para ser empleada en la propagación por injertos.

#### **2.2.2. Propagación asexual**

Según Rojas Gonzáles *et al.* (2004) la propagación asexual o clonación es una técnica importante en la multiplicación y conservación de especies, principalmente arbóreas, en peligro de extinción. La reproducción asexual se emplea para multiplicar plantas idénticas que conserven de una generación a otra, características deseables, como la alta productividad, calidad superior o tolerancia al estrés biótico o abiótico. Así, los brotes pueden formar raíces en determinadas condiciones, lo que ha originado las prácticas de propagación asexual por acodo (enraizamiento de tallos mientras permanecen en la planta madre), estacas (trozo de ramilla o de brote) y micro propagación (ápice) (Gil Salaya 1999). Para ello se utilizan diferentes técnicas:

##### **2.2.2.1. Estacas**

La estaca, es parte de una planta, que, separada de ella y puesta en condiciones adecuadas, emite raíces y brotes, dando origen a un nuevo individuo semejante a aquel del cual

proviene. Puede obtenerse a partir de la raíz, del tallo y de la hoja. En fruticultura se emplean, sobre todo, de tallo y a veces de raíz. (Alvarez Argudín 1996).

La propagación por acodo y estacado no poseen raíz profundizante, sino que la misma tiende a ser más bien fasciculada o superficial, diferente a la que presentan los árboles cuyo sistema radical se derivó del embrión de una semilla (Calderón Alcaraz 1998).

#### **2.2.2.1.1. Estacas de tallo**

De acuerdo al estado de madurez de la madera empleada, se conocen tres tipos:

##### **Estacas duras leñosas**

Son trozos de ramilla madura, bien lignificada, de 10 a 50 cm de longitud, obtenidos por corte bajo un nudo (base) y 2 cm sobre otro nudo (punta). En especies de difícil enraizamiento se hacen preferiblemente de la base de la ramilla, donde se concentran yemas y sitios de enraizamiento (Howard, citado por Alvarez Argudín 1996). Normalmente tomada la estaca corresponde a una ramilla de un año y cuando hay cierto grado de dificultad para el enraizamiento se recurre a algunos tratamientos estimuladores (Gil Salaya 1999). Las estacas leñosas caducifolias, se extraen de la planta madre en el período de reposo Alvarez Argudín (1996).

##### **a. Estacas tiernas**

La estaca tierna o herbácea es un trozo de brote que se obtiene de tejidos tiernos y suculentos de 10 cm de largo con yemas y hojas en dos o más nudos, de fácil enraizamiento (Gil Salaya 1999 y Alvarez Argudín 1996) se manejan en condiciones de saturación de agua de la atmósfera como nebulización, y los materiales difíciles de enraizar se tratan con auxinas en la base.

##### **b. Las estacas semileñosas**

Son estacas entre leñosa y tierna, de ramas del año cuyos tejidos estén turgentes y la madera ha madurado parcialmente, se cortan de 10 cm de largo y se les deja hojas en la punta recortadas. Se emplea en árboles perennes como los cítricos; manejándose bajo nebulización (Gil Salaya 1999 y Alvarez Argudín 1996).

#### **2.2.2.1.2. Estacas de raíz**

En este tipo de estaca, debe tener lugar la producción de tallos adventicios, y, a veces, raíces adventicias. En muchas plantas, las yemas se forman fácilmente de raíces intactas,

especialmente si han sido lesionadas (Harmann y Kester 2001). Este hecho puede apreciarse en enormes frutales, donde, las lesiones mecánicas provocadas por el arado u otra herramienta, facilitan la emisión de rebrotes (Alvarez Argudín 1996).

Una de las desventajas de la reproducción asexual es que pueden manifestarse quimeras periclinales y entonces, la planta proveniente de estaca de raíz difiere de la progenitora (Alvarez Argudín 1996).

#### **2.2.2.2. Acodo**

El principio del acodo consiste en colocar una parte del vegetal (rama o brote) en condiciones favorables para que emita y desarrolle raíces, estando adherida a la planta madre (Rojas González *et al.* 2004; Alvarez Argudín 1996 y Gil Salaya 1999) Una vez desarrolladas las raíces se separa y se planta, donde crecerá sobre sus propias raíces, como un individuo, semejante a la planta que le dio origen (Alvarez Argudín 1996).

Tanto Rojas González *et al.* (2004), como Hartman y Kester (2001) describen que cada célula vegetal está capacitada para especializarse, reorganizarse y formar cualquier parte o toda una planta debido a la información genética que posee. A partir del meristemo primario y secundario se efectúa una diferenciación celular bajo condiciones de luz (su ausencia produce etiolación favorable al tejido), temperatura, nutrimentos y sanidad entre otras.

El acodo se debe efectuar en ramas vigorosas ya que, con el objeto de reducir la circulación de la savia y provocar la emisión de raíces por encima de la misma, la planta al ser acodada se debilita (decolorándose) y tiende en la mayoría de casos a deteriorarse (Romero y Díaz de Lozada s.f.).

##### **2.2.2.2.1. Tipos de acodo y su procedimiento**

A continuación se presentan los cuatro tipos de acodo más utilizados, características del sustrato y el trasplante del acodo.

###### **a. Acodo simple o murgón**

Se emplea en plantas de tallos flexibles y de poca altura como por ejemplo la vid (*Vitis vinifera*). Este sistema, consiste en doblar un brote o rama fuerte, suficientemente larga y, que nazca de la parte inferior de la planta, introduciendo un tramo en forma de arco en una zanja, con el extremo de la rama por fuera que se ata a un tutor (Alvarez Argudín 1996 y Gil Salaya 1999). Además Alvarez Argudín (1996) sugiere que la zanja sea de 20 a 25 cm de

profundidad, y se le coloque estiércol u otra fuente de materia orgánica, tapándolo con tierra preferentemente suelta, fértil; especificando que se deje el extremo de la rama con 15 a 30 cm afuera de la tierra practicando en la zona curvada bajo la tierra incisiones o anillado (Anexo 8)

El tiempo para la formación de raíces y la separación de la planta madre sucede entre uno y dos años (Gil Salaya 1999 y Alvarez Argudín 1996).

#### **b. Acodo en cepa o montículo**

Este método es empleado en plantas con ramas rígidas que año tras año pueden producir brotes abundantes en su corona (al ser recepada); el número de brotes por cepa varía según especie, variedad, edad y cuidados (Alvarez Argudín 1996).

De acuerdo con Alvarez Argudín (1996) y Gil Salaya (1999), en el acodo en cepa, las plantas madres se establecen cada 50 cm en surcos profundos separados 1.5-2.0 m con el cuello más bajo que el nivel del terreno dejándose crecer libremente durante un año, luego se decapitan las plantas a ras del suelo o más bajo, una vez los brotes alcanzan de 10 a 15 cm deben ser aporcados varias veces de modo que  $\frac{3}{4}$  partes del brote queden cubiertas con tierra suelta (turba, aserrín). Se desaporcan y cortan los brotes enraizados al cabo de un año y se repite el proceso para la obtención de nuevos brotes (acodos). Alix (1999) dice que, finalmente se poda de nuevo la planta madre para prepararla hacia otra producción de brotes (Anexo 8).

#### **c. Acodo en trinchera**

Se comienza plantando las plantas madres en un surcos a una distancia de 45 a 75 cm y con una inclinación de 30 a 45°, acostándolas hasta que quede plana en el fondo de la trinchera Alix (1999). Cuando emergen los brotes se procede a aporcarles las bases como en el caso anterior se aporcan los brotes hasta dejar 20 cm enterrados y se espera a que emitan raíces (Anexo 8), procurando dejar pequeños brotes en la planta madre para que produzca el siguiente año (Gil Salaya 1999).

#### **d. Acodo aéreo.**

Pueden hacerse acodos aéreos, casi con cualquier planta leñosa y pueden ser un método excelente para propagar pequeños árboles individuales. Para ello, se utilizan retoños relativamente jóvenes, vigorosos y bastante leñosos para resistir el tratamiento (Rojas González *et al.* 2004).

Según Alvarez Argudín (1996) y Gil Salaya (1999), el método consiste en elegir una rama o brote, de 15 a 30 cm de la punta, donde se hace una incisión anular quitando un anillo de corteza de 1.5 a 2.5 cm de ancho donde se coloca material que conserve la humedad (ej. Tierra y musgo bien húmedo) como medio de enraizamiento y se cubre con polietileno (plástico) amarrando sus extremos (Anexo 8). Cuando emite raíces se corta, separándose como una nueva planta. Godínez *et al.* (2000) describe el método en aguacate, para manejarse en condiciones de invernadero iniciando con la siembra de la semilla del patrón, que al alcanzar 20 cm de altura se injerta y al iniciar la brotación se le coloca en cámara oscura (generalmente especializadas para producir etiolación), cuando el brote alcanza 30 cm de altura, a 4 cm sobre la unión del injerto, se le hace un leve raspado en sus lados opuestos y se aplica un enraizador, se coloca un vaso transparente con sustrato y se sostienen con un tutor. Lener y Dana (s.f.) exponen que los acodos aéreos se hacen generalmente en brotes jóvenes o parcialmente endurecidos del grosor de un lápiz o ligeramente más grande, efectuando un corte lateral inclinado de 1 a 1.5 pulgada de largo hacia arriba, separando el corte con un palillo de dientes para evitar que se soldé la herida donde se le aplica una la hormona en polvo, se coloca el sustrato envolviéndolo con plástico atando sus extremos.

El acodo aéreo es un método simple pero mal adaptado a la masificación por lo que no es muy usado en la fruticultura comercial. (Alvarez Argudín 1996).

#### **2.2.2.2. El sustrato**

La humedad suficiente es la clave al éxito, por lo que el acodo debe cubrirse con material favorable humedecido; ligero, poroso, que permita el intercambio de oxígeno alrededor de la herida o anillado; que evite la pérdida de la humedad interior y deben inspeccionarse regularmente y humedecerlas cuando sea necesario (Rojas González *et al.* 2004; Romero y Díaz de Lozada s.f.). Así, el musgo, la fibra de coco, el aserrín, la vermiculita o las mezclas de tierra con cualquiera de estos sustratos han demostrado ser convenientes. Un poco de tierra de debajo de los árboles establecidos puede agregarse al sustrato para ayudar en el proceso de enraizamiento, sobre todo para especies que requieren microsimbiontes (Rojas González *et al.* 2004). En el caso del aserrín como sustrato, Alix (1999), menciona que debe estar de un color bien descompuesto para reducir daños y pérdidas provocados por hongos y bacterias.

### **2.2.2.2.3. Trasplante de acodo**

Para mejorar la proporción de supervivencia del acodo enraizado, se podan las raíces del retoño unos días antes del corte del acodo, para estimular el crecimiento de las mismas. A la cosecha, los acodos deben ponerse inmediatamente en un recipiente con agua para sembrarlos en condiciones de luz apropiada, y medio nutritivo, bajo la sombra, preferentemente bajo condiciones húmedas (Rojas Gonzáles *et al.* 2004).

En la plantación de estacas semileñosas y herbáceas, debe tenerse en cuenta que, de las hojas presentes en las estacas, si bien estimulan la formación de raíces, al transpirar, producen una pérdida de agua tal, que puede ocasionar su muerte, antes que restituyan el agua perdida. (Alvarez Argudín 1996); por eso para reducir al mínimo la transpiración foliar, la presión de vapor de agua de la atmósfera que las rodea, debe mantenerse tan semejante como sea posible a la presión de agua que existe en los espacios intercelulares de la hoja (Harmann y Kester 2001).

## **2.3. Factores que afectan la rizogénesis de plantas propagadas por acodo**

Las raíces de tipo adventicio son las que no se forman de otras raíces ni tienen origen embrional, sino que aparecen a partir de grupos de células vivas o parenquimosas de ramas y tallos (Calderón Alcaraz 1998).

Los factores que influyen en la rizogénesis son: heridas, anillado, etiolación, juvenilidad, uso de reguladores de crecimiento. En la zona de enraíce, el enraizamiento del acodo depende, de que, exista humedad continua, buena aireación y temperaturas moderadas; teniendo la ventaja de permanecer con su xilema intacto al estar unido a la planta madre y reciba nutrientes a diferencia del estaquillado (Alvarez Argudín 1996).

### **2.3.1. Acondicionamiento fisiológico**

La inducción del enraizamiento en el acodamiento puede estar asociada con alguna condición fisiológica específica del tallo asociada con la época del año. En muchos tipos de acodo, la época apropiada está asociada con el movimiento de carbohidratos y otras sustancias hacia las raíces al final de un ciclo estacional de crecimiento (Hartman y Kester 2001).

### **2.3.2. Influencia de la yema y hoja**

Fiorino y Vitagliano citados por Alvarez Argudín (1996) y Harmann y Kester (2001) exponen que, si los carbohidratos contribuyen a la formación de raíces, es probable que, el fuerte efecto promotor que ejercen las hojas (que produce hidratos de carbono) y las yemas, se deba a otros factores, como la auxina, producida por esos órganos y transportada desde el ápice a la base, ya que se conoce que las auxinas son las que favorecen el enraizamiento pero son producidas en las yemas del ápice.

### **2.3.3. Influencia de las reservas**

El tallo permanece adherido a la planta, durante el enraizamiento es aprovisionado constantemente de agua y minerales a través del xilema intacto (Hartman y Kester 2001). Por lo que la buena nutrición de la planta madre, favorece el enraizado (Alvarez Argudín 1996).

### **2.3.4. Tratamiento al tallo**

Se induce la formación de raíces adventicias en tallos adheridos, mediante diversas manipulaciones mecánicas de los mismos que ocasionan una interrupción en la translocación hacia la raíz de materiales orgánicos: carbohidratos, auxinas, y otros factores de crecimiento de las hojas y en las puntas de crecimiento de las ramas. Estos materiales se acumulan cerca del punto de tratamiento y ocurre el enraizamiento como lo haría en una estaca de tallo (Hartman y Kester 2001).

### **2.3.5. Efecto del descortezado anular**

Al practicarse una incisión anular, se forman raíces por encima de la misma. Este hecho, se puede interpretar, como que la rizogénesis depende de una sustancia emitida por la yema y que circula por el floema hacia abajo; ya que al quitar la corteza, su acción es detenida (Bouard y Pouget, citados por Alvarez Argudín 1996), acumulándose la mayor cantidad de carbohidratos y hormonas en este sitio, sin afectar la sobrevivencia de la planta. La emisión de raíces se puede estimular con la aplicación de reguladores de crecimiento u hormonas (Hartman y Kester 2001; Rojas Gonzáles *et al.* 2004).

En el caso de las estacas Jauhari y Rahman, citados por Gil Salaya (1999) también sugieren que antes de hacerlas, deben tomarse algunas medidas como el anillamiento para mejorar la condición de la ramilla.

### **2.3.6. Heridas**

Harmann y Kester (2001) opinan que, el efecto beneficioso de la herida, puede deberse a una acumulación natural de auxinas y de carbohidratos en el área lesionada y a un incremento en la tasa de respiración. Además, los tejidos lesionados por las heridas, se estimulan para que se produzca etileno, que, como se sabe, promueve la formación de raíces; hecho que también se favorece en el enraizado de estacas.

Fiorino y Vitagliano y Howard *et al.*, citados por Alvarez Argudín (1996) concuerdan en el hecho de que, existe una hormona de herida, a cofactores, y, que el efecto de la herida produce una mayor absorción del AIB, intensificándose el proceso de inducción de la rizogénesis.

En los estudios de Howard *et al.* y Howard, citados por Alvarez Argudín (1996) practicaron heridas en la base y entrenudo basal de estacas leñosas de manzano, obteniendo una considerable mejora en el número de estacas enraizadas y número de raíces, siendo la respuesta significativa con la aplicación de AIB. Alvarez Argudín (1996) también cita a Majunder y Howard quienes estudiando tratamientos promotores de raíces, realizaron dos incisiones en la base de brotes de acodos de manzano, que incrementaron el efecto del AIB en el enraizado.

### **2.3.7. Callo**

El callo, es un proceso de cicatrización de una herida, y las raíces adventicias se originan en el callo mismo (Cameron y Thompson, y Girouard citados por Gil Salaya 1999).

### **2.3.8. Nudo**

Swingle; Beakbane, citados por Gil Salaya (1999) dicen que una zona propicia para emitir raíces es el nudo, donde el parénquima, los rayos y la tráquea de ramas y hojas se cruzan con el cambium, y Doud y Carlson citados por Gil Salaya (1999) agrega, que, en el nudo hay riqueza de almidón.

### **2.3.9. Edad de la planta**

En una planta se dan tres fases: una juvenil, de transición y adulta; estas poseen variabilidad en crecimiento y desarrollo. Hartman y Kester (2001), afirman que, 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 (Alvarez Argudín 1996).

Garner y Hatcher, citados por Gil Salaya (1999) dicen que las podas severas en plantas madres de difícil enraizamiento, las mantienen en un estado vegetativo para la obtención de patrones clonales. Mahlstedte y Haber; citados por Alvarez Argudín (1996) y Hartmann y Kester (2001) afirman la importancia de las estacas tomadas de plantas jóvenes, que enraízan mejor que las extraídas de plantas viejas.

En árboles viejos, la poda de rejuvenecimiento se realiza a una altura de 1 a 1.2 metros en corte inclinado, dando lugar al crecimiento de los nuevos brotes (Godínez *et al.* 2000).

Mahlstedte y Haber, citados todos por Alvarez Argudín (1996) y Hartman y Kester (2001) explican que, las técnicas que provocan el rebrote como en el acodo en cepa, dan origen a brotes adventicios que desarrollan a partir de los esferoblastos los inducidos, que son estructuras donde se acumulan tejidos conductores y meristemáticos, que, promueven más fácilmente la formación de raíces.

Por su parte Hartman y Kester (2001) 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. Otra hipótesis se refiere a la reducción de fenoles (postulados como cofactores o sinergistas de la auxina en la iniciación de raíces) en las formas adultas.

La etiolación induce cambios anatómicos que podrían incrementar la iniciación de los primordios radicales por las células parenquimáticas.

Así como se ha visto que, las ramas de la planta al envejecer, pierden su poder de para enraizar, las hojas, también, al volverse senescentes, tienden a perder su poder estimulante, e inclusive, volverse inhibitoras (Favre; Margara, citados por Alvarez Argudín 1996).

### **2.3.10. Exclusión de la luz y la etiolación**

La exclusión de la luz de la parte del tallo en que se van a desarrollar raíces, es una característica común de todos los métodos de acodamiento. Se debe hacer una distinción entre blanqueamiento, ocasionado por la cobertura de un tallo intacto, después que se ha formado; y el etiolado, que es el efecto producido al alargarse un tallo en ausencia de luz. Los tallos intactos de algunas plantas sólo pueden producir raíces después del blanqueamiento; pero en otros también puede necesitarse la interrupción del floema. Sin embargo, el estímulo más grande a la producción de raíces se presenta cuando los tallos inicialmente en crecimiento se cubren con el medio de enraizamiento (Hartman y Kester 2001).

El sombreamiento por cubrimiento con cinta de la zona de la ramilla que servirá como base de una estaca, o con tierra u otro material en el acodo, produce el efecto de etiolación, con blanqueamiento de la epidermis, adelgazamiento de paredes celulares y aumento de tejido parenquimático, el que aumenta la capacidad rizogénica (Frolich, citado por Gil Salaya 1999). En tejidos etiolados por sombra el nivel de auxina es mayor, posiblemente porque la luz favorece su oxidación (Kawase, citado por Gil Salaya 1999).

La etiolación induce cambios anatómicos en los tejidos del tallo que podrían incrementar la iniciación de primordios radicales, principalmente por las células parenquimáticas indiferenciadas y la falta de barreras mecánicas (Rodríguez Navas, 2003).

Los brotes o estacas que se desarrollan en sus etapas iniciales en completa oscuridad, tienden a formar raíces más fácilmente que los que crecen a la luz. Este hecho conocido como etiolación ha sido comprobado por numerosos experimentos. Encontrándose en los tejidos etiolados cantidades ligeramente mayores de auxinas endógenas en comparación con los tejidos no etiolados (Alvarez Argudín 1996).

### **2.3.11. Auxinas**

Según Tizio, citado por Alvarez Argudín (1996) Las auxinas son reguladores de crecimiento que influyen fundamentalmente en la extensión de la pared celular y en la entrada de agua en la célula. Chaussat y Courduroux, citados por Alvarez Argudín (1996) dicen que las auxinas promueven la formación de raíces permitiendo a la planta o parte de ella, adquirir las propiedades morfogenéticas propias de los tejidos jóvenes.

El aumento en la capacidad de enraizamiento de estaquillas tratadas con auxina se atribuye a los efectos positivos de estas sobre la división celular, unido al reconocido efecto de las auxinas de promover el transporte de carbohidratos y cofactores foliares hacia las regiones tratadas con auxinas (Phillips, citado por Ruiz-Solsol y Mesén 2010).

Otro efecto de las auxinas sobre la formación de raíces radica en su capacidad de estimular la síntesis de ADN, lo cual resulta en una mayor división celular (Gaspar y Hofinger citados por Ruiz-Solsol y Mesén 2010). En general, se cree que ella induce la formación de un nuevo tipo de ARN, y en consecuencia, de nuevas enzimas y proteínas (Rojas Garcidueñas, citados por Alvarez Argudín 1996). El ARN se entiende interviene en la iniciación de los primordios de raíz (Harmann y Kester 2001).

Se conocen en la célula, varias moléculas que pueden tomar el lugar de la auxina por tener una configuración química parecida, pero, que, al unirse con el compuesto con el que se debería iniciar la reacción (enzima, ADN, ARN o cualquier metabolito), forman un complejo inerte, por lo que no son capaces de inducir acciones metabólicas pero además bloquean la acción de la propia auxina. Por esa razón la llaman antiauxinas. Moléculas de este tipo son el 2,6-diclorofenoxiacético (muy similar al 2,4-diclorofenoxiacético), 4-cloro-fenoxi-butírico, etc. (Rojas Garcidueñas, citado por Alvarez Argudín 1996).

En el caso de las sustancias hormonales sintéticas, estas se usan en bajas concentraciones y su mayor efecto se logra con concentraciones al límite del efecto tóxico en la planta y su uso más efectivo se logra en las maderas tiernas (Calderón Alcaraz 1998).

Sin embargo, la auxina por sí sola no logra producir la iniciación radical. Siempre que perdura la diferencia entre especies fáciles y difíciles de enraizar. Todo ello indica que hay otra condición o substancia necesaria para inducir iniciación de raíces además de auxinas, que serían cofactores (Gil Salaya 1999). Los cofactores fenólicos son abundantes en tejido juvenil y disminuyen en plantas maduras (Giruard citado por Gil Salaya 1999).

Según Calderón Alcaraz (1998) las tres sustancias más ampliamente usadas son el ácido indolacético (AIA), al ácido naftalenacético (ANA) y el ácido indolbutírico (AIB).

Ácido naftalenacético (ANA) es una auxina sintética al igual que Ácido 4-(indol-3-il) butírico (AIB) (Alvarez Argudín 1996), sin embargo AIB es la más utilizada en la multiplicación

asexual de plantas por su estabilidad y poca movilidad. Es tóxica para personas y para las plantas en grandes concentraciones.

Ácido indolacético (AIA) es una auxina formada por la propia planta, pero también existe en forma sintética. El AIA posiblemente, proviene del brote; el origen podría ser también el tejido más maduro de la raíz (Batra *et al.*, citados por Gil Salaya 1999). La elongación de raíces tiene alguna relación con el AIA, el cual es estimulador en una concentración baja ( $10^{-8}$  M), pero se torna inhibidor sobre  $10^{-6}$  M hasta ser, incluso, tóxico (Svensson, citado por Gil Salaya 1999). Según Larqué Saavedra (1993) el AIA, provoca estimulación del crecimiento del tallo, estimulación de la división celular, inhibición del crecimiento radical, retraso en la senescencia entre otras respuestas.

### **2.3.12. Las giberelinas**

Son un grupo de sustancias químicas con características definidas que aparecen en forma natural en las plantas y que forman parte del equipo regulador de las plantas superiores (Alvarez Argudín 1996). Es producida en el ápice radical e induce elongación de pelos radicales, que no son más que células agrandadas (Cozier y Reid, citados por Gil Salaya 1999). Las giberelinas también son sintetizadas en las puntas de las raíces y con frecuencia las giberelinas incrementan el contenido de auxinas. (Rojas González 2004).

### **2.3.13. Etileno**

La incidencia de las auxinas sobre ciertos fenómenos fisiológicos entre los que se mencionan el enraizamiento, se relaciona con aumentos de producción de etileno. Este metabolito (que no se le puede considerar una hormona), sería causante directo, mientras que las auxinas, actuarían indirectamente, mediante la inducción de la síntesis de las enzimas que intervienen en la producción del gas. En ciertos casos, el etileno estimula el enraizamiento en forma similar a las auxinas, es decir, mediante la inducción de la multiplicación celular en la región cambial y la posterior diferenciación en primordios radicales (Tizio, citado por Alvarez Argudín 1996).

El etileno inhibe el crecimiento en longitud de la raíz como la formación de laterales adventicias, efecto que no ocurre si el  $\text{CO}_2$  se eleva a 1% en el suelo. Existe una estrecha interacción del etileno con la auxina, pero un papel del etileno producido por heridas o aflicción por curvaturas naturales puede ser la estimulación del crecimiento de los primordios de raíz lateral (Feldma; Wardlow, citados por Gil Salaya 1999). Por su parte Larqué

Saavedra (1993), destaca que en los campos inundados, la falta de un buen drenaje provoca daños irreversibles en las plantas observándose su efecto en el amarillamiento progresivo de las hojas en sentido acrópeto seguido de un moteado café, epinastia, marchitamiento, reducción en la elongación del tallo, y ensanchamiento del diámetro del tallo por encima del nivel del agua, dándose además el fenómeno de formación de raíces adventicias en plantas inundadas después de varios días probablemente por la disminución de la traslocación de carbohidratos y auxina.

#### **2.3.14. Humedad**

La hidratación de las células permite que, el asiento rizógeno, reaccione a la sustancia emitida por la yema (Alvarez Argudín 1996) por ello, la humedad en el suelo es fundamental pues las raíces son más sensibles a pequeñas aflicciones que los brotes (Richards y Cockroft, citados por Gil Salaya 1999).

#### **2.3.15. Temperatura**

Margara; Bouard y Pouget, citados por Alvarez Argudín (1996), explican que “puede ser que la temperatura se manifieste sobre la rehidratación de las estacas y sobre las divisiones celulares”. Además agrega que su influencia es más evidente, en estacas leñosas de difícil enraizamiento.

#### **2.3.16. Oxígeno**

La oxigenación del medio se ha considerado siempre favorable, de ahí que el sustrato debe asegurar una buena aireación, siendo fundamental un buen drenaje (Alvarez Argudín 1996).

Un buen desarrollo radical necesita de oxígeno, generalmente sobre 10% asegurado por los poros de una buena estructura de suelo ((Williamson; Huck; Duncan, citados por Gil Salaya 1999).

#### **2.3.17. Luz**

De acuerdo con Margara, citada por Alvarez Argudín (1996) la luz en el medio de enraizamiento favorece, en ciertos casos, la propagación de estacas foliáceas, más que por una influencia sobre la fotosíntesis por efecto del fotoperiodo. La formación radicular es promovida por una alta relación de auxinas, y su efecto de la luz sobre la rizogénesis varía en cada especie y cultivar (Bertazza *et al.* citados por Zolla *et al.* s.f.).

#### 2.4. Estudios sobre propagación de aguacate

En aguacate se emplean principalmente portainjertos resistentes a la pudrición radical causada por *Phytophthora cinnamomi*; a suelos con problemas de salinidad y recientemente crece el interés por reducir el porte de los árboles. A diferencia de otros frutales, en que la multiplicación de los portainjertos puede hacerse por semilla sin que se genere variación en las características sobresalientes, en aguacate, debido a su condición altamente heterocigótica, es necesario recurrir a la propagación asexual para asegurar la conservación de las características de interés (Muñoz Pérez y Castellanos s.f.).

Zapata, citado por Muñoz Pérez y Castellanos, (s.f.); menciona que la mayoría de los huertos comerciales de aguacate tienen como portainjertos materiales criollos multiplicados por semilla. Aparentemente no existe la necesidad apremiante de utilizar portainjertos específicos, sin embargo, con el paso del tiempo los problemas de suelo van en aumento, previéndose para el futuro mayores daños por *Phytophthora* y salinidad. Por su parte, Romero y Díaz de Lozada (s.f.) afirman que las plantaciones establecidas de esta manera sufren grandes variaciones en cuanto a vigor, resistencia al frío y a las enfermedades, transmitidas precisamente, en la mayoría de los casos por los portainjertos que las sostienen. Por lo que la propagación asexual, único camino capaz de asegurar portainjertos genéticamente idénticos (clonales).

Romero y Díaz de Lozada, (s.f.), menciona que realizando unos ensayos sencillos y económicos al norte de la isla de Tenerife (situada en las Islas Canarias, España, entre los paralelos 28° y 29° N y los meridianos 16° y 17° C, ligeramente al norte del Trópico de Cáncer), obtuvo enraizamiento en ramas de aguacate utilizando acodo aéreo, recomienda utilizar ramas que dispongan de gran número de yemas sin desarrollar y enfatiza que esta condición debe coincidir con los meses de enero o febrero dependiendo de la floración para que el anillo de corteza no se reactive circulación de la savia.

En un estudio sobre el “uso potencial de la raza antillana como fuente de resistencia a la podredumbre radicular de aguacate,” se obtuvieron resultados de 48-63% de sobrevivencia de patrones trasplantados a una parcela altamente infestada con *Phytophthora* (Gallo Llobet *et al.* 2003).

Muñoz Pérez y Castellanos (s.f.) afirman que, en México, se han realizado algunas investigaciones exitosas en la propagación clonal de portainjertos de aguacate, en los que

citan a: Salazar y Borys que utilizaron el método de “franqueamiento” en el cual se eliminó el empleo de la etiolación, el franqueamiento consiste en provocar la emisión de raíces a través de incisiones en el punto de injerto, adicionando hormonas cuando se trata con especies de difícil enraizamiento y luego se cubre con sustrato la zona a franquear y mantener la humedad adecuada hasta lograr la emisión de nuevas raíces; y Muñoz Pérez y Castellanos (s.f.) citan a Barrientos *et al.* quienes trabajando con estacas, determinaron indispensable el uso de la etiolación para lograr el enraizamiento. Sin embargo, en el Estado de México ninguno de los dos métodos anteriores se utiliza comercialmente.

En el estudio de Muñoz Pérez y Castellanos (s.f.), realizaron varios ensayos independientes utilizando las técnicas de acodo de trinchera, acodo aéreo y franqueamiento (se refiere simplemente a cualquier planta hecha crecer bajo condiciones reducidas de luz), en invernadero instalado a una altura de 2,140 msnm. Obtuvieron 66 % de enraizamiento como máximo con el uso de franqueamiento, etiolación y ácido indolbutírico a 10,000 mg.L<sup>-1</sup>. Concluyendo que los brotes etiolados tienen mayor capacidad de enraizamiento que los brotes a los que no se les da este preacondicionamiento; pero que la respuesta de emitir raíces adventicias es diferente en genotipos distintos de aguacate.

Alves-de Oliveira *et al.* (1999) estudiaron la propagación vegetativa de aguacate selección 153 por acodo aéreo en contenedor; usando anillado con eliminación de 3 mm de corteza y estrangulado del brote con alambre de cobre 0.25 mm de diámetro, y dos dosis de 5 g.litro<sup>-1</sup> de AIB y 10 g.litro<sup>-1</sup> disuelto en alcohol al 40% y aplicado en astillas de madera. La investigación duro más de siete meses desde la siembra de las semillas, injertación, etiolación en cámara oscura y el acodado. A los 70 días de la aplicación de los tratamientos se obtuvieron los mejores resultados en las combinaciones anillado mas 10 g.litro<sup>-1</sup> de AIB con 73.67% de acodos enraizados y el 56.67% de acodos enraizados en anillado mas 5 g.litro<sup>-1</sup> de AIB. En la evaluación de la supervivencia, a los 60 días murieron las plántulas con sistema radicular muy deficiente, sobreviviendo el 100% de las plantas procedentes tratamientos con anillado. Concluyendo que la aplicación de AIB aumenta el índice de enraizamiento.

Castellanos (1999), estudió el tipo de injerto con diferentes concentraciones de AIB, uso distintos niveles de obstrucción de savia sobre vástagos etiolados de un portainjerto criollo de la raza mejicana enraizado por acodo aéreo. Obteniendo 100% de enraizamiento en las plantas con injerto de hendidura con 10,000 mg.litro<sup>-1</sup> de AIB sin obstrucción de savia y en

las plantas injertadas por enchapado lateral presentaron mejor enraizamiento con la dosis de 10,000 mg.litro<sup>-1</sup> de AIB con obstrucción de savia.

Salazar-García *et al.* (2004), en la investigación realizada para determinar el tiempo requerido y la capacidad de enraizamiento de 38 selecciones de aguacate (de las tres razas) y dos de chute (*Persea schiedeana* Nees), usando una solución de AIB de 2,000 ppm más ácido  $\alpha$ -naftalenacético 1,000 ppm en la zona del anillamiento de corteza, obtuvieron una fluctuación en la capacidad de enraizamiento de 10 -100%, produciendo raíces entre 60 a 180 días.

## **2.5. Otros estudios sobre propagación asexual**

Alvarez Argudín (1996) refiriéndose a los efectos de la etiolación cita a: Doud y Carlson quienes manifiestan que la etiolación permite que las raíces aparezcan antes, siendo mayor el número de estacas enraizadas: 76.2% en los brotes etiolados y 6% en los brotes no etiolados, lo que representa una diferencia significativa. Además su efecto es más notorio cuando más temprano se aplica dicho tratamiento en el desarrollo de los brotes. Alvarez Argudín (1996), Cita a Harrison y Murray que realizaron en la East Malling, una serie de experimentos con la finalidad de testar el efecto de la falta de luz en el desarrollo de las estacas de manzano M 9. Se eligió este portainjerto de manzano, basándose en el pobre enraizamiento de sus estacas y, en la alta proporción de enraizado de sus renuevos. Los arbustos de M 9 eran cubiertos durante cuatro semanas totalmente con polietileno oscuro; después, se cubría la base de los brotes con cinta adhesiva negra. Durante cuatro años, esta técnica modifico la habilidad de enraizamiento del manzano M 9; en tratamientos combinados con AIB, varió de 0% a 19% en los no etiolados y 71% a 95% en los etiolados. En dos de los tres años de estudio se manifestó un fuerte sinergismo entre la acción de la auxina y la etiolación. Alvarez Argudín (1996), cita a Howard quien confirmando experimentos anteriores, señala que, brotes de manzano M 9, cubiertos durante un mes con bolsas de polietileno oscuro, incrementaban el enraizado de estacas de verano de 14% a 84%, manifestando, por otra parte, que, de acuerdo a estudio realizados por la East Malling, no sería esencial una completa oscuridad para lograr una efectiva etiolación.

En la propagación de achiote (*Bixa orellana*) a través de estacas, se obtuvo mejor desarrollo de raíces en las producidas bajo invernadero, que las expuestas a cielo abierto, sumado a las condiciones de alta humedad relativa, privadas de luz, con presencia de hojas, y que se

les aplicó 4000 ppm de AIB y de tres partes utilizadas de la rama; fueron mejores para enraizar al utilizar su área basal como estaca (Arce Portugués 1984).

Castillo *et al.* (2005), estudio el Efecto de la auxina AIB en la propagación de jazmín (*Murraya paniculata*) por acodo aéreo. El objetivo de esta investigación fue evaluar la capacidad e intensidad del enraizamiento al aplicar cuatro concentraciones de AIB (0, 3000, 4000 y 5000  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ) en la propagación mediante acodado. A los 60 días se obtuvo un 100% de enraizamiento en todos los tratamientos, observándose que la concentración de 4000  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  hubo mayor masa, número y longitud total de raíces. En todos los tratamientos aplicados en las ramas acodadas, incluyendo el testigo, se produjo un 100% de enraizamiento.

Castillo *et al.* (2005), dice que en diversas especies de plantas se ha encontrado una respuesta positiva a la aplicación de reguladores de crecimiento al realizar la propagación mediante el acodo, citando como ejemplos a los siguientes autores, Rajan *et al.* y Pérez *et al.*, trabajando con *Mangifera indica* lograron las mejores respuestas al utilizar diferentes auxinas, solas o combinadas. En aguacate (*Persea americana*) Rogel *et al.*, citados por Castillo *et al.* (2005), obtuvieron enraizamientos con AIB en concentración de 1000  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ . Por su parte Buitrago y Ramírez, citados por Castillo *et al.* (2005), encontraron el mayor porcentaje de enraizamiento, número y longitud máxima de raíces adventicias en guayaba (*Psidium guajava*) al aplicar 400  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de ácido naftalenacético (ANA). Lo anterior indica que el uso de reguladores de crecimiento es una forma de mejorar la magnitud de enraizamiento de diversas especies vegetales.

### 3. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Localización

Durante el período comprendido entre el 27 de julio de 2010 y el 01 de abril de 2011 se evaluó la efectividad de la técnica de acodo aéreo utilizando Ácido Indolbutírico como enraizador en diferentes dosis. La investigación se realizó en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador ubicada a 700 msnm con coordenadas LN 13° 43.6´ y LW 89° 12.4´.

#### 3.2. Características climatológicas del lugar de la investigación

Los datos climáticos correspondientes a San Salvador se obtuvieron a través del Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

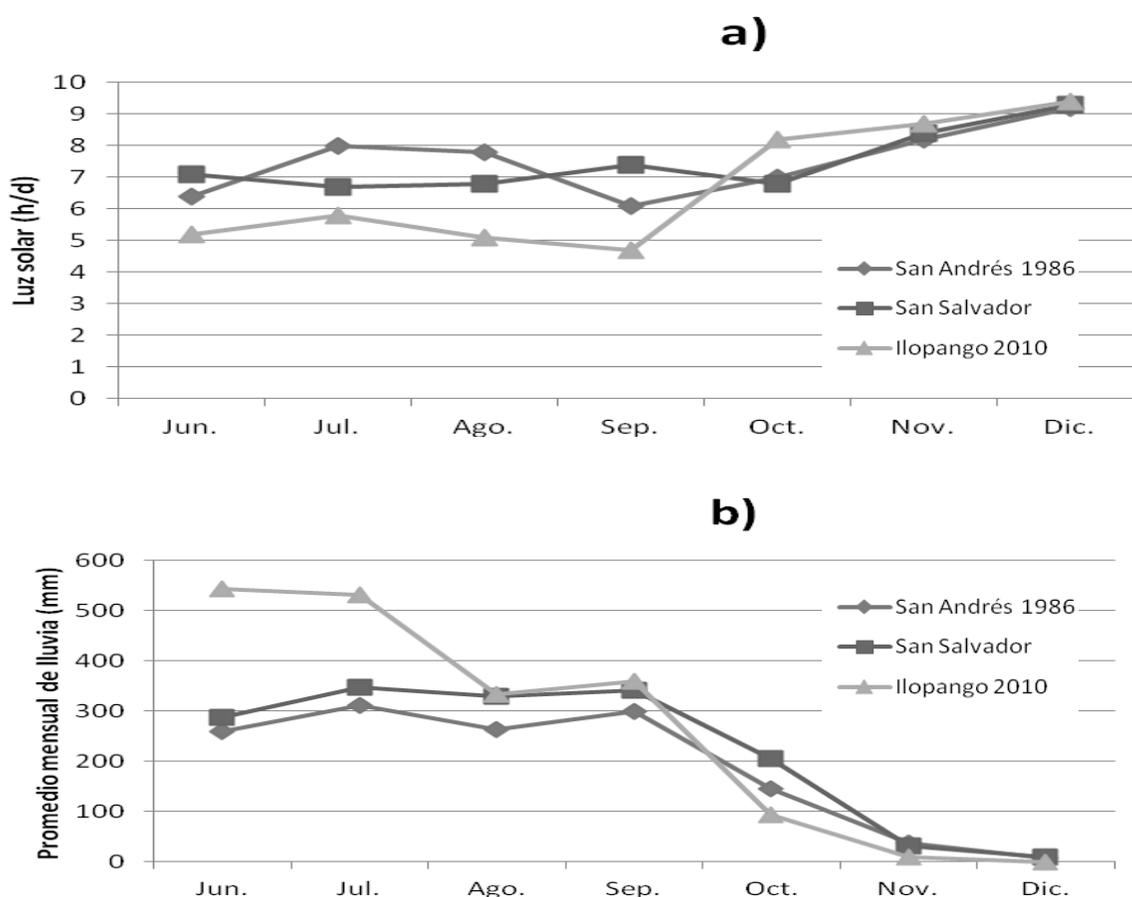


Figura 1. Comparación de datos climatológicos a) Luz solar y b) Precipitaciones.

### 3.2.1. Clima: Universidad de El Salvador (UES). San Salvador

Tomando en cuenta la regionalización climática de Holdridge (1982), se clasifica como “Bosque Húmedo subtropical”, con biotemperatura y temperatura del aire, medio anuales mayores de 24 °C. Vientos con rumbo predominante del norte durante la estación seca y del suroeste en la estación lluviosa, la brisa marina del Sur y Suroeste ocurre después del mediodía, la velocidad promedio anual es de 7.8 km. h<sup>-1</sup> (Anexo 3).

Para más detalle, el Anexo 9-12 y Figura 1 se registran los promedios de los datos climáticos ocurridos de junio a diciembre de 2010.

### 3.3. Origen del material vegetal

El material que se usó fueron plantas injertadas con la variedad Ereguayquín sobre patrones provenientes de semillas, reproducidas en el vivero Zapotitán “Los Cerritos”, San Juan Opico, La Libertad.

### 3.4. Realización de los acodos aéreo

Los acodos se efectuaron en 168 plantas de aguacate de un año de edad injertadas. Las plantas presentaban una y dos ramas, por lo que se les dejó una rama para uniformizar las características entre las plantas como diámetro, altura y número de ramas donde se aplicó el tratamiento.

Quince días antes de aplicar el AIB se cubrió con plástico negro unos 10 cm de rama de las plantas correspondientes al tratamiento con etiolación para bloquear la luz solar en el tejido vegetal (área a acodar) (Figura 3b).

#### 3.4.1. Preparación de AIB

Concentración 10,000 mg.L<sup>-1</sup> (ppm) AIB:

$$\frac{10,000 \text{ mg AIB}}{\text{L}} \times \frac{1 \text{ g AIB}}{1,000 \text{ mg}} = \frac{10 \text{ g AIB}}{\text{L}} = \frac{10 \text{ g AIB}}{1000 \text{ ml}}$$

Por regla de tres 10 g AIB ----- 1000 ml X= 0.06 g AIB----- 6 ml
--

Para preparar cada dosis de AIB, se diluyó en KOH al 1N y se aforo con agua destilada (Figura 2c).

### 3.4.2. Preparación de los acodos

Se estableció que el área para acodar fuera a 7 cm del punto de injerto para que al cortar el acodo aéreo enraizado no se pierda el material injertado y a su vez se aprovechara la proximidad del nudo de la rama que tiende a enraizar mejor en las partes distales de ella, se amarró con alambre de cobre para obstruir el paso de los productos de la fotosíntesis (estrangulado). Previamente en este mismo punto se realizaron cuatro heridas longitudinales con hoja de afeitar desinfectándola con hipoclorito de sodio al utilizarla en cada planta (Figura 3d y f).

Se hicieron dos aplicaciones de AIB a intervalo de 45 minutos en la parte anillada con brocha de media pulgada a concentraciones de: 2,000 mg.L<sup>-1</sup>, 5,000 mg.L<sup>-1</sup> y 10,000 mg.L<sup>-1</sup>, en sus respectivos tratamientos (Figura 3e y f, Cuadros 1 y 2).

Como sustrato se utilizó una mezcla de aserrín de pino (70%) y cedro (30%) esterilizado con agua hirviendo y pH 7.99 (Figura 2a y b), al encontrarse frío se eliminó el exceso de humedad presionándolo con el puño de la mano y se colocó en el área acodada cubriéndolo con papel aluminio para evitar su deshidratación y permitir las condiciones de oscuridad y humedad para el desarrollo de las raíces (Figura 3g y h). Se observó el sustrato cada quince días hidratándolo cuando era necesario con agua previamente hervida y enfriada (Figura 2e). Por efecto del sol el papel aluminio se deterioró siendo necesario el cambio cada dos meses y medio. Se hicieron revisiones a los tres, seis y ocho meses para ver la existencia de raíces.

### 3.4.3. Manejo de las plantas

El riego de las plantas en la época lluviosa se realizó cada tres días con una duración de 45 minutos con una aspersion en forma de rocío logrando un adecuado humedecimiento de las mismas y en la época seca se colocaron en piletas de absorción (Figura 3h) utilizando plástico negro termo-encogible llenándolas de una a dos veces por semana con agua en los meses secos (diciembre de 2010 a abril de 2011), sistema de riego evaluado por Salinas-Barquero *et al.* (2008), para producir plantas de marañón; encontrando un desarrollo vigoroso de las plantas

Se realizaron fertilizaciones a razón de 5 gramos de 15-15-15 de NPK por planta cada 22 días durante los primeros meses y cada 35 días en los meses restantes. Se realizaron aplicaciones de fertilizante foliar a una dosis de 60 cc.bomba<sup>-1</sup> de mochila cada 15 días en los primeros dos meses y luego cada 30 días.



**Figura 2. Preparación de materiales y manejo de plantas: a) Medición del pH de aserrín con peachímetro Orión 420A+, b) Desinfección de aserrín, c) Preparación y dilución de**

**AIB, d) Estaquillado y amarre a andamio de plantas acodadas, e) hidratación de los acodo aéreos, f) Aplicación de fungicida.**

Para el control de insectos (trips), se hicieron tres aplicaciones a un intervalo de 45 días de 2 ml de endosulfan diluyendo en medio litro de agua. En la prevención de hongos se aplicó una dosis de 60 cc de Propamocarb clorhidratato en 4 galones de agua al inicio en las heridas realizadas en el área anillada, y una aplicación de fungicida (Oxicloruro de cobre) en igual dosis durante cuatro meses lluviosos en toda la planta (Figura 2f).

#### **3.4.4. Variables**

Se descubrieron los acodos aéreos a los tres, seis y ocho meses después del tratamiento para observar la presencia o ausencia de raíces y callo.

##### **3.4.4.1. Variables cuantificadas en la investigación**

- **Número de raíces**

Después de haberseles quitado a las plantas el papel aluminio con el sustrato en la parte acodada, se reviso una por una para contabilizar las raíces.

- **Longitud de raíces**

Se midió desde el tallo al extremo de la raíz con escalímetro en milímetros, a escala 1:100 obteniendo su longitud por raíz en cada acodo (Figura 5c).

- **Número de plantas con callosidad y estrangulamiento en tallo**

Se observó el área de tratamiento del acodo aéreo y se califico como: tallos con callo, a las plantas que presentaban incremento de masa sobre el anillo; y tallo con estrangulamiento, a las plantas cuyo alambre de cobre estuviera incrustado en el tallo, obteniéndose un promedio por tratamiento (Figura 5a, b, c).



**Figura 3. Preparación de la investigación: a) Medición del área a acodar, b) Pretratamiento: bloqueo de luz, c) Toma de altura de la planta, d) Heridas a 7 cm del punto del injerto, e) Anillado con alambre de cobre, f) Aplicación del AIB, g) Colocación de sustrato y papel aluminio y h) Plantas en piletas de absorción.**

### 3.4.4.2. Variables que validaron el diseño experimental

- **Altura de la planta**

Se tomó con cinta métrica en centímetros, desde la base del tallo hasta yema apical obteniendo la altura promedio de las plantas por tratamiento al inicio y final de la investigación (Figura 3c).

- **Diámetro del tallo**

Se midió con pie de rey a 7 cm a partir del injerto en el área a acodar donde se colocó el anillo de alambre de cobre y se hizo una segunda medición en el área acodada al final de la investigación, obteniendo así el diámetro inicial y diámetro final promedio por tratamiento compuesto por siete plantas (Figura 3a).

- **Número de plantas vivas**

Se conto el número de plantas vivas por tratamiento, y con el promedio de estas se analizo para verificar que el número de plantas no afecto la respuesta de los tratamientos.

### 3.5. Análisis económico de los tratamientos

Se registro todo material y recurso ocupado en la investigación, la cantidad y su valor en el mercado nacional (Anexo 2). De ellos se tomo la información necesaria para calcular el ingreso neto para cada tratamiento aplicando el análisis económico propuesto por el Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo (CIMMYT 1988) en el Cuadro 9, donde:

**Rendimiento ajustado** = (Rendimiento promedio) – (10%)

**Beneficios Brutos** = (Rendimiento ajustado) x (precio/planta/acodo)

**Total Ingreso Adicional (A)** = (Ingreso Adicional = Ben. Bruto de T<sub>7</sub> o T<sub>8</sub>) +  
(Disminución de costos = Costos que varían de trat.testigo T<sub>5</sub>)

**Total Costo Adicional (B)** = (Costo Adicional = Costos que varían de T<sub>7</sub> o T<sub>8</sub>) +  
(Disminución de Ingresos = Ben. Bruto de trat.testigo T<sub>5</sub>)

**Cambio en el ingreso Neto** = (A-B)

### 3.6. Diseño experimental

Se utilizó el diseño bloques al azar con arreglo factorial de 2 x 4 correspondiente al factor “E”: sin etiolación (e<sub>1</sub>) y con etiolación (e<sub>2</sub>), y al factor “A” cuatro dosis de ácido indolbutírico (AIB):

$a_0 = 0 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $a_1 = 2,000 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $a_2 = 5,000 \text{ mg.L}^{-1}$ ,  $a_3 = 10,000 \text{ mg.L}^{-1}$  con tres repeticiones (Cuadro 1).

La unidad experimental se constituyo por siete plantas sembradas en bolsa de polietileno (8x17 cm), de la misma edad, pero con diferente grosor de tallo, razón por la cual el diseño factorial tuvo un arreglo en bloques al azar, cuya gradiente fue el diámetro: 3.0 – 4.5 mm, 4.6 – 6.1 mm, 6.2 -7.7 mm. Esta medición se realizó con pie de rey (Figura 3a, Cuadro 2, 5 y 6, Anexo 5).

**Cuadro 1. Arreglo factorial 2 x 4 con tres repeticiones más dos testigos con diseño en bloques al azar.**

Factor "E"	Factor "A"	Tratamiento	Combinaciones
e <sub>1</sub>	a <sub>0</sub>	T <sub>1</sub>	Con etiolación + 0 mg L <sup>-1</sup> AIB
e <sub>1</sub>	a <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	Con etiolación + 2,000 mg L <sup>-1</sup> AIB
e <sub>1</sub>	a <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	Con etiolación + 5,000 mg L <sup>-1</sup> AIB
e <sub>1</sub>	a <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	Con etiolación +10,000 mg L <sup>-1</sup> AIB
e <sub>2</sub>	a <sub>0</sub>	T <sub>5</sub>	Sin etiolación + 0 mg L <sup>-1</sup> AIB
e <sub>2</sub>	a <sub>1</sub>	T <sub>6</sub>	Sin etiolación + 2,000 mg L <sup>-1</sup> AIB
e <sub>2</sub>	a <sub>2</sub>	T <sub>7</sub>	Sin etiolación + 5,000 mg L <sup>-1</sup> AIB
e <sub>2</sub>	a <sub>3</sub>	T <sub>8</sub>	Sin etiolación +10,000 mg L <sup>-1</sup> AIB

a = dosis de Ácido Indolbutírico

e = etiolación

a<sub>0</sub> =testigos para ver el efecto solo del acodo y el efecto de la etiolación

**Cuadro 2. Bloques ordenados por gradiente de diámetro.**

Bloques	Gradiente diámetro (mm)
I	3.0- 4.5
II	4.6 - 6.1
III	6.2 -7.7

### 3.6.1. Análisis estadístico

Para la variable altura, diámetro, número de plantas vivas, plantas con callosidad, plantas con estrangulamiento se realizó análisis de varianza (ANVA), mediante el programa SAS Versión 8, con su respectiva prueba de Duncan. Para reducir el alto valor del coeficiente de variación se aplico transformación (Log<sub>10</sub>) y para procesar los datos con cero, de una variable, se adicionaron diez unidades a los resultados (Anexo 13, 14)

### **3.7. Observación anatómica de células epidérmicas en aguacate Ereguayquín**

#### **3.7.1. Preparación de plantas**

Se seleccionaron 12 plantas para verificar los días de etiolación, divididas en cuatro grupos: cero días, 30 días, 45 días y 60 días cubiertas con plástico negro. A una de cada grupo se les realizó un corte longitudinal en el área privada de luz para tomar una muestra de tejido, que se preparó en un laboratorio privado, en laminillas con la técnica del parafinado. Esta preparación se observó en microscopio.

#### **3.7.2. Observación de células de corte longitudinal de tallo**

Con ayuda de un micrómetro ocular (MPS Visuell 10X) y micrómetro de platina (Wild 310342) se calibró el microscopio modelo Leitz Laborlux D, el equivalente de cada división del micrómetro ocular resultó de 2.632 micras con el objetivo 40X. Se seleccionó un corte de tejido de tallo preparado con el método del parafinado, tomándose en cuenta las primeras nueve capas de células a partir de la epidermis por presentar mayor cantidad de células enteras y claramente identificables para el propósito de medición en micras (Figuras 7 y 8).

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se presentan los resultados obtenidos en la investigación para cada una de las variables medidas:

**Cuadro 3. Resultados del efecto de la etiolación y aplicación del ácido indolbutírico sobre la iniciación radicular, producción de callo y estrangulamiento del tallo acodado de aguacate Ereguayquín.**

Bloques	Factor "E"	Factor "A" (mg.L <sup>-1</sup> AIB)	Tratamientos	Número de raíces		Longitud de raíces (mm)		Número de plantas con estrangulamiento		Número de plantas con callosidad	
				RO	RT	RO	RT	RO	RT	RO	RT
Bloque I	Con etiolación (e <sub>1</sub> )	0	T <sub>1</sub>	0	1.0000	0	1.0000	2	1.0792	0	1.0000
		2 000	T <sub>2</sub>	0	1.0000	0	1.0000	1	1.0414	0	1.0000
		5 000	T <sub>3</sub>	0	1.0000	0	1.0000	1	1.0414	3	1.1139
		10 000	T <sub>4</sub>	0	1.0000	0	1.0000	2	1.0792	3	1.1139
	Sin etiolación (e <sub>2</sub> )	0	T <sub>5</sub>	0	1.0000	0	1.0000	3	1.1139	0	1.0000
		2 000	T <sub>6</sub>	0	1.0000	0	1.0000	1	1.0414	1	1.0414
		5 000	T <sub>7</sub>	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	1	1.0414
		10 000	T <sub>8</sub>	3	1.1139	4.25	1.1538	2	1.0792	3	1.1139
Bloque II	Con etiolación (e <sub>1</sub> )	0	T <sub>1</sub>	0	1.0000	0	1.0000	3	1.1139	0	1.0000
		2 000	T <sub>2</sub>	0	1.0000	0	1.0000	3	1.1139	0	1.0000
		5 000	T <sub>3</sub>	0	1.0000	0	1.0000	1	1.0414	0	1.0000
		10 000	T <sub>4</sub>	0	1.0000	0	1.0000	4	1.1461	0	1.0000
	Sin etiolación (e <sub>2</sub> )	0	T <sub>5</sub>	0	1.0000	0	1.0000	2	1.0792	0	1.0000
		2 000	T <sub>6</sub>	0	1.0000	0	1.0000	1	1.0414	0	1.0000
		5 000	T <sub>7</sub>	1	1.0414	1.8	1.0719	2	1.0792	0	1.0000
		10 000	T <sub>8</sub>	0	1.0000	0	1.0000	4	1.1461	0	1.0000
Bloque III	Con etiolación (e <sub>1</sub> )	0	T <sub>1</sub>	0	1.0000	0	1.0000	2	1.0792	0	1.0000
		2 000	T <sub>2</sub>	0	1.0000	0	1.0000	1	1.0414	0	1.0000
		5 000	T <sub>3</sub>	0	1.0000	0	1.0000	3	1.1139	1	1.0414
		10 000	T <sub>4</sub>	0	1.0000	0	1.0000	3	1.1139	2	1.0792
	Sin etiolación (e <sub>2</sub> )	0	T <sub>5</sub>	0	1.0000	0	1.0000	0	1.0000	1	1.0414
		2 000	T <sub>6</sub>	0	1.0000	0	1.0000	1	1.0414	0	1.0000
		5 000	T <sub>7</sub>	0	1.0000	0	1.0000	4	1.1461	1	1.0414
		10 000	T <sub>8</sub>	0	1.0000	0	1.0000	3	1.1139	3	1.1139

RO = Resultados Originales.

RT = Resultados Trasformados, introducidos en el programa SAS.

##### 4.1. Número y longitud de raíces

Según el análisis de varianza, estadísticamente el factor etiolación ("E"), dosis de AIB ("A") y la interacción de ellos, presentaron iguales efectos sobre las variables número y longitud de raíces (Cuadro 3 y 4). Es decir que la técnica de etiolación ("E"), no produjo cambios en las células por efecto de la privación de luz, para lograr que las células cambiaran su aptitud

fotosintética en rizogénica; no logrando lo que aseveran, Muñoz Pérez y Castellanos (s.f.), que los brotes etiolados, tienen mayor capacidad de enraizamiento; si bien la etiolación por sí misma no logra la producción eficiente de raíces en aguacate, mediante esta técnica se buscaba potencializar la acción del AIB, como lo lograron Alves-de Oliveira *et al.* (1999), utilizando acodo aéreo, en la selección 153, promoviendo hasta 73.6% de enraizamiento con uso de etiolación mas AIB.

De igual manera el ácido indolbutírico (factor "A"), no produjo efecto, lo que significa que no influenció sobre la emisión de raíces; aun cuando existen estudios donde los tratamientos auxinicos son más eficientes, si se combinan con otras prácticas de propagación como la etiolación, heridas, anillado o descortezado anular (Alves-de Oliveira *et al.* 1999, Alvarez Argudín 1996, Castillo *et al.* 2005). Pero el uso de auxinas en los estudios no siempre ha resultado exitoso, Muñoz Pérez y Castellanos (s.f.), obtuvo cero enraizamiento en Colin V-33 utilizando una dosis de 10,000 mg.L<sup>-1</sup> de AIB, con una frecuencia de dos aplicaciones; y Haas, citado por Castellanos (1999), obtuvo 0% de enraizamiento en estacas del cultivar Fuerte, utilizando ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolacético (AIA). Si bien estadísticamente resulto no significativo el AIB y la etiolación en la producción de raíces para el Ereguayquín, el hecho de producir indicios radicales en dos plantas, implica que existe un potencial de la variedad a producir raíces, por lo que se deben considerar y manejar los factores que intervienen en la propagación por acodo de tal manera que la producción de portainjertos clonales del Ereguayquín resulten exitosos.

**Cuadro 4. Análisis de Varianza para la variable Número de Raíces, transformada.**

F.de v.	GL	SC	CM	Fcal.	Prob.
<b>Bloque</b>	2	0.0008	0.0004	0.65	0.5375 ns
<b>Factor "E"(etiolación)</b>	1	0.0010	0.0010	1.57	0.2307 ns
<b>Factor " A"(dosis AIB)</b>	3	0.0014	0.0005	0.75	0.5395 ns
<b>Factor "E". Factor "A"</b>	3	0.0014	0.0005	0.75	0.5395 ns
<b>Error experimental</b>	14	0.0090	0.0006		
<b>Total</b>	23	0.0137			

\* Significativo al igual o menor al 5%.

ns No significativo.

En el resto de las plantas no hubo emisión de raíces, es decir que las concentraciones de auxinas (Fa) 2,000 mg.L<sup>-1</sup>; 5,000 mg.L<sup>-1</sup> y 10,000 mg.L<sup>-1</sup> de ácido indolbutírico, de estas unidades, no fueron efectivas en la emisión de raíces.

Autores como (Muñoz Pérez y Castellanos s.f. y Gómez *et al.*, citados por Salazar-García *et al.* 2004) afirman que la capacidad de enraizamiento en aguacate se encuentra relacionada

al genotipo y la raza de aguacate empleada, así Borys, citado por Rodríguez Navas (2003), considera que la raza de mas fácil enraizamiento es la mexicana, seguida de la guatemalteca a la que pertenece el Ereguayquín. Sin embargo esta variabilidad difiere de estudios como el de Salazar-García *et al.* (2004), que trabajaron con 38 selecciones de aguacate a través de la técnica de acodo, obteniendo diferente respuesta en el tiempo y capacidad de enraizamiento (10 a 100%), en cada uno de las selecciones, de las tres razas. Y Muñoz Pérez y Castellanos (s.f.), quienes obtuvieron de cero a 50% de enraizamiento en la raza guatemalteca e híbridos.

Las plantas injertadas, se producen con varetas o yemas en fase adulta, para garantizar su pronta cosecha; por lo que el material usado para esta investigación no fue idóneo, como lo confirman Hartman y Kester, Kadman y Ben – Ya´acov, citados por Castellanos (1999), que a mayor edad, menor capacidad de enraizamiento, debido a que existen en menor cantidad el etileno y otras auxinas naturales que promueven el enraizamiento, y están presentes en mayor cantidad en la fase juvenil. Las heridas realizadas en el tallo del Ereguayquín, tenían el propósito de estimular el etileno y otros compuestos vegetales y la absorción del AIB, por lo que es probable que los injertos del Ereguayquín en su fase comercial adulta-comercial no contara con esta condición para interactuar con el AIB; Kadman, citado por Castellanos (1999), encontró que el porcentaje de enraizamiento de plántulas de un material mexicano, decrece cuando avanza la edad de la planta de las que se toman las estacas; obteniéndose, un 100% de enraizamiento cuando las plantas tenían seis meses de edad, y 30% de enraizamiento en estacas tomadas de plántulas de un año de edad. Condición que podrían cambiar los resultados obtenidos y potencializar la combinación de las dosis de AIB más la etiolación.

Aunque la respuesta de la variedad Ereguayquín, perteneciente a la raza guatemalteca, obtuvo un 2% de enraizamiento incipiente. Probablemente producto de los fenómenos climáticos que se dieron en mayo (Agatha 274 mm de lluvia en 8 días), junio (Alex 180 mm en 5 días) y septiembre (Matthew 325 mm en 8 días) de 2010 (Anexos 4, 6, 9-12), que pudieron haber influenciado, sobre las reservas nutritivas que posee el suelo para las plantas, que por efecto de las lluvias pudieron haber ocasionado la pérdida de ellas, en las bolsas de polietileno que se encontraban las plantas de Ereguayquín, hecho que confirma Álvarez Argudín (1998), refiriéndose a que la buena nutrición de la planta madre favorece el enraizado. Y las horas luz en los meses de junio a septiembre, con promedio de  $5.2 \text{ Kw.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ ; también pudo afectar, siendo la exigencia de la raza guatemalteca de ocho horas luz;

por lo que Álvarez Argudín (1998) menciona que cambios en la intensidad de la luz, afectan, el proceso normal de la fotosíntesis de las plantas (Figura 1, Anexo 4 y 10). Otro factor a tomar en cuenta relacionada a las condiciones climáticas, es la época del año en la que se establecen los acodos aéreos, como lo reporta Castellanos (1999), quien encontró diferencias significativas en la fecha del establecimiento de los acodos, obteniendo mayor longitud de raíces en el mes de octubre en relación a aquellas tratadas en noviembre y diciembre; Kadman y Gustafson, citados por Castellanos (1999), dicen que la época del año influye en la cantidad de promotores o inhibidores del enraizamiento. Por lo que sería conveniente la evaluación de diferentes periodos de tiempo en nuestras condiciones tropicales y con nuestras variedades, a fin de descartar o aprovechar esta relación.

Además de los factores genéticos y fisiológicos en la planta, y factores climáticos externos que influyen en el enraizamiento, se deben tomar en cuenta los relacionados a la técnica del acodo aéreo: el sustrato y su microclima, autores como Santelices (2005), Hartman y Kester (2001) y Pérez Guerra (1981), destacan la importancia de la buena humedad, aireación, temperatura moderada y el sustrato empleado. En la investigación se utilizó aserrín esterilizado que proporcione una buena aireación y retención de humedad, sin embargo esta práctica de acodo empleada, utilizando papel aluminio para envolver el sustrato, presentó la dificultad de desintegrarse, con el tiempo, al estar expuesto a la radiación solar (Figura 3h), y para garantizar la buena retención de humedad se tuvo que cambiar al menos tres veces en ocho meses, implicando más trabajo y gasto en papel aluminio; al contener poco sustrato en cada acodo y el ambiente externo (no controlado) probablemente incrementó la temperatura en esta área, dificultando el enraizamiento. Sin embargo, es importante tener en cuenta que existen otros factores que inciden en la producción de raíces, además de la luz y la humedad en el sustrato, es la temperatura como lo afirma Pérez Guerra (1981), que a elevadas temperaturas en las capas superiores del sustrato, pueden reducir el contenido de humedad e inhibir la formación de raíces y también puede dañar el tallo acodado.

Es oportuno mencionar que durante los ocho meses que duró la investigación, tres plantas presentaron indicios de raíces, dos de ellas a los cuatro meses y la tercera a los seis meses, lo que formó un sistema radical insuficiente (2 raíces por planta), para ser considerada una planta independiente de la planta madre. Cuando se separaron de la planta madre, se ubicaron en macetas que contenían una mezcla de arena más cascajo, previamente esterilizado; cubriéndolas con plástico transparente simulando una cámara de crecimiento con un microclima controlado; con el objetivo de crear una alta humedad relativa, para que el

déficit de presión de vapor entre la hoja y su ambiente, fuera lo más mínimo posible y evitar la deshidratación. Así también, se le eliminó aproximadamente tres cuartas partes de la lamina foliar de cada una de las hojas, con la finalidad de crear un balance entre hoja-raíz y transpiración; ahí se mantuvieron por 30 días, muriendo el primer acodo y el segundo murió a los 45 días; probablemente, porque el sistema radicular era insuficiente para suministrar el agua y minerales; resultados similares obtuvo Salazar-García *et al.* (2004), en plantas con sistema radicular pobre, no asegurando un desarrollo exitoso de la nueva planta.

**Cuadro 5. Análisis de Varianza para la variable Longitud de Raíces, con datos transformados.**

F.de v.	GL	SC	CM	Fcal.	Prob.
<b>Bloque</b>	2	0.0015	0.0007	0.58	0.5705 ns
<b>Factor "E"(etiología)</b>	1	0.0021	0.0021	1.68	0.2165 ns
<b>Factor "A"(dosis AIB)</b>	3	0.0027	0.0010	0.71	0.5644 ns
<b>Factor "E". Factor "A"</b>	3	0.0027	0.0010	0.71	0.5644 ns
<b>Error experimental</b>	14	0.0177	0.0013		
<b>Total</b>	23	0.0267			

\* Significativo al igual o menor al 5%.

ns No significativo.

Según el análisis de varianza, estadísticamente los tratamientos en estudio presentaron igual efecto para la variable longitud de raíces, ver Cuadro 3 y 5, alcanzando entre 2 - 7 mm durante los ocho meses de la investigación; la longitud alcanzada fue insuficiente para ser capaz de cumplir sus funciones en una planta independiente. Muñoz Pérez y Castellanos (s.f.), trabajando en la propagación por acodo en trinchera de aguacate Hass y Colín V-33, obtuvieron un promedio de 21 raíces por acodo, con una longitud de 10.4 cm de longitud con 10,000 mg.L<sup>-1</sup> AIB, más 300 mg.L<sup>-1</sup> de ácido naftalenacético (ANA). En otra investigación Salazar García *et al.* (2004), mencionan, que en la investigación los acodos fueron desprendidos de la planta madre, cuando las raíces alcanzaron 10 cm o más de largo; además de un sistema radicular bien ramificado y abundante. Por lo que se debió esperar más tiempo hasta obtener suficientes raíces y con una longitud mayor a 8 cm.

#### 4.2. Número de plantas con callosidad

Según los resultados del análisis de varianza, únicamente el factor dosis de AIB, presento estadísticamente efectos diferentes sobre la variable número de plantas con callosidad, con un nivel de significancia del 5% (Cuadro 3 y 6); presentando los mejores efectos las dosis de 10,000 y 5,000 mg.L<sup>-1</sup> AIB (Cuadro 7). Es decir las dosis más altas de AIB utilizadas si afectaron la producción de callo; pero este proceso fue lento comparado con lo expuesto por

Young, citado por Castellanos (1999) y Bernales Abarca (1997), cuya respuesta de enraizamiento en brotes maduros de cinco variedades de aguacate con uso de anillado, AIA (2000 ppm) y AIB (1500 ppm); produjo callosidad en las plantas a partir de la tercera semana de establecida la investigación, observando raíces entre cinco y once meses después. El comportamiento del Ereguayquín, tardo 17 semanas más en presentar callosidad y más de cinco meses para observar los indicios radicales que no progresaron en los tres meses siguientes, estas condiciones de callosidad y producción de raíces, según menciona Sánchez Urdaneta *et al.* (2009), son independientes; pero condicionadas por los mismos factores ambientales que los rodean, pudiendo haber una relación entre el pobre desarrollo de callosidad en el tallo y la deficiente producción radicular. Resultado que se puede coincidir con los de Haas, citado por Castellanos (1999), quien utilizó ácido naftalenacético (ANA) y ácido indolacético (AIA), en estacas de aguacate cultivar Fuerte, reportando gran cantidad de callosidad, pero 0% de enraizamiento.

**Cuadro 6. Análisis de Varianza con datos transformados para Número de Plantas con formación de Callosidad, a los ocho meses de instalada la investigación.**

F.de v.	GL	SC	CM	Fcal.	Prob.
<b>Bloque</b>	2	0.0122	0.0061	6.38	0.0107 *
<b>Factor "E"(etiología)</b>	1	0.0001	0.0001	0.09	0.7706 ns
<b>Factor "A"(dosis AIB)</b>	3	0.0166	0.0055	5.81	0.0086 *
<b>Factor "E". Factor "A"</b>	3	0.0016	0.0005	0.55	0.6587 ns
<b>Error experimental</b>	14	0.0134	0.0010		
<b>Total</b>	23	0.0438			

\* Significativo: probabilidad  $\leq$  5%.

n.s. No significativo.

**Cuadro 7. Prueba de Duncan para Factor dosis de Ácido Indolbutírico de la variable Número de Plantas con Callosidad.**

Factor "A" (dosis AIB)	N	Medias	Calificación
4 (10,000 mg.L <sup>-1</sup> )	6	1.0702	A
3 (5,000 mg.L <sup>-1</sup> )	6	1.0397	AB
1 (0 mg.L <sup>-1</sup> )	6	1.0069	B
2 (2,000 mg.L <sup>-1</sup> )	6	1.0069	B

En algunas especies, la producción de callo y el desarrollo de raíces, son mucho mayores en los márgenes de las heridas; porque se estimulan los tejidos lesionados a entrar en división celular, y producir primordios radicales (Ramírez-Villalobos *et al.* (2004). Y en especies como el aguacate, de difícil enraizamiento, necesita de estímulos adicionales como las auxinas, anillado, etiología, etc. para garantizar el mejor porcentaje de éxito, sin embargo estas

condiciones no favorecieron a los injerto de la variedad Ereguayquín a fomentar el desarrollo de callos.

En el callo, se produce una acumulación natural de auxinas y carbohidratos en el área lesionada y un incremento en la tasa de respiración (Hartman y Kester 2001); además de efectuarse heridas en los tejidos, se estimulan para que produzcan etileno, el cual se sabe que promueve la formación de raíces adventicias (Hartman y Kester; Salis-bury y Ross; Wilson; Zacarías y Lafuente, Citados por Ramírez-Villalobos *et al.* 2004). Entonces realizar cuatro heridas al tallo incremento la presencia de etileno, que a su vez interactuó con las dosis más altas de auxinas 5 000 y 10 000 mg.L<sup>-1</sup> de AIB, traduciéndose en el abultamiento del tejido de aguacate.

De acuerdo con el análisis de varianza, estadísticamente el efecto de la etiolación en la callosidad no fue significativa al 5% de probabilidades, lo cual indica que al someter la planta a este proceso, no contribuyó en la modificación de las células, respecto a la formación de callo (Cuadro 3 y 6); siendo para la media con etiolación (Fe<sub>1</sub> c/e) igual a 0.75 y sin etiolación (Fe<sub>2</sub> s/e) igual a 0.83.

Aunque la mayoría de las plantas no emitió raíces, en la zona del anillado se formo un abultamiento promisorio, provocando el agrietamiento de la corteza, como si aparentemente fuese a producir el enraizamiento. Probablemente el abultamiento se debió a la acumulación de carbohidratos, productos de la fotosíntesis que no pudieron retranslocarse, puesto que el anillado obstruyó los vasos del floema. La callosidad como acumulación de carbohidratos, auxinas y otros compuestos, producto de la fotosíntesis, que se depositan sobre el área anillada donde se produce la interrupción del floema, es la base de la clonación de la técnica del acodo; para el favorecimiento en la emisión de raíces, que sean capaces de sostener una nueva planta por si sola, separada de la planta madre.

#### **4.3. Número de plantas con estrangulamiento**

Según el análisis de varianza el factor etiolación ("E"), el factor dosis de AIB ("A"), e interacción, presentaron iguales efectos sobre la variable estrangulamiento, con un nivel de significancia del 5%; es decir que ninguno de los factores ("E" y "A"), contribuyó al incremento de masa vegetal (crecimiento secundario o hacia los lados) del tallo de las plantas de aguacate, para que se produjera estrangulamiento en el tallo (Cuadro 3 y 8); este resultado es atribuible a factores fisiológicos que afectan el crecimiento de las mismas, Wilson y Loomis (1968) al referirse al desarrollo del tallo, afirman que además de la

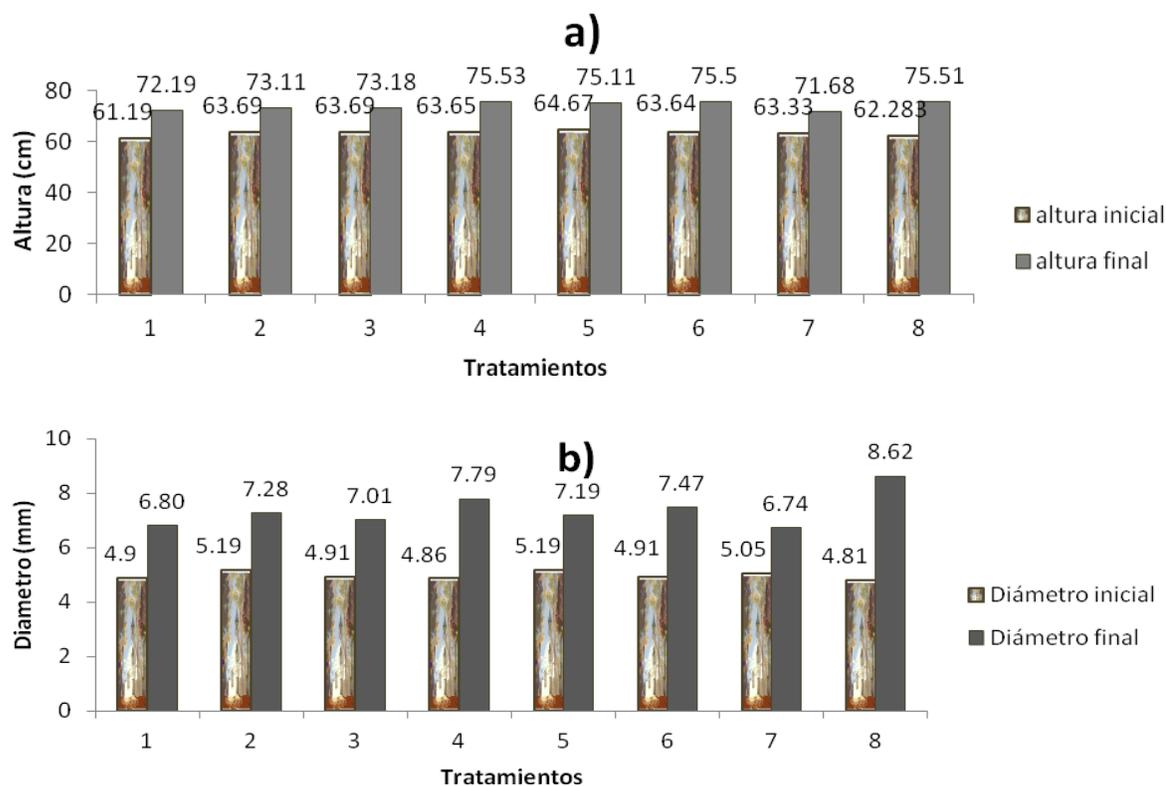
competencia entre plantas, en el crecimiento influyen factores ambientales como la luz, temperatura, lluvia y humedad del suelo. Es importante mencionar que en ocho meses, desde que se estableció la investigación hasta la toma de datos finales, las plantas de aguacate crecieron entre 8.35-13.23 cm en altura, y 1.69-3.81 mm en diámetro; este último de interés para que un tallo anillado se estrangule lo suficiente, ver Figura 4 y 5. Esto puede deberse a los acontecimientos climáticos, expuestos en la variable número y longitud de raíces (4.1.), que como se explico, pudieron ser responsables de un estrés fisiológico, evidenciado en un crecimiento lento y el poco estrangulamiento del tallo (Figura 1, Anexos 4, 6, 9-12).

**Cuadro 8. Análisis de Varianza para Número de Plantas con Estrangulamiento en tallo, con datos transformados.**

F.de v.	GL	SC	CM	Fcal.	Prob.
<b>Bloque</b>	2	0.0052	0.0026	1.47	0.2630 ns
<b>Factor "E"(etiología)</b>	1	0.0006	0.0006	0.36	0.5587 ns
<b>Factor "A"(dosis AIB)</b>	3	0.0113	0.0038	2.15	0.1401 ns
<b>Factor "E". Factor "A"</b>	3	0.0014	0.0005	0.27	0.8458 ns
<b>Error experimental</b>	14	0.0246	0.0018		
<b>Total</b>	23	0.0432			

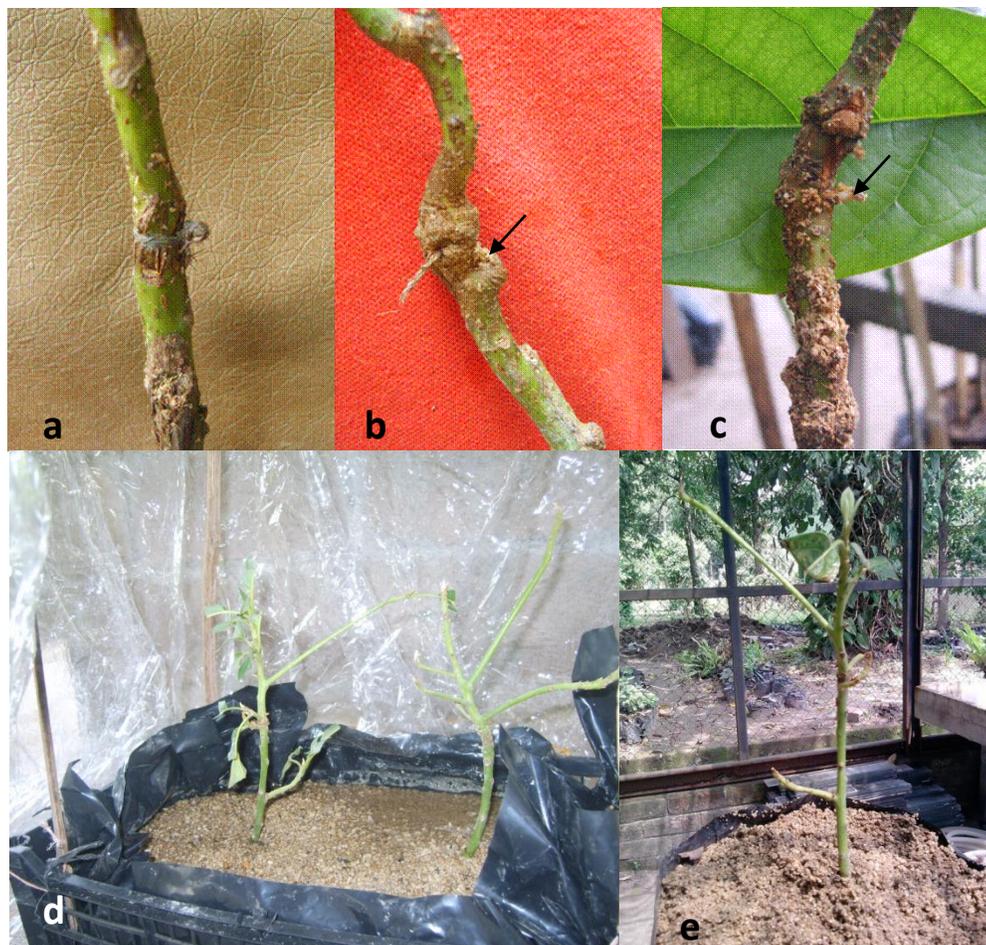
\* Significativo: probabilidad  $\leq$  5%.  
n.s. No significativo.

Al no producirse incremento en diámetro del tallo, tampoco se logro autoestrangulado por la constricción realizada con alambre de cobre que lo rodeaba, después de ocho meses; fueron pocas las plantas que se observaron estranguladas por esta condición (Cuadro 3). Si se hubiera producido un buen estrangulamiento del tallo, probablemente se hubiera obtenido resultados similares a Trochoulías, Griffith y Smith, citados por Bernales Abarca (1997), quienes estudiando la respuesta al enraizamiento en estacas de aguacate en el cultivar Duke 7; encontraron que formaba un excelente sistema de raíces cuando los brotes eran etiolados y estrangulados con alambre (anillado), a diferencia de ambos tratamientos aplicados separadamente, donde no hubo formación de raíces; esto confirma que existe bastante evidencia de la obtención de mejores resultados en el enraizamiento, al combinar el anillado, con otros tratamientos estimuladores de la rizogénesis como: la etiología, juvenilidad y uso de auxinas; ya que el mayor componente que hace aumentar en los tejidos sobre el anillo, son los carbohidratos y es que con esto se interrumpe el floema, y se detiene el desplazamiento de las hormonas y carbohidratos; de modo que se acumulan por encima del anillado estimulando el enraizamiento.



**Figura 4. Comparación de medias de alturas (a) y de diámetro del tallo (b) en el crecimiento de plantas de aguacate en el periodo de ocho meses.**

La formación de raíces, es estimulada por varios tratamientos del tallo, causando una interrupción del traslado hacia las raíces de materiales orgánicos (carbohidratos, auxinas y otros factores de crecimiento); procedentes de las hojas y de las ramas en desarrollo. Estos materiales se acumulan cerca del punto de tratamiento, y el enraizado ocurre cerca de esa área, en general cuando el tallo esta unido a la planta progenitora (Pérez Guerra 1981).

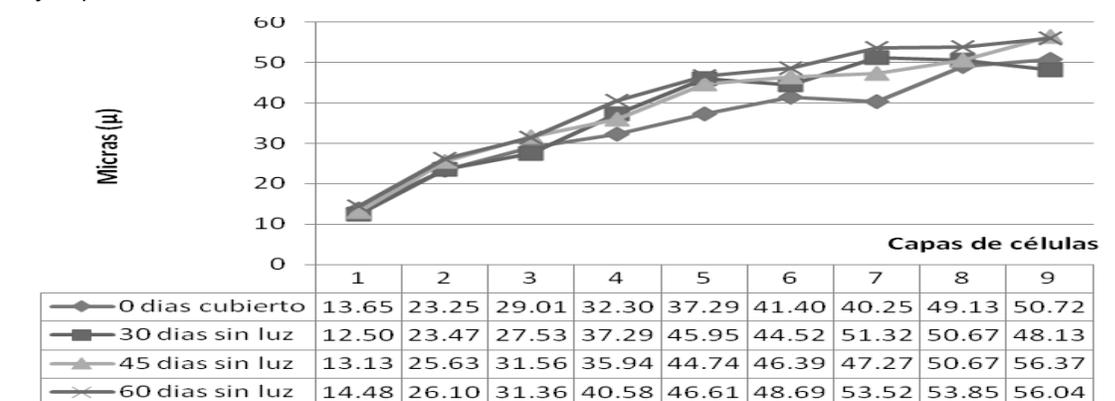


**Figura 5. Resultados de la investigación: a) Tallo sin estrangulamiento, b) Tallo estrangulado y con callo, c) Tallo con raíces, d) Estacas con una y dos raíces preparadas para medir sobrevivencia e) Estaca con retoños a los 34 días del trasplante.**

#### **4.4. Anatomía de las células epidérmicas etioladas**

Al medir, la longitud de las células del tejido de aguacate (corte longitudinal o radial); se observó una tendencia creciente respecto al tamaño en longitud, desde las células epidérmicas, hacia las células internas de una misma planta. Comparando las células del tejido las plantas con cero, 30, 45 y 60 días privadas de luz, presentaron diferencias mínimas de alargamiento celular; Howard citado por Alvarez Argudín (1996), menciona que, de acuerdo con estudios realizados por la East Malling, con una oscuridad parcial se podría lograr una efectiva etiolación, sin embargo al referirse a experimentos con brotes de manzano M 9 cubiertos con polietileno oscuro durante un mes, incremento el enraizamiento de estacas de verano de un 14% a 84%. Las células de aguacate se cubrieron por más de 30 días; pero la diferencia es que no fueron brotes, sino tallos desarrollados. Harrison y Murray citados también por Alvarez Argudín (1996), trabajaron con estacas de arbustos de

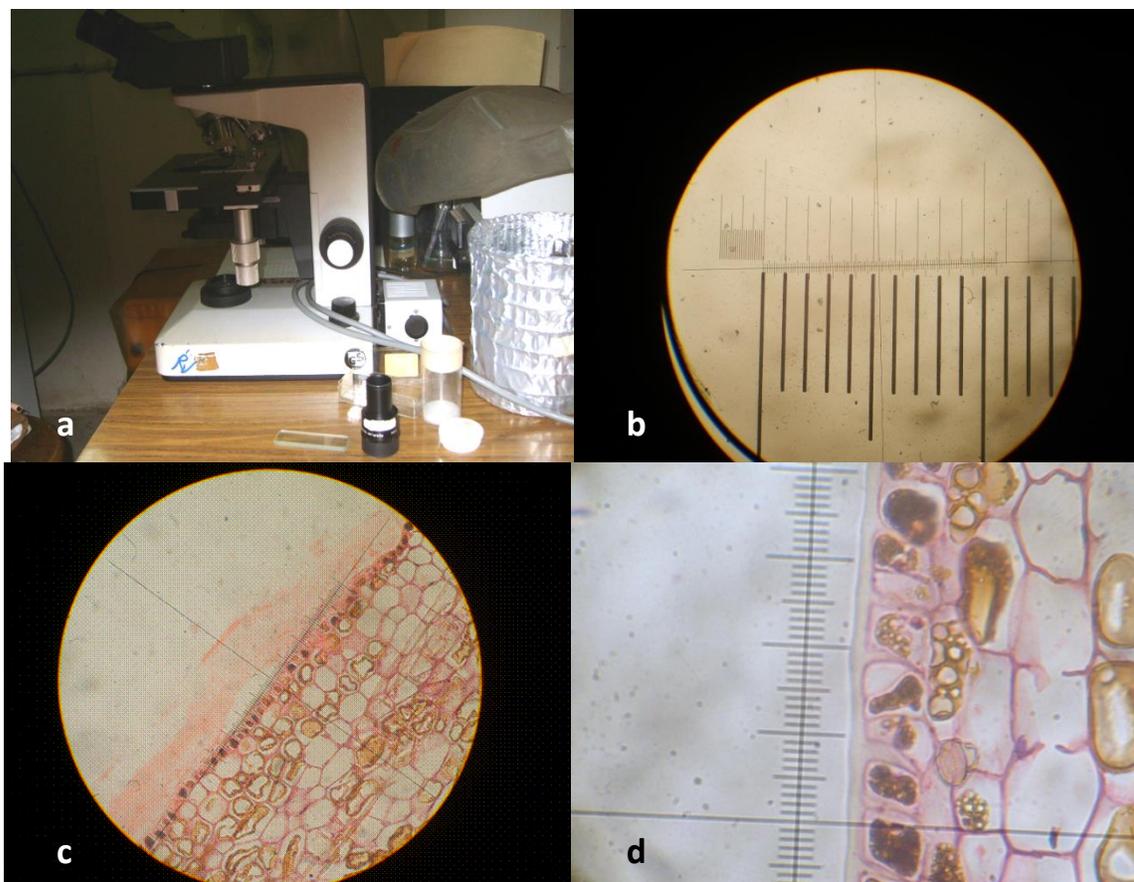
M9, privándolos de luz por cuatro semanas; y luego durante cuatro años, los cubrieron con cinta adhesiva negra, modificando la habilidad de enraizamiento de 0% - 19%, en los no etiolados, más AIB al 75% - 95% en los etiolados más AIB, por ello en el caso particular del aguacate deben tomarse en cuenta otros factores adicionales al tiempo de privación de luz en tejido a tratar, ocurriendo que la auxina por si sola no logra producir iniciación radical, necesitando de cofactores que son abundantes en tejidos juveniles (Gil Salaya 1999), fase en la que pueden ser inducidos a etiolarse. Las células con 60 días sin sol presentan un alargamiento mayor que 45, 30 y cero días, pero la diferencia es mínima, lo que implica que para lograr una etiolación necesaria, en el tejido vegetal requiere de más de 60 días (Figuras 5 y 6).



**Figura 6. Efecto de la oscuridad, en el incremento del tamaño promedio de células en tejido epidérmico, y parte de la corteza en tallo de aguacate (*Persea americana Mill*).**

Las principales causas, por las que no enraizaron los acodo aéreos, se pueden atribuir a:

- La poca acumulación de carbohidratos y otros productos de la fotosíntesis, para la formación de raíces en la zona tratada, fue causada por el estrés fisiológico reflejado en el amarillamiento y posterior caída de hojas; evidenciado en el poco crecimiento en altura y diámetro de las plantas, lo que no favoreció un buen estrangulamiento del tallo tratado (Figura 4 y 5a ), causado por la reducción de Luz solar e incremento de las precipitaciones, en los meses de junio a septiembre de 2010 (Figura 1, Anexo 4).
- No hubo una buena asimilación de la auxina (AIB), por la presencia de sustancias inhibitoras, sumado a las células maduras especializadas.
- Probablemente no se produjo la emisión de raíces, porque 60 días de etiolación de las células, no fue el tiempo suficiente para que éstas (las células) pudieran alargarse y facultarse para la acción de la auxina (Figura 6 y 7).



**Figura 7. a) Microscopio, micrómetro ocular y micrómetro de platina a un costado; b) Ajuste del objetivo 40X, con los micrómetros ocular (líneas grandes) y de platina (líneas pequeñas); c) Tejido vegetal observado con objetivo 10X; y d) Células observadas al microscopio, con objetivo 40X y micrómetro ocular.**

#### 4.5. Análisis económico de los tratamientos

Uno de los elementos más importantes para que el propagador (viverista), retome una nueva tecnología, dependerá de la relación beneficio costo de las nuevas alternativas; cuando se contrastan con el tratamiento testigo, por lo que a continuación se presentan costos y beneficios de los tratamientos evaluados en la investigación (Cuadro 9).

Como se observa en el Cuadro 9, de presupuesto parcial, específicamente en los aspectos de Rendimiento, Beneficio Bruto, Costo Variable y Cambio en el Ingreso Neto, los tratamientos que proporcionan mayor ingreso son  $T_8$  y  $T_7$ , sin etiolación, con 10,000 y 5,000  $\text{mg.L}^{-1}$  de AIB respectivamente; produciendo los siguientes beneficios netos: el primero USD 8.42 y el segundo USD 4.13, siendo el primero superior, es decir que si se vende una planta

acodada a USD 5.00, se obtendría un beneficio de USD 3.42 en el T<sub>8</sub>, para el primer caso. Cabe mencionar que ambos tratamientos, produjeron raíces incipientes e insuficientes, para considerarse plantas independientes de la planta madre; situación que sería superada, si se mejora la tecnología, como el uso de cámara especializada de etiolación, aumentando la frecuencia de aplicación de AIB, o utilizando material juvenil, a fin de obtener un mayor sistema radicular; lo que en términos económicos hubiese manifestado una mejor rentabilidad, ya que plantas con desarrollo radicular bien desarrollado, son mejor pagadas, al garantizar la adaptabilidad de la planta; uniformidad en la plantación y resistencia específicas de suelo, como salinidad o *Phitophthora*; lo que a la larga de la vida productiva de la plantación, se traduciría a mayores producciones, a causa de la disminución significativa de mortalidad de plantas productoras, reduciéndose la inversión en tiempo y labores culturales. Vidales y Alcantar citados por Castellanos (1999), reportaron en México los daños severos en más de 100,000 árboles de aguacate, por *P. cinnamomi*, que se tradujo en pérdidas económicas para los productores. Muñoz Pérez y Castellanos (s.f.), señalan que la finalidad de la propagación a través de portainjertos, es cultivar árboles bajo condiciones adversas. Salazar-García *et al.* (2004), exponen que en el proceso del acodo aéreo, la etiolación parece ser un tratamiento indispensable en la rizogénesis, en algunos genotipos de aguacate, pero requiere de una cámara de etiolación y el proceso es riesgoso y costoso.

Comentario de los investigadores: si se cambia la técnica de acodo aéreo, por la de montículo o trinchera, para una segunda producción de portainjertos clonales; en un caso exitoso, en cada planta producida incrementaría el beneficio; además se ahorraría el gasto de las plantas injertadas, y se duplicaría el número de portainjertos obtenidos (Anexo 5). Tomando en cuenta, que el número de brotes para realizar los acodos, es diferente según la variedad, edad y cuidados (Álvarez Argudín 1996).

Alvarez Argudin (1996), dice que el acodo aéreo es un método mal adaptado a la masificación. Sin embargo, utilizando los métodos de acodo en cepa o acodo en trinchera, resultan mejores para la obtención de múltiples acodos por planta y en ese caso se ahorraría el costo de la compra de nuevas plantas a partir de la segunda propagación.

Para masificar la producción de portainjertos clonales, de manera eficiente, es importante la combinación de las técnicas de acodo:

1. El acodo aéreo, para obtener las primeras plantas con las características de interés.

2. Los acodos aéreos, se establecen en montículo para realizar como acodo de cepa en el cual por cada acodo debidamente establecido, se producen al menos cuatro plantas; por lo tanto la eficiencia de este, estará en función de la cantidad de planta madre que se establezca.

**Cuadro 9. Presupuesto parcial para la producción de plantas acodadas establecidas durante ocho meses a nivel de vivero.**

Concepto	Unidad	Tratamientos								
		dosis de AIB (mgL <sup>-1</sup> )	Con etiolación			Sin etiolación				
			T <sub>2</sub> 2,000	T <sub>3</sub> 5,000	T <sub>4</sub> 10,000	T <sub>1</sub> 0	T <sub>6</sub> 2,000	T <sub>7</sub> 5,000	T <sub>8</sub> 10,000	T <sub>5</sub> 0
Rendimiento Promedio	Acodo	0	0	0	0	0	1	2	0	
Rendimiento Ajustado	Acodo	0	0	0	0	0	0.9	1.8	0	
Beneficios Brutos	USD/Trat <sup>a</sup>	0	0	0	0	0	4.5	9	0	
<b>Costos Variables</b>										
Costo de Injerto	USD	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	45.00	
Papel Aluminio	USD	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	4.38	
Cinta de Plástico Negro	USD	0.28	0.28	0.28	0.28	0	0	0	0	
Alambre de Cobre	USD	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	1.88	
Aserrín	USD	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	
AIB	USD	0.08	0.2	0.41	0	0.08	0.2	0.41	0	
KOH	USD	0.17	0.17	0.17	0	0.17	0.17	0.17	0	
Hipoclorito De Sodio	USD	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	
Fertilizante Foliar	USD	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	1.08	
Fungicida	USD	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	
Urea	USD	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	0.44	
Formula Triple 15	USD	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	0.85	
<b>Total Costos variables</b>	USD	<b>54.555</b>	<b>54.675</b>	<b>54.885</b>	<b>54.305</b>	<b>54.275</b>	<b>54.395</b>	<b>54.605</b>	<b>54.025</b>	
<b>Ingreso adicional:</b>										
Ingresos adicionales	USD	0	0	0	0	0	4.5	9	0	
Disminución de costos	USD	54.305	54.305	54.305	54.305	54.025	54.025	54.025	54.025	
<b>(A) Total ingreso adicional</b>	USD	<b>54.305</b>	<b>54.305</b>	<b>54.305</b>	<b>54.305</b>	<b>54.025</b>	<b>58.525</b>	<b>63.025</b>	<b>54.025</b>	
<b>Ganancia adicionales:</b>										
Costos adicional	USD	54.555	54.675	54.885	54.305	54.275	54.395	54.605	54.025	
Disminución de ingresos	USD	0	0	0	0	0	0	0	0	
<b>(B) Total costo adicional</b>	USD	<b>54.555</b>	<b>54.675</b>	<b>54.885</b>	<b>54.305</b>	<b>54.275</b>	<b>54.395</b>	<b>54.605</b>	<b>54.025</b>	
<b>Cambio en el Ingreso Neto (A-B)</b>	USD	<b>-0.25</b>	<b>-0.37</b>	<b>-0.58</b>	<b>0.0</b>	<b>-0.25</b>	<b>4.13</b>	<b>8.42</b>	<b>0.0</b>	

<sup>a</sup> valor estimado por planta propagada por acodo USD 5.00, con base a los precios del FHIA (USD 5.02) y Jardín Botánico La Laguna (USD 3.05-USD 5.05).

## 5. CONCLUSIONES

- Estadísticamente, la técnica sin etiolación y las dosis de 5,000 (T<sub>7</sub>) y 10,000 (T<sub>8</sub>) mg.L<sup>-1</sup> AIB, produjeron indicios de rizogénesis; pero en forma independiente, no combinada; mientras que el diámetro de la rama acodada, no influyó sobre la respuesta al enraizamiento.
- Para el caso de la variable sobrevivencia al trasplante, solamente se obtuvieron dos plantas, por lo que no se puede concluir nada desde el punto estadístico.
- Económicamente los tratamientos que mejor relación beneficio-costó presentaron, fueron T<sub>7</sub> y T<sub>8</sub> con beneficio neto de USD 8.42 y USD 4.13 respectivamente.
- Los tratamientos que se etilaron durante 60 días, no tuvieron el tiempo suficiente para que las células pudieran alargarse, predominando el balance hormonal de la fase adulta; no presentando receptividad a la acción de las auxinas y provocar la emisión de raíces.
- El efecto de la oscuridad en el alargamiento de las células, se produce en aquellas plantas que han tenido una privación de luz de más de 60 días.
- Según lo observado, las condiciones climáticas como la luz y temperatura, son determinantes en la propagación de acodos a cielo abierto.
- El callo producido por el estrangulamiento, es un proceso fisiológico independiente hacia la emisión de raíces.

## 6. RECOMENDACIONES

- Evaluar nuevamente la variedad Ereguayquín, tomando en cuenta la época lluviosa o seca del año; la fase juvenil y adulta del material y el intervalo de aplicaciones de AIB.
- Los acodos con sistema radicular poco desarrollado, deben mantenerse en propagador, el tiempo necesario; hasta obtener plantas trasplantadas con buen sistema radical.
- Considerar los ensayos en ambiente controlado, de los factores ambientales como: humedad relativa, luz y temperatura, para obtener el mejor efecto del acodo y sus tratamientos en las plantas.
- Para masificar la producción de portainjertos clonales de manera eficiente, conviene combinar el acodo aéreo y el acodo en trinchera.
- En una futura investigación, evaluar plantas de pie franco y acodar para producir una planta madre, de la cual generar portainjertos clonales.
- Se deben considerar las implicaciones económicas de la propagación por acodo de aguacate, para sentar bases diferenciales entre técnicas utilizadas, en las diferentes variedades.
- Evaluar el uso de otro material, para envolver el sustrato del acodo aéreo, ya que el papel aluminio tiende a degradarse muy rápidamente; debido al tiempo que se requiere para producir raíces de esta especie.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- Alix, C. 1999. Propagación de especies frutales tropicales, UNAH/CURLA (Centro Universitario Regional del Litoral Atlántico de la Universidad Nacional Autónoma de Honduras) La Ceiba, 131 p.
- Alvarez Argudín, J. 1996 Propagación vegetativa de los árboles frutales. Montevideo, UY. Agropecuaria Hemisferio Sur. p. 37, 38.
- Alves-de Oliveira, A; Carlos-Koller, O y Villegas-Monter, A. 1999. Propagación vegetativa de aguacate selección 153 (*Persea sp.*) por acodo en contenedor (en línea). Revista Chapingo serie horticultura. 5: 221-225. Consultado 7 oct. 2012. Disponible en: [http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4\\_p221.htm](http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4_p221.htm)
- Arce Portugués, JA. 1984. Caracterización de 81 plantas de Achiote (*Bixa orellana*) de la colección CATIE procedente de Honduras y Guatemala y propagada vegetativamente por estacas. Tesis Mag. sc. Turrialba, CR. Universidad de Costa Rica. p. 87-119.
- Bernales Abarca, CA. 1997. IMPLEMENTACIÓN DE LA TÉCNICA DE ETIOLACIÓN Y ACODO EN LA PROPAGACIÓN CLONAL DE PALTOS (*Persea americana* Mill.) UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALPARAÍSO FACULTAD DE AGRONOMÍA Quillota CL. 87p.
- Calderón Alcaraz, E. 1998. Fruticultura General: El Esfuerzo del Hombre. 3ed. MX, D.F. LIMUSA p. 39, 40-42.
- Castellanos, RI. 1999. Propagación de aguacatero (*Persea americana* Mill.) por acodo utilizando etiolación, ácido indolbutírico y obstrucción de savia, en vivero. Tesis Ing. Agr. Chapingo, MX. Universidad Autónoma de Chapingo. 38 p.
- Castillo, M; De Fréitez, YH; Hernández de Bernal, N. 2005. Efecto de la auxina AIB en la propagación de azahar de la India (*Murraya paniculata* (L. Jack)) por acodo aéreo (en línea). *Bioagro*, 17(2): 123-126. Consultado 15 jul. 2012. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=85717209#>
- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal, SV). s.f. Componente de Mercadeo y Comercialización: Análisis de las Agroimportaciones Frutícolas de El Salvador (en línea). SV. 2 p. (Boletín N° 2). Consultado 10 de oct. 2009. Disponible en: <http://www.frutal-es.com/uploads/BoletinAguacate.pdf>
- CENTRO INTERNACIONAL PARA EL MEJORAMIENTO DE MAÍZ Y TRIGO (CIMMYT). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de los datos agronómicos: Un manual metodológico de evaluación económica. ed. rev. México DF. 79 p.

ECONOSUL (Consultores Internacionales SV.) s.f. EL SALVADOR Import AGUACATE (en línea). Consultado 10 de oct. 2009. Disponible en: <http://www.econosul.com/PDF/7%20Productos/Prod.%20Agr%EDcolas/9%20Aguacate%20y%20Pi%F1a/EL%20SALVADOR%20Import%20AGUACATE.pdf>

Gallo Llobet, L.; Rodríguez Pérez, A.; Siverio de la Rosa, F.; Díaz Hernández, S. y Domínguez Correa, P. 2003. USO POTENCIAL DE LA RAZA ANTILLANA COMO FUENTE DE RESISTENCIA A LA PODREDUMBRE RADICULAR DEL AGUACATE. Actas V Congreso Mundial del Aguacate. pp. 61- 67.

Gil Salaya, GF. 1999. FRUTICULTURA: EL POTENCIAL PRODUCTIVO, crecimiento vegetativo y diseño de huertos y viñedos. 2ed. México D.F. p. 193-204.

Godínez, M; Martínez, M; Melgar, N; Méndez, W. 2000. EL CULTIVO DEL AGUACATE EN GUATEMALA. PROFRUTA (Proyecto de Desarrollo de la Fruticultura y Agroindustria) - MAGA (Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación), (Guía técnica PROFRUTA) GT. p. 6, 7,12.

Hartman TH; Kester, DE. 2001. Propagación de plantas: principios y prácticas. Trad. AM Ambrosio. CECSA. 2 ed. México D.F. p 368, 495-497.

Holdridge, LR. 1982. Ecología Basada en zonas de Vida. San José, Costa Rica: IICA.

Ibar L. 1979. Cultivo del aguacate, chirimoyo, mango y papaya. ES. p. 40.

Larqué Saavedra, A. 1993. Fisiología vegetal experimental: aislamiento y cuantificación de los reguladores del crecimiento vegetal. Trillas, MX. p. 13, 53.

Lener, BR. y Dana, MN. s.f. New Plants From Layering, General Horticulture HO-1-w (en línea). Purdue University Cooperative Extension Service, West Lafayette, IN, disponible en: <http://www.hort.purdue.edu/ext/ho-1.pdf>

MAG-DGEA (Ministerio de Agricultura y Ganadería- Dirección General de Economía Agropecuaria, SV). s.f. Anuario de estadísticas agropecuarias 2010-2011. p. 57.

\_\_\_\_\_. 2007. Anuario de estadísticas agropecuarias 2006-2007 (en línea). Consultado 10 de oct. 2009. Disponible en <http://www.mag.gob.sv/publicaciones/05/ANUARIO2007.swf>

\_\_\_\_\_. 2009. Anuario de estadísticas agropecuarias 2009-2010: División de Estadísticas de Producción y Precios Dirección General de Economía Agropecuaria Octubre 2009. SV. p. 55.

MAG. 2003. Anuario de estadísticas agropecuarias 2002-2003 (en línea). Consultado 10 de oct. 2009. Disponible en [http://www.camagro.com/mag/Anuario\\_Estadisticas/2002-2003/Estadisticas\\_Agropecuarias/Comercio\\_Exterior/Cuadro68.asp](http://www.camagro.com/mag/Anuario_Estadisticas/2002-2003/Estadisticas_Agropecuarias/Comercio_Exterior/Cuadro68.asp)

- \_\_\_\_\_. 2004. Anuario de estadísticas agropecuarias 2003-2004 (en línea). Consultado 10 de oct. 2009. Disponible en [http://www.camagro.com/mag/Anuario\\_Estadisticas/2003-2004/Estadisticas\\_Agropecuarias/Cuadro72.asp](http://www.camagro.com/mag/Anuario_Estadisticas/2003-2004/Estadisticas_Agropecuarias/Cuadro72.asp)
- \_\_\_\_\_. 2009. Ministro de Agricultura, inaugura planta seleccionadora, etiquetadora y empacadora del fruto fresco de aguacate (en línea) SV. Consultado 9 oct. 2009. Disponible en: [http://www.mag.gob.sv/main/index\\_bck.php?id=1245&mostrar=full&secc=98&nivel=&tabs=4&pivote=1&ids=97](http://www.mag.gob.sv/main/index_bck.php?id=1245&mostrar=full&secc=98&nivel=&tabs=4&pivote=1&ids=97)
- Muñoz Pérez, RB; Castellanos, IR. s.f. ENSAYOS SOBRE PROPAGACION CLONAL DE PORTAINJERTOS DE AGUACATE. Fundación Salvador Sánchez Colín, CICTAMEX, S.C. Coatepec Harinas, MX. p. 107-112.
- Parada Berríos, FA.; Quintanilla Quintanilla, J.R. y Morales Chicas, C,A. s.f. Producción de portainjertos clonales de marañón, mediante el enraizamiento de estacas, acodos aéreos y acodos de cepa, *in* Desarrollo de tecnologías en la cadena agroproductiva del cultivo de marañón orgánico en la cooperativa ACOPASMA de R.L. cantón Tierra Blanca, Chirilagua, San Miguel. 2008. Universidad de El Salvador. SV. pp. 48- 49.
- Pérez Guerra, A. 1981. Propagación de plantas. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Escuela Nacional de Agricultura, SV, p.40, 41.
- Pérez Rivera, RA. 1986. Evaluación de veinte cultivares criollos de aguacate. CENTA (Centro de Tecnología Agrícola) Boletín Técnico n°17. San Andrés, La Libertad SV. p. 7, 13, 16-18, 21, 23, 25, 26, 28, 46-48.
- Ramírez-Villalobos, M; Urdaneta-Fernández, A y Vargas-Simón, G. 2004. Tratamientos con Acido Indolbutírico y lesionado sobre el enraizamiento de estacas de Icacó (*Chrysobalanus icaco* L.). *Agronomía tropical* 54(2):203-218.
- Rodríguez Navas, AC. 2003. Implementación de las técnicas de etiolación y acodo y microclonación en palto (*Persea americana* Mill) Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Quillota, CH. 66 p.
- Rojas Gonzáles, S; García Lozano, J. y Alarcón Rojas M. 2004. Propagación asexual de plantas: conceptos básicos y experiencia con especies Amazónicas. Bogotá CO. CORPOICA-MADR-PRONATTA. p. 7, 8, 9, 26, 27.
- Romero, L; Díaz de Lozada. s.f. Reproducción vegetativa o asexual del aguacate. California Avocado Society 1973-74 Yearbook 57:171-174.
- Ruiz-Solsol, H. y Mesen, F. 2010. Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estaquilla en el enraizamiento de Sacha Inchi (*Plukenetia volubilis* L.). *Agron. Costarricense* (en línea). Revista Scielo (34) 2:269-285. consultado 20 jun. 2012. Disponible en:

[http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0377-94242010000200011&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242010000200011&lng=es&nrm=iso) . ISSN 0377-9424.

- Salazar-García, S; Velasco-Cárdenas, J; Medina-Torres, R; Gómez-Aguilar, JR. 2004. Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. II. respuesta al enraizamiento mediante acodos (en línea). Revista Fitotecnia Mexicana. 27(2):183-190. Consultado 22 sep. 2009. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/610/61027209.pdf>
- Salinas Barquero, RM. Guardado, MC. y Parada Berrios, FA. 2008. Producción de plantas de marañón clon ACOPASMA 001, injertado sobre portainjertos provenientes de diferentes fuentes semilleras; bajo un sistema de riego artesanal, *in* Desarrollo de tecnologías en la cadena agroproductiva del cultivo de marañón orgánico en la cooperativa ACOPASMA de R.L. cantón Tierra Blanca, Chirilagua, San Miguel. 2008. Universidad de El Salvador. SV. pp. 48- 49.
- Sánchez Urdaneta, AB; Suarez, E; Razzela González, M; Amaya Colmenares, Y; y Ortega J. 2009. Efecto del Acido Indolbutírico sobre el enraizamiento de acodos aéreos de guayabo (*Psidium guajava* L.) en el municipio Baralt, Venezuela. Revista UDO Agrícola 9(1): 113-120.
- Santelices, R. 2005. Efecto del árbol madre sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii*. Bosque, 26(3) 133-136. Disponible en: <http://redalyc.org/articulo.oa?id=173113285015>
- Wilson, C. y Loomis, W. 1968. Botanica, tra. IL de Coll. UTEHA, MX. p.160
- Zolla, G; Castillo, C y Calderón, A. s.f. Efecto de la calidad de luz y concentración del ácido naftalen acético en la rizogenesis in vitro de *Guzmama lingulata* (L) var. Lingulata. UNALM-Universidad Agraria La Molina. PE.

## 8. ANEXOS

**Anexo 1. Características diferenciales y clasificatorias de las variedades Ereaguayquín 1 y 3.**

Característica/Material	Ereaguayquín1	Ereaguayquín3 <sup>a</sup>
<b>Morfológicas</b>		
Tipo de crecimiento	Erecto	Erecto
Follaje	Denso	Denso
Resistencia de madera	Frágil	Resistente
Forma de hoja	Ovalada	Ovalada
Dimensiones de hoja (cm)	25 x13	19 x11
Pubescencia de hoja	Poca	Abundante
<b>Del fruto</b>		
Número promedio <sup>3</sup>	500	300
Forma	Pera	Calabaza
Tamaño sobresaliente (cm)	Grande 17 largo x 9 ancho	Grande 16.9 largo x 5.3 ancho
Peso en gramos	418	450
Color de cascara	Verde	Verde
Apariencia de cascara	Rugosa	Semi-rugosa
Color de pulpa	Amarillo pálido	Amarillo pálido
Contenido de fibra en pulpa	--	Bueno
Relación fruto/semilla	8:1 <sup>b</sup>	6:1
Consistencia de pulpa	Poco consistente	Poco consistente
Sabor	Bueno	Bueno
Época de cosecha <sup>c</sup>	Marzo - abril	Febrero – mayo
<b>Raciales</b>		
Color de brotes	Lig. violáceo	Lig. Violáceo
Forma de pedúnculo	Guatemalteco	Guatemalteco
Raza	Guatemalteca	Guatemalteca
<b>Flor</b>		
Tipo	A	A
Época de floración <sup>c</sup>	Octubre - noviembre	Octubre – diciembre
Altitud de siembra msnm	50 – 600	50 – 600

FUENTE: elaboración propia basado en los resultados de Pérez Rivera (1986).

<sup>a</sup> sobresaliente en el valor nutritivo del contenido de proteína, carbohidratos y grasa.

<sup>b</sup> sobresaliente.

<sup>c</sup> se consideraron las cosechas de 1976-1978.

**Anexo 2. Costo del establecimiento de 180 plantas acodadas en el período de nueve meses.**

DETALLE	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO <sup>a</sup>	TOTAL USD
<b>Equipo</b>			
Cinta métrica	1	1.00	1.00
Regadera	1	4.50	4.50
Pie de rey	1	5.50	5.50
Brocha 0.5 pulgadas	1	0.40	0.40
Hoja de afeitar "Lilet"	1	0.10	0.10
Bomba de mochila 4 GAL	1	61.00	61.00
Rotulación	22	1.00	22.00
Reglas de 4.2 m largo	6	3.75	22.50
Cuartones de 4.20 m largo	4	5.00	20.00
Clavos 1.5 pulgadas	0.20 lb	1.25	0.25
Malla sombra negra	40 m <sup>2</sup>	0.56	22.40
	<b>subtotal</b>		<b>159.65</b>
<b>Materiales e insumos</b>			
Plantas de aguacate	180 <sup>c</sup>	2.00	360.00
Tejido vegetal parafinado	4 láminas	3	12.00
Transporte de plantas	1	50.00	50.00
Papel aluminio	7 rollos	5.00	35.00
Plástico negro	14 m.	1.15	16.10
Bollo de pita	1 bollo de 1lb.	2.50	2.50
Estacas para tutor	180	0.10	18.00
Rollo alambre de cobre	13 m.	15.00	15.00
Aserrín	1 saco	1.00	1.00
pH de aserrín	1 análisis	2.00	2.00
Ácido Indolbutírico (AIB)	0.102 gramos	13.60	1.39
KOH al 1 normal	3 ml	1.00	1.00
Hipoclorito de sodio	1 populino	0.15	0.15
Fertilizante foliar (720 cc)	litro	8.70	8.70
Fungicida (1,040 cc)	¼ litro	8.00	2.00
Urea	10lb	0.35	3.50
Fertilizante 15-15-15	20 lb	0.34	6.80
	<b>subtotal</b>		<b>519.64</b>
<b>Mano de obra</b>			
Mantenimiento-labores culturales	9 meses	40.00 <sup>b</sup>	360.00
Carga y descarga plantas	1	10.00	10.00
	<b>subtotal</b>		<b>370.00</b>
	<b>Total</b>		<b>1049.29</b>

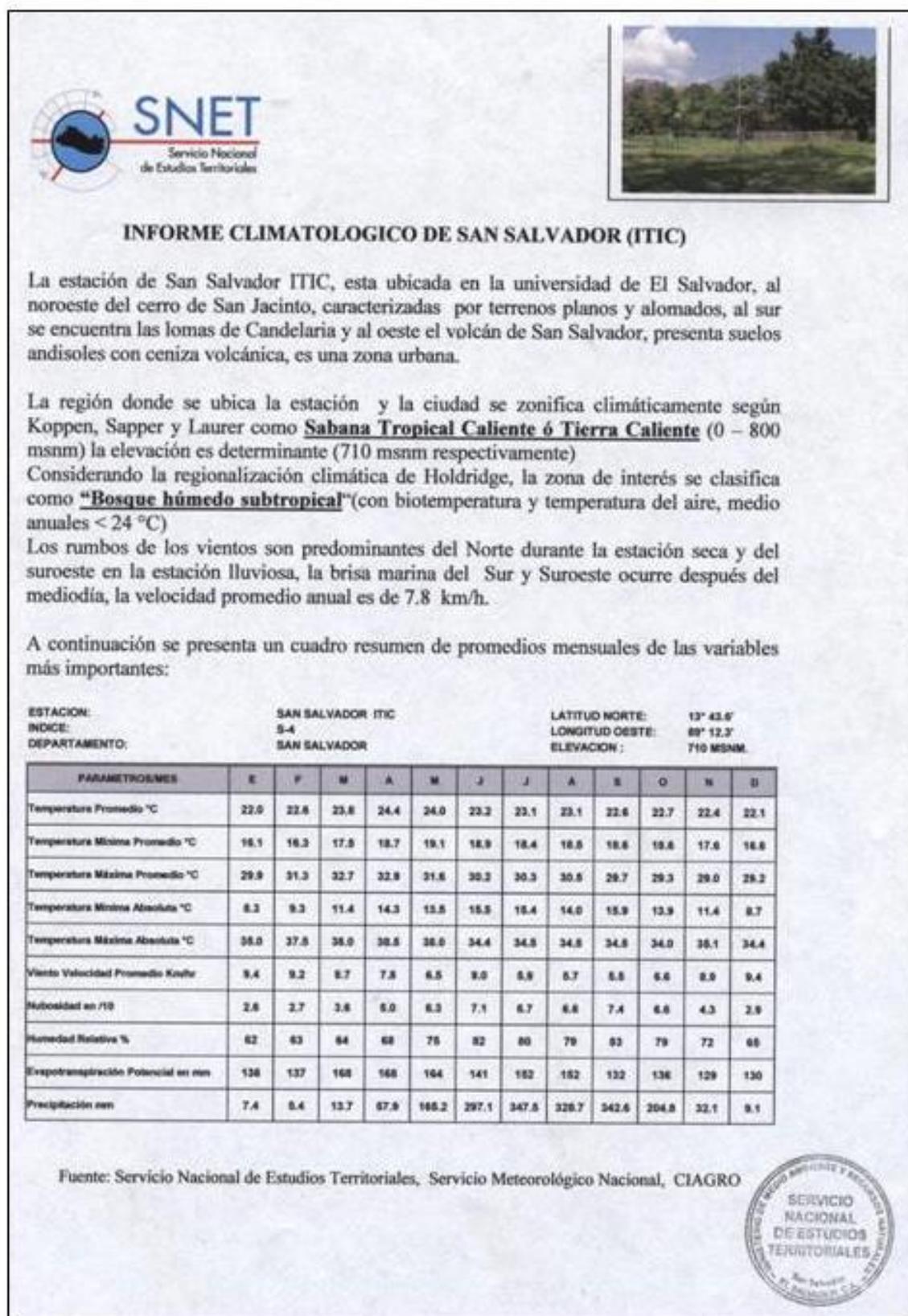
<sup>a</sup> Fuente ferretería El Campesino, agroservicio "El Sembrador", DPC en línea y vivero Zapotitán "Los Cerritos" propiedad del ing. Agr. Juan Carlos Sermeño Chicas, octubre de 2012.

<sup>b</sup> Se ha considerado a una persona trabajando dos horas diarias por 3 días a la semana pagado a 10.00 USD.

<sup>c</sup> 168 plantas para la investigación y 12 plantas para la observar el efecto de la privación de luz.

**Nota:** no se ha considerado el arrendamiento de tierra.

### Anexo 3. Datos climatológicos de la zona de San Salvador.



#### Anexo 4. Principales datos climatológicos de las estaciones: San Andrés, San Salvador e Ilopango

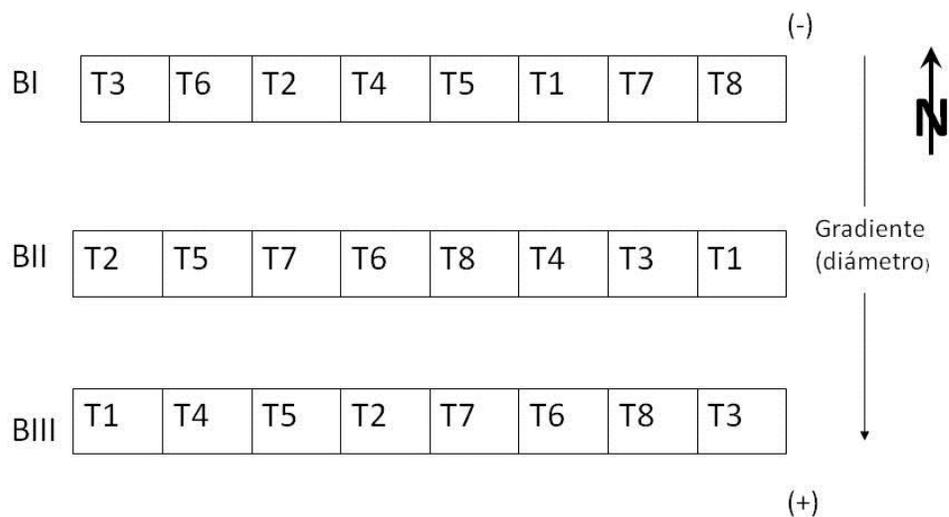
Mes	Promedio mensual de lluvia (mm)			Promedio mensual de temperatura (°C)			Humedad relativa (%)			Luz solar (h/d)		
	San Andrés <sup>a)</sup>	San Salvador <sup>b)</sup>	Ilopango <sup>c)</sup>	San Andrés	San Salvador	Ilopango	San Andrés	San Salvador	Ilopango	San Andrés	San Salvador	Ilopango
Jun.	259	287.1	543.9	24.2	22.3	24.3	84	82	86.7	6.4	7.1	5.2
Jul.	312	347.8	530.4	24.2	23.1	23.4	82	80	88.6	8.0	6.7	5.8
Ago.	263	328.7	334.1	24.2	23.1	23.6	82	79	90.4	7.8	6.8	5.1
Sep.	299	342.4	358.8	23.8	22.0	23.4	85	83	90.7	6.1	7.4	4.7
Oct.	145	204.8	93.2	23.6	32.7	23.7	83	79	78.4	7.0	6.8	8.2
Nov.	37	32.1	10.3	22.8	22.4	23.1	77	72	76.7	8.2	8.4	8.7
Dic.	7	9.1	0.0	22.2	22.1	21.6	72	68	70.6	9.2	9.3	9.4

a) Estación experimental San Andrés, La Libertad 1986

b) Estación experimental San Salvador, s.f.

c) Estación S-10 Ilopango, 2010

#### Anexo 5. Distribución de los tratamientos.



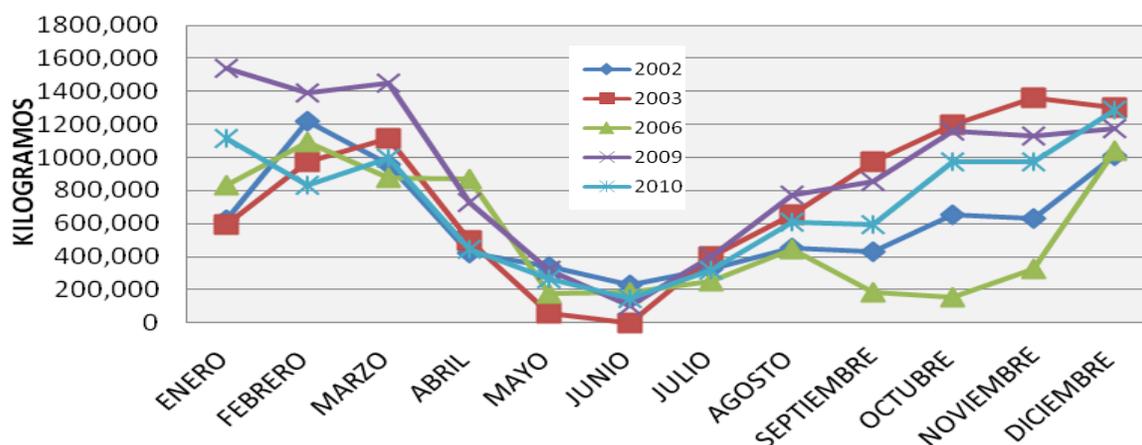
### Anexo 6. Eventos Hidrometeorológicos Extremos que Impactaron a El Salvador desde la década de los Sesenta ordenados según máximos acumulados

Evento	Origen	Mes	Año	Duración (días)	Promedio* Nacional (mm)	Máximo acumulado (mm)
DT12E y Sistema Depresionario	Pacífico	Octubre	2011	10	762	1513
Mitch	Atlántico	Octubre	1998	7	472	861
Stan	Atlántico	Octubre	2005	6	424	805
Paul	Pacífico	Septiembre	1982	4	276	676
Agatha	Pacífico	Mayo	2010	8	274	672
Matthew	Atlántico	Septiembre	2010	8	325	603
Andres	Pacífico	Julio	1997	5	289	530
Baja E96/IDA	Pacífico	Noviembre	2009	3	248	483
FIFI	Atlántico	Septiembre	1974	4	275	461
Adrian	Pacífico	Mayo	2005	3	195	418
Gert	Atlántico	Septiembre	1993	4	198	390
Alex	Atlántico	Junio	2010	5	180	375
Cesar	Atlántico	Julio	1996	5	199	365
Francelia	Atlántico	Septiembre	1969	4	210	364
Joan	Atlántico	Octubre	1988	5	178	331
Isidore	Atlántico	Septiembre	2002	5	160	285

\* Calculado como promedios areales a partir de los mapas de isoyetas (curvas dentro del mapa que representan la misma precipitación).

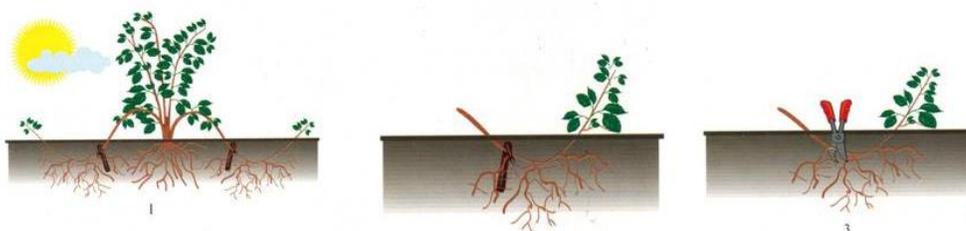
Fuente: MARN. 2011. DEPRESIÓN TROPICAL 12E / SISTEMA DEPRESIONARIO SOBRE EL SALVADOR Y OTROS EVENTOS EXTREMOS DEL PACIFICO.

### Anexo 7. Importación mensual de aguacate en El Salvador de 2002- 2010.

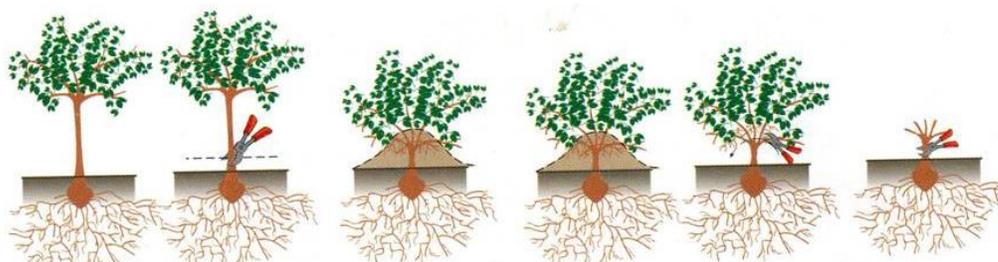


Fuente: Elaboración propia con datos de los anuarios estadísticos agropecuarios del MAG- DGEA.

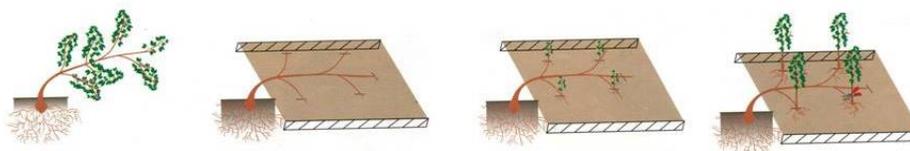
### Anexo 8. Ilustración del procedimiento de cuatro técnicas de acodo.



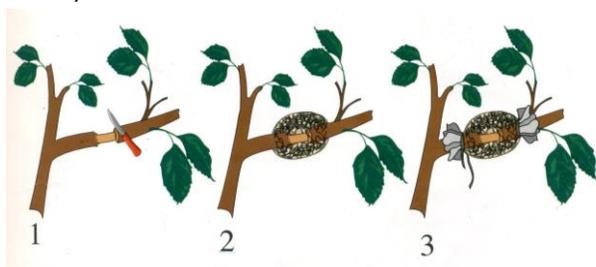
a) Acodo simple o murgón



b) Acodo de montículo



c) Acodo en trinchera



d) Acodo aéreo

Fuente: Alix (1999).

**Anexo 9. Datos meteorológicos de precipitación en mm de junio a diciembre de 2010.  
Estación S- 10 Ilopango (615 msnm).**

DIA	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1	0.1	0.0	11.0	0.5	14.5	0.0	0.0
2	0	2.3	10.0	6.5	13.1	0.0	0.0
3	0	4.1	32.1	13.1	0.0	0.0	0.0
4	5.5	0.0	35.6	10.2	0.0	0.0	0.0
5	1.4	23.7	27.8	0.0	0.0	0.0	0.0
6	0	0.9	7.7	13.7	0.0	0.0	0.0
7	0	0.0	2.0	16.0	0.0	0.0	0.0
8	1.9	0.0	0.4	0.8	0.0	0.0	0.0
9	1.0	0.0	7.6	0	0.0	0.0	0.0
10	2.0	9.4	2.2	0	0.0	0.0	0.0
11	0.4	22.3	25.4	0	0.0	0.0	0.0
12	45.1	78.8	1.5	22.4	0.0	0.0	0.0
13	23.4	27.8	1.0	2.9	0.0	0.0	0.0
14	0.2	13.5	7.2	20.0	0.0	0.0	0.0
15	0	16.6	1.4	9.9	0.0	0.0	0.0
16	15.5	2.3	1.3	2.6	0.0	0.3	0.0
17	66.7	76.4	0.9	5.8	0.0	0.0	0.0
18	21.1	12.3	58.4	1.0	0.0	9.7	0.0
19	64.8	15.4	1.3	6.8	13.1	0.0	0.0
20	54.0	31.3	0.3	0	0.0	0.3	0.0
21	9.1	0.0	12.9	20.4	0.0	0.0	0.0
22	13.0	1.5	18.3	10.0	0.0	0.0	0.0
23	0	0.0	15.1	0	0.0	0.0	0.0
24	11.0	0.0	0.0	4.8	0.0	0.0	0.0
25	0	7.9	1.8	16.4	0.0	0.0	0.0
26	13.9	60.3	0.6	52.2	6.5	0.0	0.0
27	30.1	47.2	20.4	36.9	27.4	0.0	0.0
28	25.8	28.3	20.5	28.0	0.4	0.0	0.0
29	130.2	13.0	2.8	14.2	18.2	0.0	0.0
30	7.7	32.0	6.1	43.7	0.0	0.0	0.0
31		3.1	0.5		0.0		0.0
<b>prom</b>	<b>543.9</b>	<b>530.4</b>	<b>334.1</b>	<b>358.8</b>	<b>93.2</b>	<b>10.3</b>	<b>0.0</b>

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

**Anexo 10. Datos meteorológicos de luz solar ( $Kw.m^{-2}.día^{-1}$ ) de junio a diciembre de 2010. Estación S- 10 Ilopango (615 msnm).**

DIA	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1	9.6	9.0	7.2	-	2.6	10.1	9.4
2	7.7	10.2	7.7	2.2	9.0	10.1	10.5
3	1.8	9.0	5.1	0.1	3.1	2.9	9.8
4	1.6	9.3	6.1	2.8	10.0	8.5	9.7
5	10.8	4.7	8.4	6.3	10.0	10.4	8.8
6	8.2	5.7	9.4	6.2	9.5	10.3	9.7
7	6.0	-	4.0	5.3	10.2	9.9	9.8
8	8.5	1.8	4.7	10.7	10.2	9.9	9.7
9	8.2	4.0	7.4	10.0	10.1	10.2	9.7
10	6.6	4.4	5.0	7.0	10.0	7.7	9.8
11	7.8	6.9	3.7	8.7	10.0	10.1	9.7
12	4.8	4.2	8.7	5.4	10.0	9.8	9.5
13	2.1	4.1	9.3	9.0	8.5	9.0	9.7
14	4.5	10.7	3.3	6.9	6.2	9.9	9.7
15	4.5	6.8	3.5	2.8	7.6	6.0	8.7
16	4.1	10.1	3.9	5.1	9.1	6.7	9.5
17	4.3	3.0	4.4	7.2	6.5	7.5	7.6
18	8.0	0.0	4.7	7.6	7.8	2.5	9.5
19	6.1	0.0	5.7	7.2	8.2	6.0	9.2
20	7.1	2.4	2.5	5.4	8.1	9.5	9.5
21	4.4	3.6	4.0	7.6	9.2	9.8	9.4
22	5.0	7.3	0.0	7.1	9.1	8.6	9.2
23	9.7	6.6	0.5	1.2	10.2	9.6	9.7
24	5.6	7.1	4.5	2.7	4.3	9.9	9.6
25	6.5	7.0	3.4	0.6	5.8	9.8	8.3
26	0.2	4.9	7.1	0.5	2.3	9.6	9.7
27	0.8	4.1	5.6	1.4	8.2	7.0	9.7
28	0.0	9.5	5.8	0.1	7.3	9.8	9.6
29	0.3	8.0	3.6	0.0	9.6	9.8	9.6
30	0.4	5.2	0.2	0.1	10.4	9.4	9.6
31		5.8	8.0		10.2		8.2
<b>prom</b>	<b>5.2</b>	<b>5.8</b>	<b>5.1</b>	<b>4.7</b>	<b>8.2</b>	<b>8.7</b>	<b>9.4</b>

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

**Anexo 11. Datos meteorológicos de Temperatura promedio (°C) de junio a diciembre de 2010. Estación S-10 Ilopango (615 msnm).**

DIA	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1	25.1	24.9	23.4	23.9	23.0	24.5	23.5
2	25.9	23.4	23.4	23.2	24.3	24.7	22.6
3	24.0	24.2	23.6	22.1	23.0	23.7	22.5
4	23.1	23.7	23.5	23.1	23.2	22.1	22.0
5	25.8	23.8	23.6	24.2	23.4	20.7	22.5
6	26.0	23.4	24.5	24.0	22.4	20.2	21.4
7	26.0	23.8	24.2	22.7	22.2	20.1	21.8
8	24.4	23.4	23.4	24.3	23.1	20.5	21.6
9	25.5	22.5	24.1	24.4	23.7	21.7	20.2
10	24.2	23.5	22.9	24.4	23.9	22.3	21.4
11	23.4	23.8	23.9	24.2	24.1	22.7	21.0
12	24.1	23.5	23.6	22.3	24.8	23.5	22.0
13	24.2	22.5	24.8	24.9	24.6	22.4	20.1
14	24.4	22.4	23.4	24.2	23.4	22.4	18.9
15	24.4	22.8	23.8	22.4	24.0	21.6	19.2
16	24.1	23.2	24.7	23.6	24.2	22.9	19.9
17	24.4	22.0	23.0	24.7	23.9	23.8	20.8
18	23.8	22.0	23.4	25.1	23.3	23.1	21.7
19	23.5	22.9	23.9	24.6	24.0	24.1	21.5
20	23.6	23.5	23.0	22.9	24.5	24.0	22.5
21	23.9	23.4	-	23.4	24.1	24.0	21.6
22	23.8	24.4	22.0	24.1	23.9	23.7	22.3
23	25.1	25.0	23.6	23.4	24.6	24.8	21.3
24	25.3	24.4	23.6	22.8	23.7	23.7	22.1
25	25.5	24.0	23.1	22.1	22.8	23.4	23.1
26	23.0	21.7	24.2	21.8	22.6	23.7	21.1
27	23.9	22.7	23.5	22.7	24.2	24.6	20.4
28	21.7	23.4	24.0	22.5	23.8	24.6	20.9
29	22.5	23.6	23.5	21.7	24.4	24.5	22.7
30	23.7	22.6	23.2	21.8	23.6	24.3	23.6
31		24.1	24.4		24.1		24.1
<b>prom</b>	<b>24.3</b>	<b>23.4</b>	<b>23.6</b>	<b>23.4</b>	<b>23.7</b>	<b>23.1</b>	<b>21.6</b>

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET).

**Anexo 12. Datos meteorológicos de Humedad Relativa (%) de junio a diciembre de 2010. Estación S- 10 (615 msnm).**

DIA	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre
1	87	83	88	94	90	79	74
2	84	84	89	93	86	79	74
3	88	84	90	94	79	86	70
4	91	84	86	95	73	76	68
5	81	89	89	90	75	68	68
6	83	92	87	87	74	64	69
7	81	85	91	91	67	64	64
8	87	89	94	84	69	69	74
9	82	94	89	85	72	76	67
10	85	86	96	86	70	72	66
11	85	85	90	84	76	77	72
12	84	92	95	95	78	76	70
13	84	89	88	87	74	69	64
14	85	86	88	89	71	74	61
15	89	85	91	96	68	86	70
16	88	89	87	94	72	85	76
17	85	95	87	88	75	83	79
18	86	95	90	83	80	84	82
19	84	92	88	85	87	79	80
20	87	91	94	93	84	79	74
21	89	91	-	91	79	77	74
22	90	88	96	87	81	75	69
23	86	87	90	94	80	72	67
24	83	89	93	96	84	75	74
25	84	86	94	96	92	77	69
26	96	94	90	93	92	81	66
27	85	88	90	90	89	80	64
28	96	86	87	90	87	77	65
29	95	88	90	96	79	80	69
30	90	92	95	96	73	81	75
31		89	89		76		77
<b>prom</b>	<b>86.7</b>	<b>88.6</b>	<b>90.4</b>	<b>90.7</b>	<b>78.4</b>	<b>76.7</b>	<b>70.6</b>

Fuente: Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET)

**Anexo 13. Resumen Análisis de Varianza (ANVA) de las variables que validaron la investigación: alturas, número de plantas vivas**

Fuente de variación	G.L.	ALTURA INICIAL			ALTURA FINAL			NÚMERO DE PLANTAS VIVAS		
		S.C.	C.M.	F. C	S.C.	C.M.	F. C	S.C.	C.M.	F. C
<b>Bloque</b>	2	400.15	200.07	38.32 *	477.10	238.55	17.31 *	0.01	0.01	0.47 n.s.
<b>Factor "E"(etiología)</b>	1	1.10	1.10	0.21 n.s.	5.41	5.41	0.39 n.s.	0.07	0.07	6.16 *
<b>Factor " A"(dosis AIB)</b>	3	2.56	0.85	0.16 n.s.	29.87	9.96	0.72 n.s.	0.12	0.04	3.54 *
<b>Factor "E". Factor "A"</b>	3	19.98	6.66	1.28 n.s.	19.35	6.45	0.47 n.s.	0.05	0.02	1.36 n.s.
<b>Error experimental</b>	14	73.10	5.22		192.96	13.78		0.16	0.01	
<b>Total</b>	23	496.88			724.69			0.41		

\* Significativo: probabilidad  $\leq$  5%.

n.s. No significativo.

**Anexo 14. Resumen Análisis de Varianza (ANVA) de las variables que validaron la investigación: diámetro inicial y final.**

Fuente de variación	G.L.	DIÁMETRO INICIAL			DIÁMETRO FINAL		
		S.C.	C.M.	F. C	S.C.	C.M.	F. C
<b>Bloque</b>	2	16.583	8.292	189.05.*	0.017	0.009	2.28 n.s.
<b>Factor "E"(etiología)</b>	1	0.003	0.003	0.08 n.s.	0.001	0.001	0.22 n.s.
<b>Factor " A"(dosis AIB)</b>	3	0.184	0.061	1.40 n.s.	0.022	0.007	1.89 n.s.
<b>Factor "E". Factor "A"</b>	3	0.276	0.092	2.09 n.s.	0.004	0.001	0.32 n.s.
<b>Error experimental</b>	14	0.614	0.044		0.055	0.004	
<b>Total</b>	23	17.660			0.099		

\* Significativo: probabilidad  $\leq$  5%.

n.s. No significativo.