

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA**



**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y DOSIS DE ROOT-HOR EN EL  
ENRAIZAMIENTO ESTACAS DE *Persea americana* (PALTO) EN TINGO MARÍA**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**PRESENTADO POR:**

**NOI PATRICIA RODRÍGUEZ AYALA**

**Asesor**

**CARLOS MIGUEL MIRANDA ARMAS**

**Tingo María – Perú**  
**2022**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
Tingo María  
FACULTAD DE AGRONOMÍA



Av. Universitaria Km 1.5 Telf. (062) 562341 (062) 561136 Fax. (062) 561156 E.mail: [fagro@unas.edu.pe](mailto:fagro@unas.edu.pe)

"Año de la Universalización de la Salud"

**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**  
**2021-FA-UNAS**

BACHILLER : NOI PATRICIA RODRIGUEZ AYALA

TÍTULO : TIPOS DE SUSTRATOS Y DOSIS DE ENRAIZANTE EN LA  
PROPAGACION POR ESTACAS DE *Persea americana* Mill. (Palto) EN  
TINGO MARÍA

JURADO CALIFICADOR

PRESIDENTE : M.Sc. LUIS FERNANDO GARCIA CARRION  
VOCAL : Dr. JOSÉ WILFREDO ZAVALA SOLÓRZANO  
VOCAL : Ing. JORGE CERON CHAVEZ

ASESORES : Ing. CARLOS MIRANDA ARMAS  
: M.Sc. GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP

FECHA DE SUSTENTACIÓN : 30-12-2021

HORA DE SUSTENTACIÓN : 05:00 P.M

LUGAR DE SUSTENTACIÓN : Virtual – Plataforma TEAMS.

CALIFICATIVO : APROBADO

RESULTADO : MUY BUENO

OBSERVACIONES A LA TESIS : EN HOJA ADJUNTA

TINGO MARÍA, 30 DE DICIEMBRE DE 2021

M.Sc. LUIS GARCIA CARRION  
PRESIDENTE

Dr. JOSÉ W. ZAVALA SOLÓRZANO  
VOCAL

Ing. JORGE CERON CHAVEZ  
VOCAL

Ing. CARLOS MIRANDA ARMAS  
ASESOR

M.Sc. GIANNFRANCO EGOAVIL JUMP  
ASESOR



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**REPOSITORIO INSTITUCIONAL DIGITAL**  
(RIDUNAS)

Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

**CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 199 - 2022 - CP-RIDUNAS**

El Coordinador de la Oficina de Repositorio Institucional Digital de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

**CERTIFICA QUE:**

El trabajo de investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Facultad:


Facultad de Agronomía

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de investigación	
-------	---	--------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y DOSIS DE ROOT-HOR EN EL ENRAIZAMIENTO ESTACAS DE Persea americana (PALTO) EN TINGO MARÍA	NOI PATRICIA RODRÍGUEZ AYALA	<b>18%</b> <b>Dieciocho</b>

Tingo María, 11 de noviembre de 2022

  
Mg. Ing. García Villegas, Christian  
Coordinador del Repositorio Institucional  
Digital (RIDUNAS)

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE AGRONOMIA**



**EVALUACIÓN DE SUSTRATOS Y DOSIS DE ROOT-HOR EN EL ENRAIZAMIENTO ESTACAS DE *Persea americana* (PALTO) EN TINGO MARÍA**

Autor	: Bach. Noi Patricia Rodríguez Ayala
Asesor (es)	: Ing. Carlos Miguel Miranda Armas Ing. M.Sc. Giannfranco Egoávil Jump
Programa de investigación	: Especies Agrícolas, Ornamentales, Floristas, Medicinales, Nutraceúticos y Afines
Línea de investigación	: Caracterización morfo-fitoquímica de los Recursos Fitogenéticos, Propagación, Manejo y Conservación <i>ex-situ</i>
Eje temático	: Propagación de plantas
Lugar de ejecución	: Vivero de la Facultad de Agronomía
Duración	: 6 meses
Financiamiento	: S/ 3 780 soles

**Tingo María – Perú. 2022**

## **AGRADECIMIENTOS**

- A La Universidad Nacional Agraria de la Selva de Tingo María y a los docentes investigadores de la Facultad de Agronomía, por compartirme sus valiosos conocimientos y experiencias durante mi formación profesional.
  
- A Ing. Carlos Miguel Miranda Armas (Asesor), por la concepción de la idea y la planificación y ejecución del proyecto de tesis, así como la redacción del informe de tesis e Ing. M.Sc. Giannfranco Egoavil Jump (Asesor), por el seguimiento y apoyo en la redacción y revisión del informe final de la tesis.
  
- A Jurado de tesis: Ing. M. Sc. Luis Fernando García Carrión (presidente), Dr. José Wilfredo Zavala Solórzano e Ing. Jorge Cerón Chávez (miembros), por la revisión y valiosas sugerencias al proyecto e informe final de mi tesis.
  
- A Ing. M. Sc. Erica Merino Maguiña, jefe del vivero de la “Facultad de Agronomía” por la autorización y facilidades otorgadas para la ejecución de mi tesis; así como, el apoyo en el riego y cuidado de las estacas de palto en enraizamiento.
  
- A Todas aquellas personas que me alentaron y apoyaron para iniciar, ejecutar y culminar exitosamente mi tesis.

## INDICE

	<b>Página</b>
Portada .....	i
Carátula .....	ii
Agradecimientos .....	iii
Índice .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	vi
Resumen .....	vii
Abstract .....	viii
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Generalidades del palto .....	3
2.1.1 Origen, domesticación y dispersión .....	3
2.1.2 Taxonomía.....	3
2.1.3 Características botánicas.....	3
2.1.4 Principales razas de palto .....	4
2.1.5 Variedades comerciales de palto .....	5
2.2 Sistemas de propagación .....	7
2.2.1 Propagación sexual .....	7
2.2.2 Propagación asexual .....	7
2.2.3 Propagación vegetativa por estacas .....	8
2.2.4 Clasificación de las estacas .....	9
2.3 Factores ambientales que afectan el enraizado .....	9
2.3.1 Luz .....	9
2.3.2 Temperatura .....	10
2.3.3 Humedad .....	10
2.3.4 Medio de enraizamiento .....	10
2.3.5 Reguladores del crecimiento .....	11
2.4 Fisiología del enraizamiento .....	11
2.4.1 Desarrollo anatómico de las raíces en las estacas .....	12
2.4.2 Bases fisiológicas de la propagación vegetativa por estacas .....	12
2.4.3 Efecto de los carbohidratos en el enraizamiento .....	13

2.4.4 Cofactores de enraizamiento e interacción con la auxina .....	13
2.5 Proceso de enraizamiento del palto .....	14
2.6 Investigaciones sobre propagación por estacas de palto .....	15
2.7 Ficha técnica del enraizante Root-hor .....	16
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1 Lugar de ejecución.....	17
3.2 Materiales y métodos .....	18
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>23</b>
4.1 Número de estacas enraizadas (NEE).....	23
4.2 Número de estacas brotadas (NEB).....	27
4.3 Longitud de brotes (LOB).....	30
4.4 Número de raíces por estaca (NRE).....	32
4.5 Materia seca de las raíces (MSR) .....	35
<b>V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>37</b>
<b>VI. PROPUESTAS A FUTURO .....</b>	<b>38</b>
<b>VII. REFERENCIAS .....</b>	<b>39</b>
<b>VIII. ANEXO .....</b>	<b>44</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Humedad relativa y temperatura en la cámara de sub-irrigación de enraizamiento de palto var. Criollo .....	32
2. Descripción de los tratamientos de enraizamiento de palto, var. Criollo .....	33
3. Esquema del análisis de varianza en diseño completo al azar (D.C.A) .....	34
4. Cuadrados medios y significación para el número de estacas enraizadas (NEE) de palto, var. Criollo .....	39
5. Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) para el número de estacas enraizadas (NEE) de palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor .....	40
6. Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) para los efectos principales del número de estacas enraizadas (NEE) del palto, var, Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor .	42
7. Cuadrados medios y significación para número de estacas brotadas (NEB) de palto, var. Criollo .....	43
8. Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) para el número de estacas brotadas (NEB) de palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor .....	44
9. Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) para los efectos principales del número de estacas brotadas ((NEB) de palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor . .	45
10. Cuadrados medios y significación estadística para la longitud de brotes (LOB) de palto, var. Criollo .....	46
11. Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) para la longitud de brotes (LOB) de las estacas de palto, var. Criollo .....	47
12. Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) para los efectos principales de longitud de brotes (LOB) de estacas de palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor ....	48
13. Cuadrados medios y significación estadística del número de raíces por estaca (NRE) de palto var. Criollo .....	49
14. Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) del número de raíces por estaca (NRE) de palto, var. Criollo .....	50
15. Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) para los efectos principales del número de raíces por estaca (NRE) de palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor .....	51
16. Cuadrados medios y significación estadística para la materia seca radicular .....	52
17. Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0.05$ ) para la materia seca radicular del palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor .....	53

18. Datos originales del número de estacas enraizadas (NEE) evaluadas a los 150 días ....	64
19. Datos originales del número de estacas brotadas (NEB) evaluadas a los 150 días .....	64
20. Datos originales de la longitud de brotes (LOB) evaluadas a los 150 días .....	65
21. Datos originales del número raíces por estacas (NRE) evaluadas a los 150 días .....	65

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Regresión lineal del número de estacas enraizadas de palto var. Criollo, en función a los tipos de sustrato y dosis de Root-hor .....	41
2. Porcentaje de enraizamiento de estacas de palto var. Criollo según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor .....	43
3. Número de estacas brotadas de palto var. Criollo, según dosis de Root-hor en dos tipos de sustrato .....	45
4. Longitud de brotes de las estacas de palto var. Criollo, según el tipo de sustrato a diferentes dosis de Root-hor .....	49
5. Número de raíces por estaca de palto var. Criollo, según la dosis de Root-hor en dos tipos de sustrato .....	52
6. Contenido de materia seca radicular del palto var. Criollo, según las dosis de Root-hor y tipos de sustrato .....	54
7. Estacas brotadas con 7 500 ppm de Root-hor en sustrato arena a los 150 días .....	66
8. Estacas con callos con 2 500 ppm de Root-hor en sustrato arena a los 150 días ....	66
9. Estaca enraizada con 2 500 ppm de Root-hor en sustrato tierra agrícola a los 150 días .....	67
10. Estaca enraizada con 7 500 ppm de Root-hor en sustrato de arena a los 150 días ....	67
11. Evaluación de la materia seca radicular a los 150 días .....	68
12. Visita del Asesor y Presidente del Jurado al área experimental .....	68
13. Riegos oportunos durante la ejecución del experimento .....	69
14. Preparación de la solución de Root-hor a 2 500, 5 000 y 7 500 ppm .....	69
15. Colecta y protección de las estacas de palto var. Criollo en el fundo 1 El Agrónomo-FA, UNAS .....	70
16. Croquis de la parcela experimental modelo .....	70
17. Croquis del área experimental con los tratamientos .....	71

## RESUMEN

Con el objetivo de determinar el efecto de dos tipos de sustrato y tres dosis de Root-hor en el enraizamiento del *Persea americana* (Palto), se ejecutó un experimento de abril a octubre del 2019 utilizando estacas de palto de plantas madre de 13 años procedente del Fundo 1 de la Facultad de Agronomía-UNAS. Las estacas fueron acondicionadas e instaladas en una cámara de sub-irrigación, protegida con malla de Rachel que pasa un 50% de la radiación solar. Se usó el diseño completo al azar con arreglo factorial ( $2 \times 3 + 2$  testigos = 8 tratamientos) y cuatro repeticiones; probando dos factores: tipo de sustrato (arena y tierra agrícola) y tres dosis de Root-hor (2 500, 5 000 y 7 500 ppm). Como variables evaluadas se consideraron: número de estacas enraizadas (NEE), número de estacas brotadas (NEB), longitud de brotes (LOB), número de raíces por estaca (NRE) y contenido de materia seca radicular (MSR). Los resultados mostraron que la mejor dosis de Root-hor fue 7 500 ppm obteniendo 51,56 % de estacas enraizadas en arena y 48,44 % en tierra agrícola; de modo similar en las otras variables. En cuanto al tipo de sustrato, entre la arena y la tierra agrícola en el NEE, no hubo diferencias estadísticas significativas; así como, en el NRE y MSR; mientras que, si hubo para la LOB, donde el sustrato tierra agrícola aportó mejores condiciones para el crecimiento de los brotes foliares. En las interacciones tipo de sustrato x dosis de Root-hor, las mejores respuestas se obtuvieron con los tratamientos T4 (arena + 7 500 ppm) y T8 (tierra agrícola + 7 500 ppm) para las variables NEE, NEB, LOB y MSR; mientras que el T4, solo ocupó el primer lugar en la variable NRE. Para ensayos futuros se sugiere combinar tipos de Auxinas con inductores eco fisiológicos en el tratamiento de las estacas de palto.

Palabras claves: Propagación asexual, inductores eco fisiológicos, regulador hormonal, cacahuete, siembra.

## ABSTRACT

To determine the effect of two types of substrates and three doses of Root-hor on the rooting of avocado (*Persea americana* Mill) stakes, an experiment was carried out from april to october 2019, using avocado stakes from mothers' plants of 13 years old from Farm 1 of the Agronomy Faculty-UNAS. The stakes were conditioned and installed in a sub-irrigation chamber, protected with a raschel mesh that allowed to pass 50 % of solar radiation. The complete randomized design was used with factorial arrangement (2 x 3 + 2 controls = 8 treatments) and four repetitions, testing two factors: substrate type (sand and agricultural land) and three doses of Root-hor (2 500, 5 000 and 7 500 ppm). The variables evaluated were number of rooted stakes (NEE), number of sprouted stakes (NEB), shoot length (LOB), number of roots per stake (NRE) and root dry matter content (MSR). The results showed that the best dose of Root-hor was 7 500 ppm, obtaining 51,56 % of rooted stakes in sand and 48,44 % in agricultural land; something similar as in the other variables. With the type of substrate, between the sand and agricultural land they did not have significant statistical differences in the NEE; as well as, in the NRE and MSR; while, if it had for the LOB, where the agricultural land substrate provided better conditions for the growth of leaf shoots. In the interactions: substrate type x Root-hor dose, the best responses were obtained in the treatments T4 (sand + 7 500 ppm) and T8 (agricultural land + 7 500 ppm) for the variables: NEE, NEB, LOB and MSR, while than T4, remained in first place for the variable NRE. For future trials, auxin combinations with ecophysiological inducers should be tested on the stakes.

Keywords: Asexual propagation, eco physiological inducers, hormonal regulator, avocado, planting.

## I. INTRODUCCIÓN

*Persea americana* (Palto) es un árbol neotropical cuya fruta se caracteriza por ser nutritiva y beneficiosa para la salud ya que contiene todos los compuestos alimenticios (carbohidratos, proteínas y grasas); así como, un amplio espectro de vitaminas A, B, C, D, E y K, y minerales (Pierce, 1959), lo cual hace que esta fruta sea ampliamente demandada por los países de la Unión Europea (U.E).

Por ser una especie de polinización cruzada y altamente heterocigótica, su propagación sexual (semilla botánica) origina una progenie variable en sus características morfológicas (Freire et al., 2017); así como, variables en sus características agronómicas de productividad, calidad y resistencia a las enfermedades.

Según Ernst et al. (2013), en varios países productores de palto tales como: EE. UU., Australia, Israel y África del Sur, se usan portainjertos clonales procedentes de genotipos seleccionados que ofrecen mayor productividad y tolerancia causada por *Phytophthora cinnamomi* (Pudrición). Actualmente, el método más utilizado para la propagación comercial del palto es el injerto que procede de una variedad superior sobre un portainjerto originado de semillas o sobre un portainjerto clonal (De Villiers y Ernst, 2015).

La obtención de portainjertos clonales es de suma importancia para asegurar la fidelidad genética y la homogeneidad de las características; es decir, que todas las plantas del vivero tengan el mismo patrón seleccionado. El clon como resultado de la propagación asexual, conservará las mismas características de la planta madre original de la cual se extrajeron las estacas seleccionadas.

A través de varias décadas, la técnica de injertación ha ido perfeccionándose, siendo aplicada a escala comercial por los viveros. Sin embargo, la metodología aún es complicada y el precio de una variedad de palto injertada sobre patrón clonal sigue siendo elevado. Esta situación amerita la búsqueda de nuevos métodos de propagación que sean más eficaces en la obtención de plantones sanos, de mejor vigor y rápido crecimiento en el vivero.

La necesidad de buscar alternativas de propagación vegetativa con tecnologías que reduzcan el costo y que resulten eficaces, por un lado; así como, conociendo que las condiciones edafo-climáticas de la selva alta peruana, particularmente, la provincia de Leoncio Prado, son favorables para el desarrollo de este cultivo, por otro lado, este cultivo tiene un gran potencial para su desarrollo socioeconómico.

Por lo antes señalado, planteamos la siguiente hipótesis: al menos una dosis de Root-hor y un tipo de sustrato, se obtiene una respuesta diferente en el enraizamiento de las estacas

de palto variedad (var.) ‘Criollo’. De allí que esta investigación busca establecer un procedimiento eficaz y menos sofisticado para propagar patrones clonales del palto ‘Criollo’ mediante estacas semileñosas enraizadas aplicando un producto enraizante bajo condiciones de ambiente controlado (cámara de sub-irrigación).

### **Objetivo general.**

Evaluar el efecto de dos tipos de sustratos de siembra y tres dosis de Root-hor como producto enraizante de las estacas de palto, var. ‘Criollo’.

### **Objetivos específicos**

1. Determinar la mejor dosis de Root-hor como hormona enraizante de las estacas de palto.
2. Determinar el mejor tipo de sustrato de siembra en el enraizamiento de las estacas de palto.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Generalidades del palto

#### 2.1.1 Origen, domesticación y dispersión

Sobre el origen del palto hay evidencias del consumo en el valle de Tehuacán (Puebla), México, teniendo de 9 000 a 10 000 años de antigüedad (Avilán et al., 2007). Su domesticación ocurrió en la región mesoamericana alrededor de 5 000 a. C. y se consumía en Caral, Perú alrededor de 3 000 a. C. (Galindo-Tovar et al., 2008). Sin embargo, algunos aspectos del origen, dispersión y domesticación de la especie aún no han sido aclarados.

Existe evidencia arqueológica que este frutal fue parte de la dieta de grupos humanos que habitaban el valle de Moche en el norte de Perú, entre 2 500 - 1 800 a.C. Pozorski (como se citó en Galindo-Tovar et al., 2008). Cuando los españoles llegaron a la América, el palto ya se consumía desde Mesoamérica hasta el Perú en América del Sur Takashi (como se citó en Galindo-Tovar et al., 2008). Actualmente, el palto está distribuida en todo el mundo siendo México el principal productor.

#### 2.1.2 Taxonomía

Según León (1987), la especie se clasifica según los siguientes taxones:

Reino	: Plantae
División	: Espermatofita
Sub-división	: Arquiclamídea
Clase	: Angiospermae
Subclase	: Dicotiledónea
Orden	: Ramnales
Sub-orden	: Magnoliáceas
Familia	: Lauráceas
Género	: <i>Persea</i>
Especie	: <i>Persea americana</i> Mill.

#### 2.1.3 Características botánicas

El árbol de palto tiene hojas alternas, pedunculadas, extremadamente vibrantes y plantas perfectas en racimos subterminales. Sin embargo, cada flor se abre en dos momentos distintos y separados, lo que significa que los órganos masculino y femenino tienen un propósito en momentos distintos, evitando la autofecundación. El árbol puede crecer hasta 30 m de altura con un sistema radicular superficial sustituto (Álvarez de la Peña, 2011).

Según cómo se abre la inflorescencia, las variedades de palto se dividen en dos tipos: *A* y *B*. Ambos tipos de flores se abren primero como hembras, luego se cierran durante un tiempo determinado antes de reabrir como macho. Debido a este comportamiento, la sincronía de la floración del aguacate es crucial en una plantación porque es muy práctico mezclar variedades adaptadas a la misma altitud, con floración tipo *A* y *B*, y con el mismo tiempo de floración en una proporción de 4:1, donde la variedad deseada es la mayor parte de la población, para que la producción sea la esperada. Solo el 0,1 % de las flores que cada árbol puede producir, hasta un millón, se convierten en frutos mediante la abscisión de las flores y el desarrollo de pequeños frutos (Álvarez de la Peña, 2011).

Como la especie es de polinización cruzada, mono-embriónica y altamente heterocigota, las plantas propagadas por vía sexual expresan una acentuada variabilidad genética. De allí que, los portainjertos obtenidos de semillas, incluso a partir de una sola planta madre, son fenotípicamente desuniformes Calabrese (como se citó en Álvarez de la Peña, 2011). El fruto es una baya con una semilla, oval y de superficie lisa o rugosa (Scora y Bergh, 1990).

#### **2.1.4 Principales razas del palto**

El palto es la única especie económicamente importante de la familia Laurácea y es clasificada en tres razas según el origen geográfico: *mexicana*, *guatemalteca* y *Antillana* (Silva y Ledesma, 2014). Estas razas presentan diferencias en cuanto a la sensibilidad de las condiciones ambientales como temperaturas extremas, sequía, exceso o déficit de precipitación (Schaffer et al., 2013; Wolstenholme, 2013).

##### **2.1.4.1 Raza Mexicana**

Las hojas pequeñas de los arbustos emiten un olor anisado distintivo cuando se trituran. Las variaciones de la raza mexicana pueden soportar bien las condiciones de frío y les va bien entre los 1 000 y los 1 900 msnm (Alache, 1997). La fruta se destaca por sus frutos pequeños y, por lo general, pesa menos de 250 g. Entre las variantes de esta raza podemos nombrar a "Duke", "Zutano" y "Topa Topa", entre otras (Rodríguez, 1982).

##### **2.1.4.2 Raza Antillana**

Esta raza prefiere ambientes cálidos y húmedos en elevaciones bajas (menos de 500 msnm) que son pobres en vegetación. Debido a su maduración más temprana, el árbol no parece tan robusto. Esta raza está representada por las var. "Criollas" en Perú (Franciosi, 1992). Son la raza más grande y producen frutos enormes que pesan entre

250 g y 2,5 kg. Entre las variantes de esta raza se encuentran "Waldin", "Lawhon", "Catire" y "Russell" (Avilán, 1982; Franciosi, 1992).

#### **2.1.4.3 Raza Guatemalteca**

Las hojas son más grandes que las de la raza mexicana, tienen un color verde oscuro y son originarias de Guatemala. Tampoco tienen un olor a anís. El fruto tiene forma esférica, ovalada o de pera y puede ser pequeño (7,5 cm de largo y 120 g de peso) o enorme (25 cm). Los tipos de Guatemala incluyen a "Nabal", "Hass", "Mc Arthur", "Orotova", etc. Estos prosperan y rinden más entre 500 y 1 000 msnm, mientras que pueden plantarse en altitudes más bajas y todavía producen bien. (Rodríguez, 1982).

### **2.1.5 Variedades comerciales de palto**

#### **2.1.5.1 Variedad ‘Topa Topa’**

Principalmente del tipo "Fuerte", este cultivar relacionado con la raza mexicana se usa ampliamente como patrón y polinizador efectivo. La susceptibilidad de esta variedad a la pudrición de la raíz ha salido a la luz recientemente, sin embargo, es tolerante a *P. cinnamomi*, suelos fríos, salinos y calcáreos (Campos, 2015).

#### **2.1.5.2 Variedad ‘Rincón’**

La hibridación genética entre dos líneas escogidas de las razas guatemalteca y mexicana produjo esta variación ampliamente dispersa. Tiene una apariencia arbórea distintiva con entrenudos cortos que le dan una apariencia de enano. Las ramas primarias y secundarias cortas le proporcionan una mayor resistencia al viento, pero la desventaja es que es sensible a las heladas. El fruto es de una calidad excepcional, y las bayas de tamaño medio pesan entre 150 y 300 g. (Rodríguez, 1982)

#### **2.1.5.3 Variedad ‘Fuerte’**

La variedad híbrida "Fuerte", que es susceptible a las bajas temperaturas y al nitrógeno, es un cruce entre las razas guatemalteca y mexicana. Tiene fuerte vigor y crecimiento desordenado (Lemus et al., 2010). Los frutos pesan entre 300 y 400 g, que es un tamaño mediano (Ministerio de Agricultura [MINAG], 2008). Desde el nivel del mar hasta los 1 000 msnm se cultiva esta variedad (Alache, 1997). Tiene una propensión a alternar la producción, por lo que se utiliza el método del anillado para solucionarlo (Rodríguez, 1982).

#### **2.1.5.4 Variedad ‘Hass’**

Es una variante comercial que se extrajo de la raza guatemalteca luego de un cuidadoso proceso de selección. Se aconseja plantar el árbol en lugares protegidos de las heladas porque es sensible al frío, especialmente cuando está en flor. Además, debido a que es extremadamente sensible a la humedad ambiental, se debe evitar plantar en áreas con vientos cálidos y secos porque deshidrata tanto las flores como los brotes jóvenes. Estos no pesarán mucho debido al gran cuajado de frutos (Alache, 1997).

#### **2.1.5.5 Variedad ‘Nabal’**

Es una de las variedades de la raza de Guatemala. Debido a que los frutos son más pesados que los tipos antes mencionados y el árbol es de altura media, es normal que las ramas más finas se rompan durante los años de alta cosecha. Según Rodríguez (1982), los frutos son esféricos, pesan de 300 a 500 g y son de excelente calidad. El fruto es de alta calidad y la semilla tiene un tamaño relativamente pequeño (MINAG, 2008).

#### **2.1.5.6 Variedad ‘Dickinson’**

Pertenece a la raza guatemalteca. El fruto es de tamaño mediano, ovalado y pesa alrededor de 350 a 450 g. Cuando está maduro, la piel es quebradiza, muy gruesa y de color púrpura oscuro. El fruto es de calidad media y la semilla es de tamaño medio. La planta es robusta y produce constantemente hasta 110 kg/planta. Es difícil saber cuándo está madura para la cosecha porque se siembra en la costa y en la selva hasta los 100 msnm (Rodríguez, 1982).

#### **2.1.5.7 Variedad ‘Collinred’**

Es un híbrido de la cruce guatemalteca x antillana. El fruto es oblongo, con un pedúnculo insertado oblicuamente, y varía en tamaño de mediano a grande, con un peso promedio entre 500 y 600 g. Cuando la fruta está madura, la piel es de color marrón verdoso, blanda, de grosor medio y algo granulosa; la calidad es excelente y las semillas son de tamaño mediano. La planta crece rápidamente y produce regularmente grandes cosechas. Prospera hasta los 1 600 msnm y es bastante fructífera tanto en el monte como en la costa (Franciosi, 1992).

#### **2.1.5.8 Variedad ‘Hall’**

Es un híbrido del cruce guatemalteca x antillana. El fruto pesa una media de 700 a 800 g y tiene forma de pera. La piel es moderadamente gruesa, de color verde oscuro y correosa al tacto. La semilla es de tamaño mediano, el árbol es fuerte y la

producción es alta, pero la calidad es buena. También tiene una propensión a alternar. Se comporta admirablemente en Chanchamayo y otros lugares de la selva y es adaptable a alturas entre 0 y 1 500 msnm (Franciosi, 1992).

#### **2.1.5.9 Variedad ‘Criollo’**

Los árboles de Tingo María son muy vigorosos, de 15 m de altura y con troncos de 0,5 m de diámetro. De forma ovalada, rugosa en la superficie, con las ramas distribuidas axialmente, el ángulo de inserción es menor de 90° y los entrenudos están separados 1,05 m. La rama juvenil tiene un tinte rojizo y una superficie peluda. Los frutos se producen en racimos y maduran de mayo a noviembre. El fruto pesa 650 g y tiene una longitud de 17 cm; es de rugosidad media, de color verde y de 1 mm de espesor, con pulpa de color verde claro (Miranda, 1984). La semilla mide 6,7 cm de largo; 4,5 cm de diámetro y pesa 92 g. Gallego (2003), sugiere suelos con pH neutro o ligeramente ácido (5,5 a 7,0), profundos, bien drenados y de textura ligera para la siembra de palto var. ‘Criollo’.

## **2.2. Sistemas de propagación**

Las plantas utilizan dos métodos para reproducirse: (i) reproducción sexual y (ii) reproducción asexual. Cada método tiene características diferentes dependiendo de la morfología y biología floral de la especie (Rocha, 1998).

### **2.2.1 Propagación sexual**

También se conoce con los nombres de propagación sexual o germinativa y se refiere a la propagación basada en semillas en la que los genes de los padres se recombinan, lo que permite la posibilidad de variación en la descendencia (Hartmann y Kester, 1997).

### **2.2.2 Propagación asexual**

Los órganos vegetativos como tubérculos, esquejes, rizomas, estolones o bulbos se pueden usar para la propagación asexual, al igual que las semillas no fertilizadas o la apomixia. Un clon es cualquier descendencia que produce una planta que se reproduce asexualmente y que comparte la misma composición genética. La planta madre y cada una de las plantas que componen un clon son genéticamente idénticas. (Sevilla y Holle, 2004).

La propagación vegetativa incluye el proceso de división celular mitótica, que implica la reproducción del citoplasma y el material genético (ADN, cromosomas o genoma) de la célula madre en dos células hijas. Posteriormente, los tejidos somáticos crecen y se diferencian como resultado de este síndrome (Hartmann y Kester, 1997).

Uno de los aspectos más importantes de la clonación es que toda la descendencia comparte el mismo genotipo básico, lo que hace que la población sea fenotípicamente bastante uniforme. La estandarización de la producción y otros usos de la variedad se hace factible ya que, en general, todos los descendientes de un clon tienen el mismo aspecto, tamaño, periodo de floración, tiempo de maduración, etc. (Hartmann y Kester, 1997).

### **2.2.3 Propagación vegetativa por estacas**

Se conoce que desde la antigüedad el hombre multiplicaba varias especies de plantas no por semillas sino por partes vegetativas desprendidas de la planta, ya sea por esquejes y/o estacas. La propagación por estacas consiste en cortar brotes, ramas o raíces de la planta que se colocan en bolsas o camas enraizadoras para lograr la emisión de raíces y brotación aérea, hasta la regeneración de una nueva planta (Rojas et al., 2004)

La multiplicación vegetativa de las plantas mediante estacas tiene ventajas muy importantes frente a la reproducción sexual por semillas, como, por ejemplo:

- a. La planta alcanza su objetivo más rápidamente.
- b. Da una descendencia completamente uniforme en sus caracteres hereditarios, sin originar disgregación, permitiendo una mejor selección.
- c. Reduce los costos, debido a la no necesidad de semillas sexuales, gastos de almácigos, etc.
- d. Facilita el mejoramiento mediante la selección clonal de patrones que tienen ventajas sobre sus similares en vigor, enraizamiento y adaptación al medio; así como, por sus características de calidad y aroma.

El éxito de la propagación vegetativa como medio de producir una plantación para uso comercial, depende de la selección de plantas que están por encima del promedio de rendimiento, vigor de crecimiento y calidad de la hoja (Hartmann y Kester, 1997).

Debido a la síntesis excesiva de compuestos fenólicos, la rápida oxidación y sequedad de los tejidos, así como el desarrollo de callosidades sin emisión de raíces adventicias, el método de esquejes que se utiliza para propagar el palto presenta algunos inconvenientes (Petry et al., 2012; Escobedo y Escobedo, 2015; Gleeson et al., 2015)

A pesar de que los árboles en una plantación tienen copas genéticamente idénticas, la uniformidad no se reflejará en toda la planta cuando los cultivares elegidos se injerten en portainjertos debido a las marcadas disparidades en el crecimiento y la productividad entre los árboles. Por lo tanto, se requiere producir portainjertos clonales sobre

los que se injerta el cultivar deseado para evitar la diversidad que surge al utilizar portainjertos de aguacate que se siembran a partir de semilla. De esta forma, tanto el portainjerto como la corona de las plantas finales en una plantación comercial tendrán la misma composición genética (Hartmann y Kester, 1997; Ernst, 1999).

#### **2.2.4 Clasificación de las estacas.**

Según su procedencia, las estacas se pueden dividir en tres categorías principales: estacas de raíces, estacas de ramas o tallos y estacas de hojas. Los esquejes de ramas o tallos son los macropropágulos más importantes porque son fáciles de obtener, tienen más material genético disponible y producen buenos resultados (Pereira, 2003).

Las estacas pueden ser leñosas o semileñosas. Estas últimas no necesariamente deben tener hojas, en caso de que las tengan, no deben pasar de los 20 cm. Existen algunos factores que pueden influenciar en el enraizamiento, tales como; la ubicación del esqueje en la rama, el nivel de lignificación, la cantidad de reservas, el grado de diferenciación del tejido, el tipo de sustrato (características químicas y físicas), el genotipo, las circunstancias fisiológicas de la planta madre y los factores ambientales. La aplicación de reguladores de crecimiento a los esquejes puede mejorar los resultados de Hartmann (como se citó en Bastos, 2006).

### **2.3 Factores ambientales para el enraizado**

#### **2.3.1 Luz**

Como fuente de energía para la fotosíntesis, la luz juega un papel crucial en todas las etapas del crecimiento y desarrollo de las plantas. Los subproductos de la fotosíntesis son cruciales para la iniciación y el crecimiento de las raíces en los esquejes que se están enraizando. Las respuestas pueden estar influenciadas por la calidad de la luz, el fotoperíodo (duración del día) y la intensidad (radiación). Tanto las plantas madre que producen los esquejes como los esquejes mismos pueden experimentar estos impactos a medida que comienzan a echar raíces. (Hartmann y Kester, 1997).

La duración e intensidad de la luz juegan papeles cruciales en la fabricación de hormonas o auxinas, la fotosíntesis, que produce principalmente carbohidratos y, en consecuencia, en el inicio y desarrollo de raíces y brotes en esquejes. Además, para que la fotosíntesis tenga éxito, debe superar ligeramente a la respiración; de lo contrario, los esquejes morirán por falta de carbohidratos (Runzer, 1982)

### **2.3.2 Temperatura**

Las temperaturas altas en el aire no son deseables pues favorecen el desarrollo prematuro de los brotes en contraposición de las raíces adventicias incrementando así las pérdidas de agua. La temperatura ambiental óptima de los baños hormonales y de los lugares de arraigo de los esquejes debe ser de 25 °C. Este parámetro de enraizamiento cambia según la especie (Hartmann y Kester, 1997). La mayoría de las especies requieren temperaturas entre 21 y 27 °C durante el día, mientras que 15 °C debería ser la temperatura ideal durante la noche (Runzer, 1982).

### **2.3.3 Humedad**

Para el enraizado de las estacas conviene reducir la transpiración al mínimo, reduciendo el área foliar de la estaca saturando la atmósfera de humedad con el fin de equilibrar la presión de vapor de agua de los espacios intercelulares de la hoja (Cuculiza, 1956). Para un mejor enraizado, los ambientes saturados de humedad entre 100 y 95 % permite que la hoja no corra el riesgo de secarse (Botti, 1999).

Una de las principales razones por las que los esquejes mueren antes de desarrollar raíces es la pérdida de agua porque se requieren células turgentes para la proliferación celular en el tejido de corte. Dado que las raíces aún no se han formado, el potencial de pérdida de agua del corte es muy alto, ya sea de las hojas o de los brotes. Los esquejes pueden secarse en un ambiente seco debido a un aumento en la evapotranspiración. Por lo tanto, al inicio del enraizamiento se requiere una humedad relativa alta para disminuir la evapotranspiración y evitar que los propágulos se marchiten (Harler, 1966).

### **2.3.4 Medio de enraizamiento**

Aunque el crecimiento de las raíces está determinado genéticamente y depende de la mitosis, también está influenciado por su entorno edáfico y factores relacionados con el suelo. Estos incluyen el calor, la humedad y el drenaje que afecta el suelo, así como el área de superficie, la supervivencia y el desarrollo de la raíz. Sin embargo, estos factores solo parecen tener un impacto en la elongación de la raíz y no en la diferenciación (Mediano, 1997). La aireación es un elemento crucial relacionado con el medio de enraizamiento. Un porcentaje específico de los poros debe estar lleno de aire ya que las raíces necesitan respirar; de lo contrario, existe el riesgo de asfixia radicular Ansorena (como se citó en Gutiérrez, 2003)

Cuando las estacas de algunas especies se cultivan en arena, desarrollan raíces largas, no ramificadas, gruesas y quebradizas; sin embargo, cuando se enraízan en una

mezcla de arena y turba, desarrollan raíces delgadas y bien ramificadas. El propósito de tratar las estacas con reguladores de crecimiento es aumentar el porcentaje de enraizamiento, acelerar el inicio de raíces y mejorar la calidad del sistema de raíces (Hartmann y Kester, 1997).

### **2.3.5 Reguladores de crecimiento**

Según Vivanco (2009), hay sustancias sintéticas que, cuando se añaden a las plantas, pueden producir efectos similares a los provocados por las hormonas en la naturaleza. Estas sustancias se denominan “fitorreguladores” o “reguladores del crecimiento vegetal” (Fanego, 2006). Las auxinas son fitohormonas que, entre otras cosas, mejoran la dominancia apical, impulsan el crecimiento del tallo y fomentan la división celular para el desarrollo de raíces adventicias. La de origen natural es el ácido indolacético (AIA) y las sintéticas, son el ácido indolbutírico (AIB) y el ácido naftalenacético (ANA)

## **2.4 Fisiología del enraizamiento**

Un número de cofactores debe estar presente en los esquejes para que el crecimiento de raíces adventicias comience adecuadamente. Estos cofactores trabajan con auxinas para ayudar a que las estacas establezcan raíces (Weaver, 1976). Un cofactor es una molécula natural que tiene propiedades reguladoras catalíticas y metabólicas, pero su acción es insuficiente para explicar por sí sola los fenómenos de desarrollo. En cambio, los cofactores funcionan como coenzimas (Rojas y Ramírez, 1993).

Según la teoría de Boulliene, que normalmente se aplica para explicar el proceso de inducción de raíces, un compuesto fenólico, posiblemente dihidroxifenol, actúa como cofactor de enraizamiento. Se produce en las hojas y brotes de la estaca antes de ser transportado a la región radicular, donde, junto con un cofactor no específico (auxina) y una enzima específica que se encuentra en las células de ciertos tejidos (polifenol oxidasa), se combinan para formar un complejo llamado rhizocal, si bien el enraizamiento sería imposible sin algunos de estos complicados elementos, sería concebible con otros de carácter endógeno y ambiental (Gutiérrez, 1995).

Auxin, 3 AIA es una hormona que se produce naturalmente y estimula el crecimiento de raíces adventicias. Además, se ha demostrado que los productos sintéticos, como los ácidos AIB y ANA, que no son tóxicos para las plantas en una variedad de concentraciones, promueven el enraizamiento en una amplia variedad de especies y también tienen una mayor fotoestabilidad, son más efectivos que el AIA en promoviendo la formación de raíces en esquejes (Hartmann y Kester, 1997).

A diferencia de los azúcares, iones y otros solutos, que son transportados por los tubos cribosos del floema, las auxinas atraviesan las células del parénquima desde su origen de síntesis hasta los haces vasculares del tallo; más lento e invariablemente basípeto, este transporte de célula a célula se distingue por su lentitud. En las raíces es igualmente polar, pero en sentido acrópeto, desplazándose hacia los ápices (Strasburger, 1994).

Debido a que las células de los meristemos de la raíz contienen un nivel de auxina de la parte aérea, suficiente para un alargamiento normal, típicamente se requieren bajas concentraciones de auxina para el crecimiento de la raíz (dependiendo de la especie y edad de la planta); este no es el caso, sin embargo, para la formación de raíces adventicias, donde son necesarias concentraciones más altas (Salisbury y Ross, 1992).

Las auxinas son esenciales para el alargamiento celular y están involucradas en dos procesos distintos: (i) hacen que la pared celular sea más flexible y, (ii) participan en procesos químicos que permiten la deposición de celulosa dentro de las paredes celulares. Estas dos ocurrencias resultan de la orientación inicial de las microfibrillas de celulosa en ángulo recto con el eje longitudinal de crecimiento cambiando durante el crecimiento para finalmente alinearse virtualmente paralelas a dicho eje, lo que provoca un estiramiento de la pared celular y, como resultado, un alargamiento celular (Salisbury y Ross, 1992).

#### **2.4.1 Desarrollo anatómico de las raíces en las estacas**

Por lo general, los grupos de células meristemáticas fuera y entre los haces vasculares son responsables de la mayoría de las raíces que cortan las ramas (Hartmann y Kester, 1997). La cantidad y tipo de componentes bioquímicos presentes en los tejidos de la planta, así como las interacciones estructurales entre esos tejidos, determinarán si los esquejes desarrollan o no brotes y raíces adventicias (Rocha, 1998).

#### **2.4.2 Bases fisiológicas de la propagación vegetativa por estacas**

Se pueden distinguir cuatro etapas en el crecimiento y desarrollo de raíces a partir de esquejes: (i) inducción y diferenciación de un grupo de células meristemáticas (inicio de la división celular); (ii) aumento en las divisiones celulares para formar los primordios iniciales; (iii) organización de estos grupos en primordios de raíces; y (iv) crecimiento, diferenciación y emergencia de nuevas raíces, incluyendo la ruptura de tejidos superficiales para permitir su salida y la conexión vascular (Botti, 1999).

La epidermis, el parénquima cortical, el parénquima radial, el cambium vascular y el parénquima del floema son los tejidos del tallo con mayor probabilidad de crear primordios radiculares. Además, las auxinas estimulan la formación adventicia de las raíces

en las estacas de ramas. Se ha comprobado que el AIA, ANA, AIB y otros ácidos son activos para promover la formación de raíces adventicias en las estacas (Botti, 1999).

Varios compuestos naturales conocidos como hormonas y otras sustancias artificiales conocidas como reguladores del crecimiento tienen un impacto en el desarrollo de las plantas, entre otras cosas. Se puede decir que todas las hormonas regulan el crecimiento, sin embargo, no todos los reguladores del crecimiento son hormonas para distinguir entre hormonas vegetales y reguladores del crecimiento. Fitohormonas (etileno, giberelinas, citoquininas, auxinas e inhibidores del crecimiento como el ácido abscísico); Las auxinas tienen la mayor influencia en la formación de raíces (Hartmann y Kester, 1997).

#### **2.4.3 Efecto de los carbohidratos en el enraizamiento**

Se requiere energía para la iniciación de raíces en esquejes. Dada la escasez de sustancias lipídicas en los tallos, la degradación de carbohidratos es probablemente la única fuente de energía en los esquejes para activar la rizogénesis, siendo el almidón, cuando está presente, la principal y posiblemente la única fuente de energía para la rizogénesis. iniciación y desarrollo del primordio de la raíz (Gutiérrez, 1995).

Según algunos informes, la presencia de hojas en los esquejes ayuda al enraizamiento, ya que producen las auxinas y los carbohidratos necesarios para el primer crecimiento de las células de la raíz (Hartmann y Kester, 1997).

La energía utilizada probablemente solo se utiliza para el desarrollo de callos y no para el proceso de diferenciación celular. Esto demuestra una vez más cómo la fotosíntesis impulsa el crecimiento de las raíces al aumentar la translocación de carbohidratos a la base de la estaca y mediante la generación de auxinas por las hojas, que luego son transportadas a la base de la forma polar (Haissig, 1984).

#### **2.4.4 Cofactores de enraizamiento e interacción con la auxina**

Debido a que las auxinas inducen la síntesis de etileno en altas concentraciones, lo que a su vez ralentiza el alargamiento de las raíces en la mayoría de las especies, el crecimiento y el alargamiento de las raíces se ve impedido cuando se emplean estas dosis de auxinas. raíces y tallos porque hace que las células se expandan radicalmente, engrosando la pared celular y evitando que las microfibrillas de celulosa se expandan (Strasburger, 1994). Dependiendo del tipo de planta, algunos reguladores pueden actuar como estimulantes en dosis bajas o como inhibidores en grandes concentraciones. Altas cantidades pueden causar necrosis tisular y crecimiento aberrante de raíces. Las concentraciones altas de auxinas promueven el crecimiento de raíces adventicias (Rojas y Ramírez, 1993).

## 2.5 Proceso de enraizamiento del palto

Las raíces adventicias se crean mediante el proceso de regeneración conocido como enraizamiento. Una raíz que se desarrolla a partir de un tejido distinto de la radícula embrionaria se conoce como raíz adventicia. A pesar de mucha investigación, la biología subyacente y el desencadenante de la producción de raíces adventicias siguen siendo desconocidos (Hartmann et al., 1997). Dependiendo de la técnica, el ambiente y las características del genotipo en estudio, el tiempo que tardan los tejidos del tallo en enraizar en los paltos puede variar. (Salazar et al., 2004).

En un estudio para determinar la capacidad de enraizamiento de esquejes con hojas y riego nebulizado en 10 clones de palto, se descubrió que la supervivencia de las hojas y el éxito de enraizamiento estaban correlacionados positivamente. Dado que las hojas y los brotes jóvenes son fuente de auxina AIA y almidón, entre otros químicos que serían activadores del enraizamiento a través de procesos que no se comprenden del todo, la presencia de las hojas fue crucial en la producción de raíces adventicias (Reuveni y Raviv, 1980).

Solo se descubrió una correlación entre el manganeso (Mn) y la formación de raíces cuando se examinó la composición de 11 elementos en las hojas de esquejes de aguacate; las variedades con enraizamiento difícil tenían hojas con contenidos altos de Mn, mientras que las variedades con enraizamiento fácil tenían hojas con contenidos mucho más bajos de Mn. Se sabe que las auxinas naturales en la base del corte y/o la estaca son destruidas por la enzima AIA oxidasa, que limita el enraizamiento. Mn es un activador conocido de esta enzima (Reuveni y Raviv, 1980).

La porción basal de un esqueje normalmente desarrolla callos cuando se coloca en condiciones ideales para las raíces. El callo es una masa irregular de células parenquimatosas que se van lignificando a ritmos diversos. La relación física entre el desarrollo de callos y raíces en aguacate es incierta. A veces, con o sin formación de callos en la incisión, las raíces emergen directamente del tejido de la rama (Ernst y Holtzhausen, 1987).

El AIA, una auxina endógena natural de las plantas es el otro elemento directamente relacionado con las raíces. Se sabe que las auxinas son sustancias químicas que estimulan la división celular y frecuentemente ayudan en la formación de callos y raíces en una variedad de especies de plantas. La IAA tiende a acumularse inmediatamente encima de cualquier herida, brote o raíz como resultado de la transferencia polar, razón por la cual crecen las raíces. La influencia estimulante de las auxinas en el desarrollo de raíces adventicias ha demostrado ser exitosa en la propagación basada en esquejes (Taiz y Zeiger, 1998).

La edad de la planta madre de la que se toman los brotes para la multiplicación clonal es un componente particularmente crucial en especies como el aguacate que son difíciles de enraizar (Hartmann y Kester, 1997). Estudios a largo plazo han demostrado que el llamado "factor juvenil" es responsable de la disminución observada en la capacidad de enraizamiento del aguacate con la edad de la planta madre. Un estudio que logró 100 % de enraizamiento de esquejes de plántulas de 6 meses y solo 30 % cuando tenían 12 meses en la variedad "Mexicola" apoyó esta relación inversa (Kadman, 1976). La capacidad de enraizar de las plántulas de estacas de palto de cultivares variados mostró un comportamiento similar (Krezdorn y Marte, 1976).

## **2.6. Investigaciones sobre propagación por estacas en palto**

Se escribieron tres ensayos como parte de una investigación sobre la propagación clonal de esquejes de portainjertos de aguacate utilizando brotes de Duke etiolados.

El primer ensayo examinó la eficacia de cinco tipos diferentes de cámaras oscuras personales (COI), que se instalaron en cada planta nodriza que había sido injertada con el cultivar Duke para producir crecimiento de brotes etiolados. El porcentaje de plantas nodrizas con brotes etiolados en condiciones favorables osciló entre 66,0 % y 93,6 %. Se obtuvieron mejores resultados cuando se ventilaba la cámara y se controlaba el exceso de humedad.

En el segundo experimento, los brotes de aguacate cv. Duke que se habían etiolado se cultivaron en 57 plantas nodrizas y se expusieron a condiciones de iluminación normales para destiolarlos, se aplicaron tratamientos de pre-enraizamiento (TPE) en la zona basal media de los brotes para mantener su etiolación, y luego se cubrieron con papel de aluminio. Los tratamientos consistieron en dos concentraciones de IBA (5 000 y 10 000 ppm) aplicadas a astillas de madera empapadas en auxina que se insertaron en el fuste de un extremo al otro. Cuando los tratamientos se aplicaron 45 días después, el 56,6 % de los brotes tratados con la dosis alta tenían un crecimiento de raíces temprano, en comparación con el 43,3% de los brotes tratados con la dosis más baja.

En el tercer experimento, se sembraron los esquejes de los brotes del ensayo anterior y cada uno se cubrió con una cámara húmeda hecha con envases de botellas de plástico vacías que se mantuvo a un nivel de humedad relativa alta para garantizar la supervivencia del esqueje. A los 100 días, las estacas de los brotes tratados con TPE lograron porcentajes de enraizamiento del 43,3 % con 5000 ppm de IBA y del 80,0 % con 10 000 ppm de IBA (Solórzano, 2009).

## 2.7 Ficha técnica del enraizante Root-hor

### Ingredientes activos

• Ácido alfa naftalen-acético	0,40 %
• Ácido 3 indol-butírico	0,10 %
• Ácidos nucleicos	0,10 %
• Sulfato de zinc	0,40 %
• Solución nutritiva	95,40 %

### Características físico - químicas

• Estado físico	Líquido
• Color	Turquesa
• Olor	Característico
• Densidad	1,03 +/- 0,01
• pH	2,5 +/- 0,2
• Solubilidad en agua	100 % Soluble

### Modo de acción

Se favorece la acción de las auxinas de forma armónica con otras hormonas. Penetra en los tejidos celulares incorporando las auxinas: ANA y AIB para estimular la formación de raíces, especialmente en estacas, acodos y esquejes de diversos cultivos.

### Recomendaciones de uso

Para frutales se recomienda una dosis de 0,50 % de Root-hor en la inmersión de esquejes o estacas y de 250 ml en un cilindro de 200 L de agua para la aspersión foliar.

### Momento de aplicación

Verter 5 ml de Root-hor por 1 litro de agua en un recipiente, coloque los esquejes 3 cm por debajo de la línea de agua y déjelos en remojo durante 3 a 5 minutos para ayudar a que las capas y los esquejes echen raíces. Se le añade un segundo tratamiento foliar una vez brotan las primeras hojas (Comercial Andina Agroindustrial [GRUPO ANDINA], 2018).

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Lugar de ejecución

El estudio se realizó en el vivero agrícola de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicado en el distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco; cuyas coordenadas UTM son: N 8969787, E 0390689 y una altitud de 660 m.s.n.m.

▪ **Registros meteorológicos en la cámara de sub-irrigación.-** En la Tabla 1 se presenta la humedad relativa y temperatura (máxima y mínima) en la cámara de sub-irrigación, de abril a octubre, 2019. Se usó un psicrómetro y un termómetro clínico.

**Tabla 1.** Humedad relativa y temperatura dentro de la cámara de sub-irrigación de enraizamiento de palto var. Criollo

Fecha de evaluación	Humedad relativa (%)		Temperatura (°C)	
	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
19/04/2019	63	67	31	32,1
26/04/2019	63	66	32	32,5
03/05/2019	62	68	29	31,6
10/05/2019	62	69	30	31,9
17/05/2019	54	59	30	33,8
24/05/2019	64	68	31	31,8
31/05/2019	57	65	28	29,6
07/06/2019	56	61	27	28,9
14/06/2019	59	63	30	31,2
21/06/2019	58	68	31	31,9
28/06/2019	59	65	30	30,5
05/07/2019	59	67	29	29,8
12/07/2019	62	64	29	30,3
19/07/2019	63	66	28	29,5
26/07/2019	62	67	30	30,5
02/08/2019	55	59	29	32,8
09/08/2019	59	61	30	31,6
16/08/2019	62	66	30	31,3
23/08/2019	60	65	32	32,6
30/08/2019	63	70	30	31,6
7/09/2019	62	66	31	31,9
14/09/2019	58	61	30	31,4

21/09/2019	59	67	31	31,6
28/09/2019	55	69	29	30,7
05/10/2019	57	65	29	29,8
12/10/2019	62	71	29	31,2
19/10/2019	61	68	31	32,4

### 3.2 Material y métodos

#### 3.2.1. Materiales y equipos

Tubos de 3/4 pulg., mica de traslucida, arena, tierra agrícola, tijera podadora, enraizador (Root-hor), fungicida (Cupravit), GPS, cámara fotográfica, libreta de campo.

#### 3.2.2 Metodología

##### ▪ Componentes en estudio

Factor A: **Tipo de sustrato**

$a_1$  = Arena de río (diámetro 0,2 – 2 mm, porosidad  $\geq 40$  %, baja retención de la humedad, y  $\text{pH} \leq 8$ )

$a_2$  = Tierra agrícola (textura franco – arcillo - limoso, estabilidad estructural, buena CIC,  $\text{pH}$ : 5.6)

Factor B: **Dosis de enraizante (Root-hor)**

$b_1$  = Testigo (0 ppm)

$b_2$  = 2 500 ppm (dosis baja)

$b_3$  = 5 000 ppm (dosis media)

$b_4$  = 7 500 ppm (dosis alta)

- **Tratamientos en estudio.-** Los presente sustratos, claves, etc son detallados continuación en la presenta Tabla 3.

**Tabla 2.** Descripción de los tratamientos de enraizamiento de palto, var. Criollo

Tratamientos	Clave	Sustrato	Dosis Root-hor (ppm)
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	Arena	0
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	Arena	2 500
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	Arena	5 000
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	Arena	7 500
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Tierra agrícola	0
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Tierra agrícola	2 500
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Tierra agrícola	5 000
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	Tierra agrícola	7 500

- **Diseño experimental**

En el ensayo se utilizó el diseño completo al azar (D.C.A) en arreglo factorial, compuesto por ocho tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento. Los datos de las características evaluadas fueron sometidas al análisis de variancia (ANVA) y a la prueba de comparación de medias de Duncan a un nivel de significación  $\leq 0,05$  de probabilidad.

- **Modelo aditivo lineal**

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk} \quad (\text{Calzada, 1968}).$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = Es la respuesta obtenida en la unidad experimental correspondiente a la k-ésima repetición sujeta a la aplicación del i-ésimo nivel del factor sustrato y en la j-ésima dosis del producto enraizante Root-hor.

$\mu$  = Efecto de la media general.

$\alpha_i$  = Efecto del i-ésimo tipo de sustrato.

$\beta_j$  = Efecto de la j-ésima dosis del enraizante Root-hor.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción entre el i-ésimo tipo de sustrato y la j-ésima dosis del enraízate Root-hor.

$\epsilon_{ijk}$  = Es el efecto aleatorio del error experimental en la unidad experimental de la k-ésima repetición a la cual se aplicó el i-ésimo tipo de sustrato y la j-ésima dosis del enraizante Root-hor.

- **Análisis de variancia (ANVA)**

**Tabla 3.** Esquema del ANVA en diseño completo al azar (D.C.A)

<b>Fuente de variabilidad</b>	<b>Grados de libertad</b>
Tratamientos	7
Factor A (Tipo de sustrato)	1
Factor B (Dosis de Root-hor)	3
Interacción A x B	3
Error experimental	24
<b>Total</b>	<b>31</b>

- **Características del campo experimental**

- **Cama de propagación**

- Área total: 13,4 m<sup>2</sup>

- Ancho: 2 m

- Largo de la cámara: 6,7 m

- **Parcela**

- Ancho: 40 cm

- Largo: 40 cm

- Número de tratamientos: 8

- Número de repeticiones por tratamiento: 4

- Número de unidades experimentales por tratamiento: 16

- Número de estacas a evaluar por repetición: 4

- Numero de estacas a evaluar por tratamiento: 16

- Número total de unidades experimentales: 512

- **Ejecución del experimento**

- **Limpieza del área experimental**

Una vez elegido el lugar del experimento, se realizó la limpieza del área, eliminando las malezas, y nivelando el terreno para no tener problemas con el encharcamiento de agua.

- **Adecuación del experimento al ambiente controlado**

Se utilizó una cámara de sub-irrigación como propagador para crear su propio microclima. Se construyó la estructura con tubos de PVC de 3/4 de pulgada, el cual fue forrado con polietileno (mica translúcida). La base de la cámara se rellenó con piedras menudas (guijarros) y cubierta con un plástico, sobre el cual se colocó las bolsas con cada sustrato en estudio según el diseño estadístico ya mencionado.

- **Preparación y desinfección del sustrato**

Se juntó tierra agrícola y luego se procedió a realizar el tamizado con malla metálica de 0,5 de pulgada para obtener un sustrato libre de piedras y terrones. Luego, se procedió a juntar la arena libre de piedras y gravas, desinfectando ambos sustratos con un producto fúngico denominado Ridomil, a una dosis de 15 ml/20 L. Una vez desinfectado el sustrato se realizó el llenado en bolsas de polietileno de color negro de 24 x 14 cm.

– **Colecta y preparación del material vegetativo**

Se recolectó el material vegetativo el 15 de abril del 2019 procedente de plantas sanas y vigorosas de 10 años. Previamente se aplicó un producto fúngico (Cupravit 75 g/L) para mejorar el nivel de sanidad, extrayéndose las estacas en horas de la mañana y almacenadas en un ambiente fresco para evitar el estrés fisiológico. Estas estacas provinieron de ramas laterales del tercio superior de la planta, extrayéndose de la parte media, de 15 cm de longitud mediante corte transversal.

– **Aplicación del enraizador ‘Root-hor’**

La mezcla acuosa se preparó en un recipiente el 15 de abril del 2019. Las concentraciones correspondieron a una solución de 2 500 ppm, 7 500 ppm y 10 000 ppm, de acuerdo con los tratamientos elegidos. En la preparación se diluyó 1,25 ml de Root-hor en 500 ml de agua equivalente a 2 500 ppm, 2,5 ml de Root-hor en 500 ml de agua equivalente a 5 000 ppm y 3,75 ml de Root-hor en 500 ml de agua equivalente a 7 500 ppm. Luego se procedió a colocar las varas yemeras en forma longitudinal en cada recipiente por un periodo de 15 min de inmersión.

– **Instalación del experimento**

La instalación del experimento con el material vegetal se realizó el 15 de abril del 2019. En el sustrato al interior de las bolsas se hicieron hoyos de aproximadamente 5 cm de profundidad en el cual se colocaron las estacas con una leve inclinación cuidando hacer presión firme al sustrato alrededor de la estaca para lograr un buen contacto con la superficie del sustrato.

– **Labores culturales en el experimento**

Una vez sembradas las estacas, se realizaron las siguientes actividades: riego, limpieza y control fitosanitario preventivo durante los 3 meses del experimento.

**Riegos.** - El riego se efectuó diariamente con el fin de mantener la humedad necesaria en el sustrato, de forma oportuna y necesaria.

**Control de enfermedades.** - Se realizó un control preventivo de enfermedades radicales, y aquellas estacas muertas y enfermas que estuvieron en proceso de descomposición, fueron erradicadas. Como fungicida preventivo se aplicó el Antracol a una dosis de 5ml/L.

**Control integrado.** - El control fitosanitario se realizó de forma preventiva. Para ello se preparó el “caldo bórdales”, diluyendo 100 g de cal agrícola y 100 g de sulfato de cobre por separado en 10 L de agua, respectivamente. Luego se diluyó el

sulfato de Cobre sobre la solución de la cal. Realizado la mezcla, se extrajo una alícuota de 1 L de la solución y se diluyó en 19 L de agua, aplicándose con una bomba pulverizadora.

***Limpieza y deshierbo.*** - El deshierbo se realizó manualmente en función de la agresividad y el porcentaje de infestación de las malezas durante el periodo de ejecución del experimento.

***Manejo de sombra.*** - Antes de la preparación de la cámara de sub-irrigación, se instaló un techo de malla Rachel a fin de reducir en un 40 % la radiación solar y mantener las plantas en un ambiente con sombra adecuada.

***Drenaje.*** - Antes de la instalación de la cámara de sub-irrigación se preparó los canales de drenaje en los bordes de la unidad experimental a fin de evita encharcamientos e inundaciones a causa de las lluvias.

– **Características evaluadas**

***Número de estacas enraizadas (NEE).*** - Se evaluó al final del experimento, contándose el NEE y expresando en porcentaje del total de unidades experimentales, evaluándose 4 estacas/tratamiento y por repetición.

***Número de estacas brotadas (NEB).*** - Con este propósito, se contó el número de brotes a los 30, 60 y 150 días de la siembra de las estacas en base al total de unidades experimentales evaluándose 4 estacas/tratamiento y por repetición.

***Longitud de brotes (LOB).*** - La longitud del brote más largo se midió desde la base hasta la parte terminal del brote, al final del experimento en base a 4 estacas evaluadas/tratamiento y por repetición.

***Número de raíces/estaca (NRE).*** - Se evaluó al final del experimento, contándose el NRE, obteniendo un promedio en base 4 estacas evaluadas/tratamiento y por repetición.

***Materia seca de las raíces (MSR).*** - Se realizó al final del experimento extrayendo una planta/tratamiento y por repetición. Para esto las raíces fueron lavadas cuidadosamente con la finalidad de eliminar el sustrato del material vegetal. Posteriormente, en el laboratorio de suelos se procedió a empaquetarlos en sobres etiquetados y se colocaron a la estufa a 110 °C por 3 días con el objetivo de secarlas completamente y luego ser pesadas en una balanza analítica y determinar la materia seca.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Número de estacas enraizadas (NEE)

En la Tabla 4, se presenta los cuadrados medios del análisis de variancia (ANVA) para el NEE, observándose diferencias estadísticas altamente significativas para el factor dosis de Root-hor; sin embargo, para el factor tipo de sustrato, no se encontró diferencias estadísticas significativas. Asimismo, para la interacción A x B (sustrato por dosis de Root-hor) no es posible probar la existencia de diferencias estadísticas significativas. El coeficiente de variabilidad (CV) para esta variable fue 8,57 %, lo que se interpreta que hubo muy buena homogeneidad de las variancias estimadas.

**Tabla 4.** Cuadrados medios y significación para el Número de estacas enraizadas (NEE) de palto, var. Criollo.

Fuente de variabilidad	GL	Cuadrado medio	Significancia
Tratamientos	7	2,6555	AS
A (Tipo de sustrato)	1	0,0002	NS
B (Dosis de Root-hor)	3	6,1692	AS
Interacción A x B	3	0,0269	NS
Error experimental	24	0,0380	
Total	31	19,5002	

CV (%): 8,57

AS: Significación estadística al 1% de probabilidad

NS: No existe diferencia estadística significativa

En la Tabla 5, la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para el NEE, muestra que entre los tratamientos T<sub>4</sub> con 8,25 y T<sub>8</sub> con 7,75 estacas enraizadas, no existen diferencias estadísticas significativas, pero que sí superaron estadísticamente a los demás tratamientos, incluyendo a los tratamientos testigos (T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub>), que tuvieron nula respuesta al enraizamiento con 0,0 estacas enraizadas.

**Tabla 5.** Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para el Número de estacas enraizadas (NEE) de palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor.

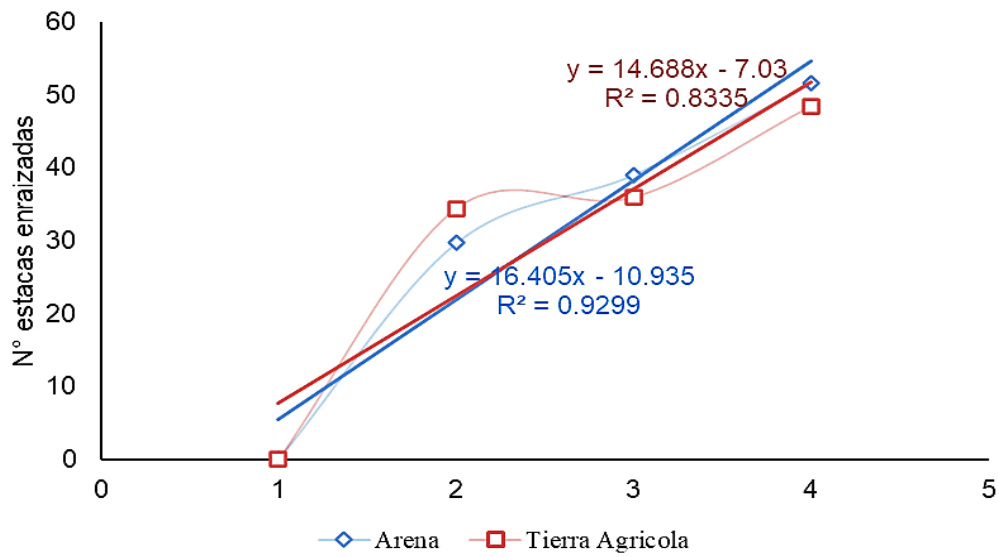
Trat.	Clave	Descripción	Estacas enraizadas	
			Promedio	Significancia
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	Arena + 7 500 ppm	8,25 (3,04) <sup>1/</sup>	a
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	Tierra agrícola + 7 500 ppm	7,75 (2,95) <sup>1/</sup>	a b
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	Arena + 5 000 ppm	6,25 (2,69) <sup>1/</sup>	b c
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Tierra agrícola + 5 000 ppm	5,75 (2,59) <sup>1/</sup>	c
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Tierra agrícola + 2 500 ppm	5,50 (2,54) <sup>1/</sup>	c
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	Arena + 2 500 ppm	4,75 (2,38) <sup>1/</sup>	c
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	Arena + 0 ppm	0,00 (1,00) <sup>1/</sup>	d
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Tierra agrícola + 0 ppm	0,00 (1,00) <sup>1/</sup>	d

<sup>1/</sup>Datos transformados a la  $\sqrt{X + 1}$ .

Promedios unidos por letras iguales, no se diferencian estadísticamente.

Estos resultados muestran que la no aplicación del enraizador Root-hor no asegura la formación de raicillas o masa radicular debido a la ausencia del inductor del enraizamiento; por consiguiente, las estacas de palto no enraizaron. Para inducir y sostener la multiplicación celular, si la planta no lo activa, es necesario usar un bioestimulante que contenga hormonas (auxinas y citoquininas), aminoácidos libres, y otros compuestos orgánicos que activen y promuevan el crecimiento radicular (Salisbury y Ross, 1992; Taiz y Zeiger, 1998). El Root-hor es un producto hormonal compuesto por las auxinas: ácido naftalen-acético (ANA) y ácido indol 3-butírico (AIB) que actúan endógenamente promoviendo la diferenciación radical (formación de callo), estimulando el crecimiento y elongación radicular (Weaver, 1976).

Algunos reguladores hormonales pueden ser estimuladores a bajas dosis o inhibidores a dosis altas; el umbral depende de la especie de la planta (Rojas y Ramírez, 1993). De ello se desprende que el incremento o disminución de la dosis del enraizante Root-hor impregnado en la base de las estacas de palto, puede tener mejor o menor respuesta al enraizamiento (figura 1), en esta presente figura se deduce que el 92,9 % de la variación del NEE se explica por el sustrato: arena y el 83,3% por el sustrato: tierra agrícola, durante el proceso de enraizamiento.



**Figura 1.** Regresión lineal del Número de estacas enraizadas (NEE) de palto var. Criollo según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor.

Los altos coeficientes de determinación ( $R^2$ ) obtenidos que son muy cercanos a 1, reflejan también altos coeficientes de correlación (0,83 y 0,92), interpretándose que existe una correlación directa y altamente positiva entre las variables independientes (dosis de Root-hor y tipo de sustratos) con la variable dependiente (NEE); es decir, si aumentamos las dosis de Root-hor en ambos tipos de sustratos (arena y tierra agrícola), también aumentaremos el NEE.

En la Tabla 6, según la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ), se aprecia que para el efecto principal: tipo de sustrato (A), no se encontraron diferencias estadísticas significativas, es decir, a las dosis de Root-hor en promedio, tuvieron las mismas respuestas en el NEE en ambos sustratos:  $a_1$  (arena) fue igual al sustrato  $a_2$  (tierra agrícola). Según este resultado, tanto el sustrato arena como el sustrato tierra agrícola, se comportaron igual bajo las condiciones ambientales de la cámara de sub-irrigación durante el proceso de enraizamiento.

**Tabla 6.** Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para los efectos principales del Número de estacas enraizadas (NEE) del palto var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor

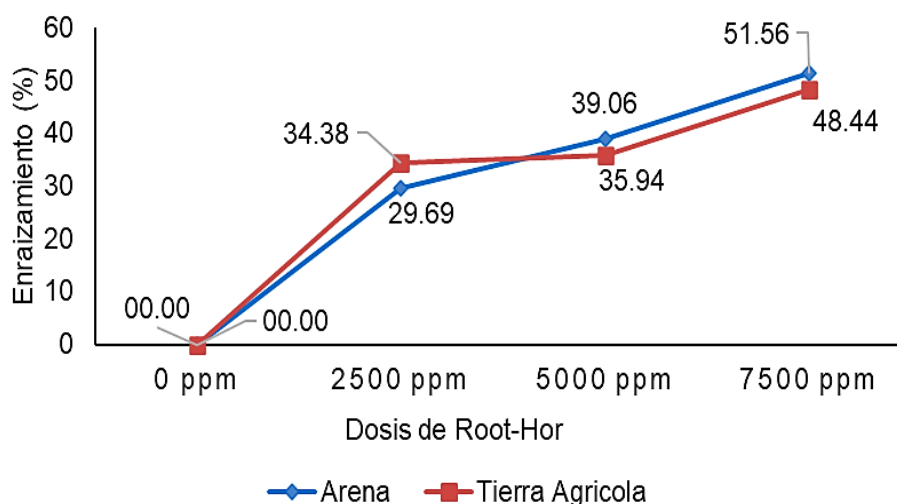
<b>Factores</b>		<b>Estacas enraizadas</b>		
<b>Tipo de sustrato (A)</b>				
a <sub>1</sub>	Arena	6,4	(2, 28) <sup>1/</sup>	a
a <sub>2</sub>	Tierra agrícola	6,3	(2, 27) <sup>1/</sup>	a
<b>Dosis de Root-hor (B)</b>				
b <sub>4</sub>	7 500 ppm	8.0	(3, 00) <sup>1/</sup>	a
b <sub>3</sub>	5 000 ppm	6.0	(2, 64) <sup>1/</sup>	b
b <sub>2</sub>	2 500 ppm	5.1	(2, 46) <sup>1/</sup>	b
b <sub>1</sub>	0 ppm (sin aplicación)	0.0	(1, 00) <sup>1/</sup>	c

<sup>1/</sup>Datos transformados a  $\sqrt{X+1}$ .

Promedios unidos por letras iguales. no se diferencian entre sí.

La disponibilidad de oxígeno (O<sub>2</sub>) que puede estar presente en la base del esqueje, donde se desarrollarán las raíces, está influenciada por la conexión entre el aire y el agua (porosidad) en el sustrato de enraizamiento, de acuerdo con Haissig (1986), por consiguiente, se puede inferir de que ambos sustratos si bien son diferentes ofrecieron las mismas condiciones para el enraizamiento.

Con relación al efecto principal de la dosis de Root-hor (B), en los sustratos usados en promedio, la dosis b<sub>4</sub> (7 500 ppm) presentó el más alto valor con 8 (51,56 %) de estacas enraizadas en promedio, siendo superior estadísticamente a las demás dosis de Root-hor. Las dosis b<sub>3</sub> (5 000 ppm) con 39 (1 %) y b<sub>2</sub> (2 500 ppm) con 34 (4 %) de estacas enraizadas, respectivamente, no mostraron diferencias estadísticas significativas, pero si fueron superiores al testigo (0 ppm), que no evidenció enraizamiento teniendo 0 (0 %) de estacas enraizadas. De esto podemos inferir que al aumentar la dosis de Root-hor también se aumenta el porcentaje de enraizamiento (Figura 2). La formación de brotes foliares y raíces adventicias en las estacas va a depender de la dosis y naturaleza de los componentes bioquímicos que se encuentren en los tejidos vegetales y de las relaciones anatómicas de sus tejidos (Rocha, 1998).



**Figura 2.** Porcentaje de enraizamiento de estacas de palto var. Criollo según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor

#### 4.2 Número de estacas brotadas (NEB)

En la tabla 7, los cuadrados medios del ANVA para NEB muestra diferencia estadística altamente significativa para dosis de Root-hor; pero no para tipo de sustrato, ni tampoco, para la interacción A x B (tipo de sustrato x dosis Root-hor). El CV de 20,95 %, indica una regular homogeneidad de las varianzas estimadas.

**Tabla 7.** Cuadrados medios y significación para el Número de estacas brotadas (NEB) de palto, var. Criollo.

Fuente de variabilidad	GL	Cuadrado medio	Significancia
Tratamiento	7	55, 3527	AS
A (Tipo de sustrato)	1	1, 5313	NS
B (Dosis de Root-hor)	3	127, 1979	AS
Interacción A x B	3	1, 4479	NS
Error experimental	24	2, 5729	
Total	31	449, 2188	

CV (%): 20, 95

AS: Significación estadística al 1% de probabilidad

NS: No existe diferencia estadística

En la Tabla 8, la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0, 05$ ) para el NEB, muestra que el T<sub>8</sub> (tierra agrícola + 7 500 ppm de Root-hor) con 11,0 estacas brotadas, no supera estadísticamente a los tratamientos T<sub>4</sub> (arena + 7 500 ppm de Root-hor), T<sub>3</sub> (arena + 5 000 ppm de Root-hor), T<sub>7</sub>

(tierra agrícola + 5 000 ppm de Root-hor) y T<sub>6</sub> (tierra agrícola + 2 500 ppm de Root-hor) con 10,75; 10, 25; 8,75 y 8,50 estacas brotadas; pero sí al resto de tratamientos. Los testigos T<sub>1</sub> (arena + 0 ppm de Root-hor) y T<sub>5</sub> (tierra agrícola + 0 ppm de Root-hor) con 2,25 y 1,50 de estacas brotadas, presentaron los menores resultados diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos.

**Tabla 8.** Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para el Número de estacas brotadas (NEB) de palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor

Trat.	Clave	Descripción	Brotación	
			Prom.	Significancia
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	Tierra agrícola + 7 500 ppm de Root-hor	11, 00 <sup>1/</sup>	a
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	Arena + 7 500 ppm de Root-hor	10, 75 <sup>1/</sup>	a b
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	Arena + 5 000 ppm de Root-hor	10, 25 <sup>1/</sup>	a b
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Tierra agrícola + 5 000 ppm de Root-hor	8, 75 <sup>1/</sup>	a b
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Tierra agrícola + 2 500 ppm de Root-hor	8, 50 <sup>1/</sup>	a b
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	Arena + 2 500 ppm de Root-hor	8, 25 <sup>1/</sup>	b
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	Arena + 0 ppm de Root-hor	2, 25 <sup>1/</sup>	c
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Tierra agrícola + 0 ppm de Root-hor	1, 50 <sup>1/</sup>	c

\* Datos transformados a  $\sqrt{X + 1}$ .

Promedios unidos por letras iguales, no se diferencian entre si

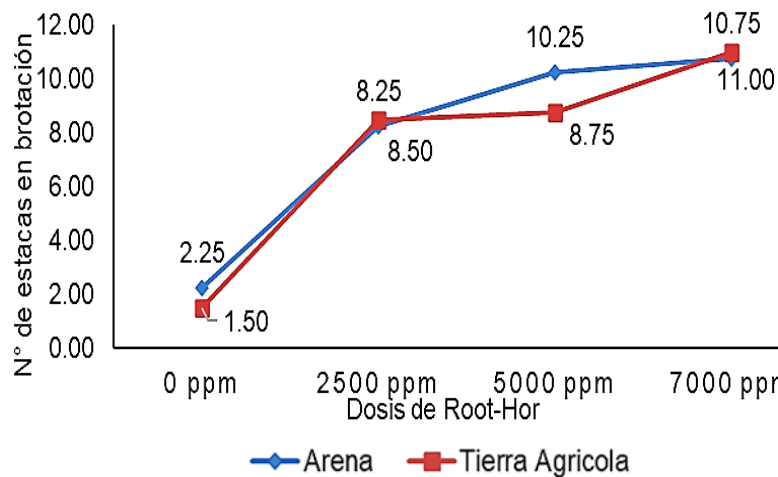
En la Tabla 9, la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para NEB, muestra para el efecto principal: tipo de sustrato (A), que en promedio de las dosis de Root-hor, el sustrato a<sub>1</sub> (arena) con 7,87 estacas brotadas, si bien fue ligeramente superior al sustrato a<sub>2</sub> (tierra agrícola) con 7,44 estacas brotadas; sin embargo, no fue estadísticamente superior. En cuanto al efecto principal: dosis de Root-hor (B), en promedio de los sustratos evaluados, la dosis b<sub>4</sub> (7 500 ppm) en arena, si bien tuvo el mayor NEB con 10,87 no se diferenció estadísticamente de b<sub>3</sub> (5 000 ppm) con 9,50 estacas brotadas; pero sí superior estadísticamente a b<sub>2</sub> (2 500 ppm) y al testigo b<sub>1</sub> (0 ppm) con 8,3 y 1,87 estacas brotadas, respectivamente.

**Tabla 9.** Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para los efectos principales del Número de estacas brotadas (NEB) de palto var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor

Factores		Promedio de estacas brotadas	
Tipo de sustrato (A)		brotadas	
a <sub>1</sub>	Arena	7, 875 <sup>1/</sup>	a
a <sub>2</sub>	Tierra agrícola	7, 437 <sup>1/</sup>	a
Dosis de Root-hor (B)			
b <sub>4</sub>	7 500 ppm	10, 875 <sup>1/</sup>	a
b <sub>3</sub>	5 000 ppm	9, 500 <sup>1/</sup>	a b
b <sub>2</sub>	2 500 ppm	8, 375 <sup>1/</sup>	b
b <sub>1</sub>	0 ppm	1, 875 <sup>1/</sup>	c

<sup>1/</sup> Datos transformados  $\sqrt{X + 1}$ .

Promedios unidos por letras iguales, no se diferencian entre si



**Figura 3.** Número de estacas brotadas (NEB) de palto var. Criollo según dosis de Root-hor en dos tipos de sustratos.

Con relación a estos resultados, Hartmann y Kester (1997) y Rojas et al. (2004), sostienen que las auxinas ayudan a la brotación foliar y enraizamiento pues son responsables de la síntesis de carbohidratos indispensables para la división celular de los nuevos brotes. La similar respuesta del número de brotes y el NEE evidenciaría que la presencia de primordios foliares estimula el desarrollo radicular por la fotosíntesis y la translocación de carbohidratos a la base de la estaca; así como, la producción de auxinas en las hojas que luego se transportarían a la base de la estaca en forma polar (Haissig, 1984).

### 4.3 Longitud de brotes (LOB)

En la tabla 10, los cuadrados medios del ANVA para LOB, muestran diferencias estadísticas significativas para tipo de sustrato y diferencias altamente significativas para dosis de Root-hor; sin embargo, la interacción A x B (tipo de sustrato x dosis de Root-hor), no hubo diferencias estadísticas significativas. El CV = 8,98 %, expresa una excelente homogeneidad entre las variancias.

**Tabla 10.** Cuadrados medios y significación estadística para la Longitud de brotes (LOB) de estacas de palto var. Criollo

Fuente de variabilidad	GL	Cuadrado medio	Significancia
Tratamientos	7	8,306	AS
A (Tipo de sustrato)	1	7,548	S
B (Dosis de Root-hor)	3	15,928	AS
Interacción A x B	3	0,936	NS
Error experimental	24	1,352	
Total	31	90,61	

CV (%): 8,98

AS: Significación estadística al 1% de probabilidad

NS: No existe diferencia estadística

La tabla 11 de la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para la LOB, muestra que el tratamiento T<sub>8</sub> con 14,79 cm de longitud promedio, si bien fue superior numéricamente a los demás tratamientos; sin embargo, no se diferenció estadísticamente de los tratamientos T<sub>4</sub>, T<sub>3</sub>, y T<sub>7</sub> que tuvieron longitudes promedias de brotes: 14,38; 14,04 y 13,53 cm; respectivamente. Por otro lado, los tratamientos T<sub>6</sub>, T<sub>2</sub>, T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub> presentaron valores menos favorables con promedios de 12,60; 11,85; 11,37 y 11,01 cm de LOB, respectivamente, no se diferenciaron estadísticamente entre sí.

Según la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ), el tratamiento T<sub>8</sub>, con 14,79 cm, numéricamente fue superior a los demás tratamientos, sin diferencias estadísticas significativas con los tratamientos T<sub>4</sub>, T<sub>3</sub> y T<sub>7</sub>, pero sí estadísticamente superior al resto de tratamientos incluyendo a los dos testigos. Con cualquiera de los sustratos ensayados (arena o tierra agrícola), la dosis de 7 500 ppm de Root-hor promovió mayores LOB comparado con la dosis más baja (2 500 ppm).

**Tabla 11.** Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para la Longitud de brotes (LOB) de las estacas de palto var. Criollo, según tipo de sustrato y dosis de Root-hor

Trat.	Clave	Descripción	Longitud de brotes	
			Prom.	Significancia
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	Tierra agrícola + 7 500 ppm	14,79 <sup>1/</sup>	a
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	Arena + 7 500 ppm	14,38 <sup>1/</sup>	a b
T <sub>3</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Tierra agrícola + 5 000 ppm	14,04 <sup>1/</sup>	a b
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Tierra agrícola + 2 500 ppm	13,53 <sup>1/</sup>	a b
T <sub>6</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	Arena + 5 000 ppm	12,60 <sup>1/</sup>	b c
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	Arena + 2 500 ppm	11,85 <sup>1/</sup>	c
T <sub>1</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Tierra agrícola + 0 ppm	11,37 <sup>1/</sup>	c
T <sub>5</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	Arena + 0 ppm	11,01 <sup>1/</sup>	c

<sup>1/</sup>Datos transformados a  $\sqrt{X+1}$ .

Promedios unidos por letras iguales, no se diferencian entre si

La tabla 12 de la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ), para el efecto principal tipo de sustrato (A), en promedio de las dosis de Root-hor, el sustrato a<sub>1</sub> (arena) con 13,43 cm de LOB, fue estadísticamente superior al sustrato a<sub>2</sub> (tierra agrícola) que tuvo una LOB promedio de 12,46 cm.

**Tabla 12.** Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para los efectos principales de Longitud de brotes (LOB) de estacas de palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor

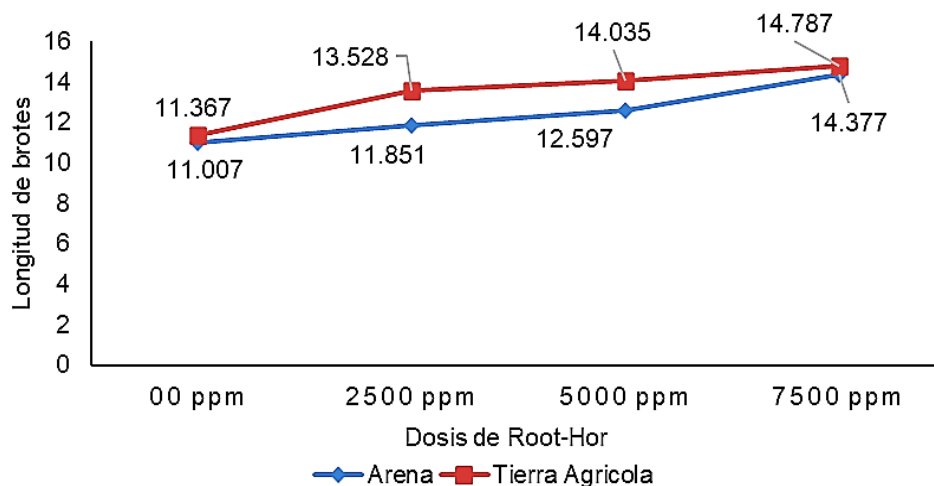
Factores	Longitud	significancia
<b>Tipo de sustrato (A)</b>		
a <sub>1</sub> Arena	13,43 <sup>1/</sup>	a
a <sub>2</sub> Tierra agrícola	12,46 <sup>1/</sup>	b
<b>Dosis de Root-hor (B)</b>		
b <sub>4</sub> 7 500 ppm	14,58 <sup>1/</sup>	a
b <sub>3</sub> 5 000 ppm	13,97 <sup>1/</sup>	a
b <sub>2</sub> 2 500 ppm	13,34 <sup>1/</sup>	a
b <sub>1</sub> 0 ppm	11,84 <sup>1/</sup>	b

<sup>1/</sup>Datos transformados a  $\sqrt{X+1}$ .

Promedios unidos por letras iguales. no se diferencian entre si

En cuanto al efecto principal: dosis de Root-hor (B), en promedio, de los sustratos evaluados, la dosis  $b_4$  (7 500 ppm) alcanzó una LOB de 14,58 cm, que, si bien presentó el más alto valor numérico, no fue estadísticamente superior a los tratamientos  $b_3$  (5 000 ppm) y  $b_2$  (2 500 ppm), que tuvieron en promedio: 13,97 cm y 13,34 cm, respectivamente, pero sí con el testigo  $b_1$  (0 ppm) que tuvo una longitud promedio de brote de 11,84 cm, diferenciándose estadísticamente de las demás dosis.

En la figura 4 se muestra los valores de la LOB de las estacas de palto, según el tipo de sustrato y diferentes dosis de Root-hor. Allí, se puede observar que existen diferencias entre ambos sustratos, teniendo el sustrato  $b_2$  (tierra agrícola) la mejor respuesta que el sustrato  $b_1$ .



**Figura 4.** Longitud de brotes (LOB) de las estacas de palto var. Criollo según el tipo de sustrato a diferentes dosis de Root-hor

#### 4.4 Número de raíces por estaca (NRE)

En la tabla 13, los cuadrados medios del ANVA para NRE muestran diferencias estadísticas altamente significativas para dosis de Root-hor; pero no para tipo de sustrato, ni tampoco, para la interacción A x B (tipo de sustrato x dosis de Root-hor). El CV de 4,89 %, expresa una excelente homogeneidad de las variancias.

**Tabla 13.** Cuadrados medios y significación estadística para Número de raíces por estaca (NRE) de palto var. Criollo

Fuente de variabilidad	GL	Cuadrado medio	Significancia
Tratamiento	7	2,902	AS
A (Tipo de sustrato)	1	0,017	NS
B (Dosis de Root-hor)	3	6,749	AS
Interacción A x B	3	0,016	NS
Error experimental	24	0,013	
Total	31	20,634	

CV (%): 4,89

AS: Significación estadística al 1% de probabilidad

NS: No existe diferencia estadística

La tabla 14 de la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para el NRE estaca muestra que entre el T<sub>4</sub> con 8,08 de raíces y el T<sub>3</sub> con 7,56 raíces, no existen diferencias estadísticas significativas; pero sí resultaron superiores estadísticamente a los demás tratamientos. Los tratamientos que no tuvieron respuesta alguna en esta variable fueron los testigos: T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub> con 0,0 raíces.

**Tabla 14.** Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) del Número de raíces por estaca (NRE) de palto var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor

Trat.	Clave	Descripción	Raíces por estaca	
			Promedio	Significancia
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	Arena + 7 500 ppm	8,08 (3,01) <sup>1/</sup>	a
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	Arena + 5 000 ppm	7,56 (2,92) <sup>1/</sup>	a b
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	Tierra agrícola + 7 500 ppm	7,40 (2,90) <sup>1/</sup>	b
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Tierra agrícola + 5 000 ppm	6,83 (2,80) <sup>1/</sup>	b c
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Tierra agrícola + 2 500 ppm	6,13 (2,67) <sup>1/</sup>	c d
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	Arena + 2 500 ppm	5,83 (2,61) <sup>1/</sup>	d
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	Arena + 0 ppm	0,00 (1,00) <sup>1/</sup>	e
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Tierra agrícola + 0 ppm	0,00 (1,00) <sup>1/</sup>	e

<sup>1/</sup>Datos transformados a  $\sqrt{X+1}$ .

Promedios unidos por letras iguales, no se diferencian entre si

En la tabla 15, según la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ), para el efecto principal tipo de sustrato (A), no se encontró diferencias significativas, es decir, en promedio de las dosis de Root-hor, el sustrato a<sub>1</sub> (arena) con 6,42 raíces por estaca fue igual al sustrato a<sub>2</sub> (tierra agrícola) con 6,33 raíces por estaca. Si bien el crecimiento y morfología de las raíces depende del control genético; sin embargo, también influye el entorno edáfico, por lo que se puede atribuir a que ambos sustratos, en forma individual o en interacción con el genotipo de la estaca, determina el número de raíces y su elongación (Salisbury y Ross, 1992).

**Tabla 15.** Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para los efectos principales del Número de raíces por estaca (NRE) de palto, var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor

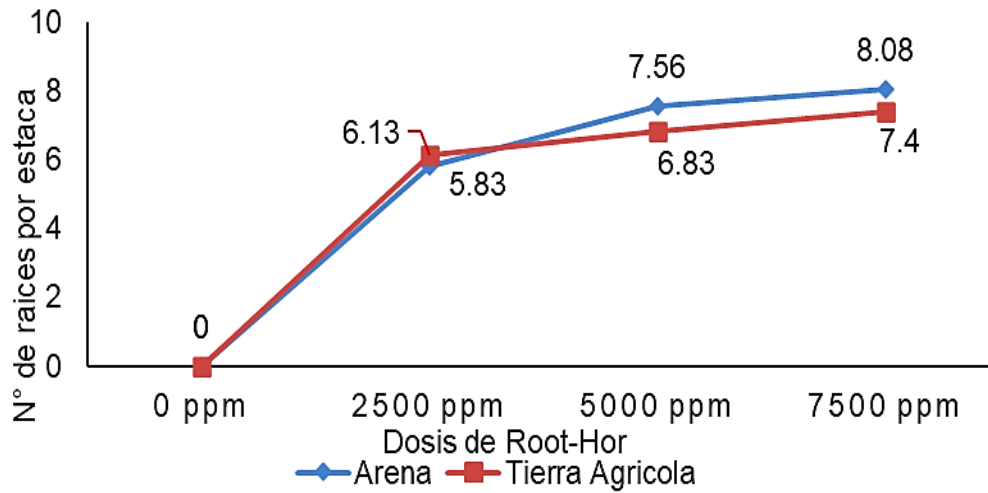
<b>Factores</b>		<b>Promedio de raíces por estaca</b>		
<b>Tipo de sustrato (A)</b>				
a <sub>1</sub>	Arena	6,42	(2,39) <sup>1/</sup>	a
a <sub>2</sub>	Tierra agrícola	6,33	(2,34) <sup>1/</sup>	a
<b>Dosis de Root-hor (B)</b>				
b <sub>4</sub>	7 500 ppm	7,74	(2,96) <sup>1/</sup>	a
b <sub>3</sub>	5 000 ppm	7,20	(2,86) <sup>1/</sup>	a
b <sub>2</sub>	2 500 ppm	5,98	(2,64) <sup>1/</sup>	b
b <sub>1</sub>	0 ppm	0,00	(1,00) <sup>1/</sup>	c

<sup>1/</sup> Datos transformados a  $\sqrt{X+1}$ .

Promedios unidos por letras iguales, no se diferencian entre si

De la tabla 15, con relación al efecto principal: dosis de Root-hor (B) en promedio de los sustratos evaluados, si bien la dosis b<sub>4</sub> (7 500 ppm) con 7,74 raíces, no se diferenció estadísticamente de b<sub>3</sub> (5 000 ppm) que tuvo 7,20 raíces por estaca; sin embargo, estos dos tratamientos se diferenciaron estadísticamente de b<sub>2</sub> (2 500 ppm) y del testigo b<sub>1</sub> (0 ppm) que no tuvo ninguna raíz por estaca (figura 5). Strasburger (1994), corrobora este resultado al sostener que, utilizando altas concentraciones de auxinas, éstas estimulan el inicio y la proliferación radicular promoviendo la expansión simultánea de las microfibrillas de celulosa en las raíces.

Es probable que el factor humedad asociado al suelo pueda tener un efecto modificador del área de la superficie de la raíz, su sobrevivencia y desarrollo; habiendo un efecto de alargamiento de las raíces, pero no en su diferenciación. Es más, el nivel de O<sub>2</sub> y textura el suelo, la concentración de CO<sub>2</sub>, y la luz, son también importantes (Hartmann y Kester, 1997).



**Figura 5.** Número de raíces por estacas (NRE) de palto var. Criollo, según la dosis de Root-hor en dos tipos de sustrato

#### 4.5. Materia seca de las raíces (MSR)

En la tabla 16, los cuadrados medios del ANVA para MSR, no hubo diferencias estadísticas significativas para tipo de sustrato; pero sí diferencias altamente significativas para las dosis de Root-hor. La interacción A x B (tipo de sustrato x dosis de Root-hor), tampoco mostró diferencias estadísticas significativas. El CV de 13,35 %, indica una muy buena homogeneidad de variancias.

**Tabla 16.** Cuadrados medios y significación estadística de la Materia seca de las raíces (MSR) del palto, var, Criollo.

Fuente de variabilidad	GL	Cuadrado medio	Significancia
Tratamiento	7	84,9232	AS
A (Tipo de sustrato)	1	0,1464	NS
B (Dosis de Root-hor)	3	198,0884	AS
Interacción A x B	3	0,0169	NS
Error experimental	24	1,2705	
Total	31	624,954	

CV (%): 13,35

AS: Significación estadística al 1% de probabilidad

NS: No existe diferencia estadística

En la tabla 17, la prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para la MSR, muestra que el T<sub>4</sub> con 132 mg, si bien superó numéricamente a los demás tratamientos, no se diferenci

estadísticamente de los tratamientos T<sub>8</sub>, T<sub>3</sub>, T<sub>7</sub>, T<sub>2</sub> y T<sub>6</sub> que tuvieron contenidos de materia seca de 127, 124, 119, 110 y 106 mg, respectivamente. Los tratamientos testigos (T<sub>1</sub> y T<sub>5</sub>) no tuvieron MSR al no presentar raíces en las estacas; por tanto, fue evidente el efecto diferencial de las dosis de Root-hor en la acumulación de MSR.

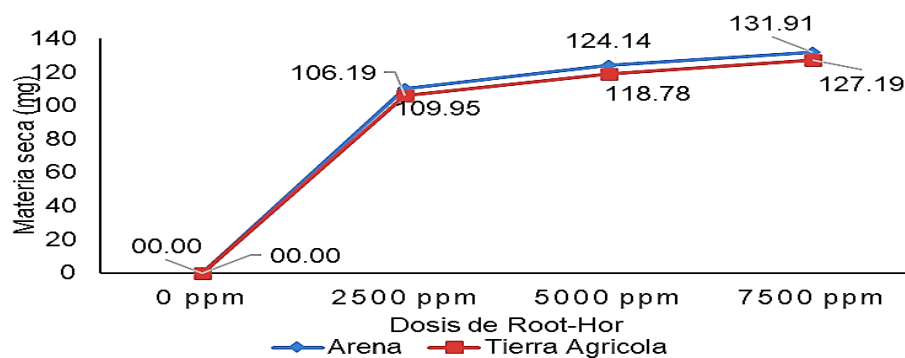
**Tabla 17.** Prueba de Duncan ( $\alpha \leq 0,05$ ) para la Materia seca de las raíces (MSR) del palto var. Criollo, según el tipo de sustrato y dosis de Root-hor

Trat.	Clave	Descripción	Materia seca		Significación
			(mg)		
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	Arena + 7 500 ppm	132,00	11,45 <sup>1/</sup>	a
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	Tierra agrícola+ 7 500 ppm	127,00	11,25 <sup>1/</sup>	a
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	Arena+ 5 000 ppm	124,00	11,11 <sup>1/</sup>	a
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	Tierra agrícola+ 5 000 ppm	119,00	10,93 <sup>1/</sup>	a
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	Arena + 2 500 ppm	110,00	10,47 <sup>1/</sup>	a
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	Tierra agrícola+ 2 500 ppm	106,00	10,31 <sup>1/</sup>	a
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	Arena + 0 ppm	0,00	1,00 <sup>1/</sup>	b
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	Tierra agrícola + 0 ppm	0,00	1,00 <sup>1/</sup>	b

<sup>1/</sup> Datos transformados a  $\sqrt{X} + 1$ .

Promedios unidos por letras iguales, no se diferencian entre si

Se ha reportado que los niveles de auxinas exógenas en cultivos de raíces estimulan la formación de raíces laterales y la velocidad de elongación, por lo que es posible afirmar que las mayores dosis de Root-hor tuvieron una relación directamente proporcional con la elongación radicular y la MSR (Rocha, 1998). En la figura 6, se presenta el MSR (mg) del palto var. Criollo, según las dosis de Root-hor y tipos de sustrato usados.



**Figura 6.** Contenido de Materia seca de las raíces (MSR) del palto var. Criollo, según las dosis de Root-hor y tipos de sustrato.

## V. CONCLUSIONES

1. En el factor dosis de Root-hor, la dosis  $b_4$  (7 500 ppm) tuvo la mejor respuesta de enraizamiento de estacas de palto, lográndose 51,56 % de las estacas enraizadas (NEE) como efecto principal (dosis de Root-hor), diferenciándose estadísticamente de las demás dosis. Similares respuestas se obtuvieron en las variables: número de estacas brotadas (NEB), longitud de brotes (LOB), número de raíces por estaca (NRE) y materia seca radicular (MSR).
2. En el factor sustrato: arena ( $a_1$ ) y tierra agrícola ( $a_2$ ), no hubo diferencias estadísticas significativas en la variable NEE de palto; así como, en las variables: NRE y MSR; sin embargo, sí hubo para LOB donde la arena ( $a_1$ ) con 13,43 cm fue estadísticamente superior a la tierra agrícola ( $a_2$ ) con 12,46 cm.
3. Las mejores respuestas en las interacciones: tipo de sustrato x dosis de Root-hor en el enraizamiento del palto, se obtuvieron con los tratamientos  $T_4$  (arena + 7 500 ppm) y  $T_8$  (tierra agrícola + 7 500 ppm) para las variables: NEE, NEB, LOB y MSR. En cambio, el  $T_4$ , mantuvo el primer lugar y sin diferencias estadísticas significativas con el  $T_3$  (arena + 5 000 ppm) para la variable: NRE.

## VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Para el logro de mejores resultados, se recomienda aplicar 7 500 ppm de Root-hor, para número de estacas enraizadas (NEE) y número de raíces por estaca (NRE); pudiéndose ensayar una dosis mayor (10 000 ppm) que es usada en otros frutales.
2. Si bien se puede usase cualquiera de los sustratos (arena y/o tierra agrícola), se recomienda el sustrato arena porque la mayor porosidad proporciona mayor aireación y evita la multiplicación del hongo radicular *P. cinnamomi* que pudre las raíces, y/o utilizar una proporción 2: 1 tierra: arena, como resultado de investigaciones posteriores.
3. Se puede ensayar combinaciones de enraizadores auxínicos manteniendo el balance hormonal y combinados con tratamientos de etiolación y anillado de la base de la estaca, para incrementar el porcentaje de estacas enraizadas de palto.

## VII. REFERENCIAS

- Alache, J. (1997). *El cultivo del palto en Chile*. Universidad Nacional de Santiago de Chile. (1° ed.). Editorial Santiago.
- Álvarez de la Peña. (2005). *El cultivo del Aguacate*. (1° ed.). Editorial. Musigraf Arabi. <https://dicta.gob.hn/files/2005,-El-cultivo-del-aguacate,-G.pdf>
- Avilán, L. (1982). La fruticultura contemporánea. *Fonaiap*, 1(1), 31-39.
- Bandaralage, J., Hayward, A., O'Brien, C. y Mitter, N. (2015, 18 de setiembre). Gibberellin and cytokinin in synergy for a rapid nodal multiplication system of avocado [congreso]. *Proceedings of the World Avocado Congress VIII*, 13-18 September 2015, 95-98. Lima, Perú. [http://www.avocadosource.com/WAC8/Section\\_02/HitiBandaralageJCA2015](http://www.avocadosource.com/WAC8/Section_02/HitiBandaralageJCA2015).
- Ben-Ya'acov, A. y Zilberstaine, M. (1999). Clonal avocado (*Persea americana* Mill.) rootstocks in Israel. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5: 39-42.
- Botti, C. (1999). *Principios de la propagación y técnicas de propagación por estacas. Manejo tecnificado de invernaderos y propagación de plantas*. Dpto. de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. (1° ed.). Editorial Santiago.
- Campos, H. (2015). *Influencia de los sustratos orgánicos en el mejoramiento de la germinación de las semillas y crecimiento inicial de plántulas de palto (Persea americana Mill.) var. Mexicana, bajo condiciones de campos agrícolas de la Cantuta*. [Tesis de Licenciatura en Educación, especialidad de Agropecuaria]. Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán y Valle. Lima, Perú.
- Comercial Andina Industrial S.A.C. 2018. *Ficha Técnica Root-hor*. [http://grupoandina.com.pe/media/uploads/ficha\\_tecnica/root-hor-\\_ficha\\_tecnica.pdf](http://grupoandina.com.pe/media/uploads/ficha_tecnica/root-hor-_ficha_tecnica.pdf)
- Cuculiza, P. (1956). *Propagación de plantas*. Lima. Perú. (1° ed.). Editorial Talleres Gráficos S.A
- De Villiers, A. y Ernst, A. (2015, 18 de setiembre). Avocado rootstock research: principles and practices. [congreso]. *Actas del Congreso Mundial de la Palta*, 8. Lima, Perú. [https://www.avocadosource.com/WAC8/WAC8\\_TOC.htm](https://www.avocadosource.com/WAC8/WAC8_TOC.htm)
- Ernst, A., Whiley, A., y Bender, G. (2013). *Propagation*. In: *The Avocado. Botany, Production and Uses*. B. Schaffer, N. Wolstenholme and A. Whiley (eds.). CABI.

- Oxfordshire, UK. pp:234-267.  
<https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781845937010.0000>
- Ernst, A.A. (1999). Micro cloning: a multiple cloning technique for avocados using micro containers. *Revista Chapingo. Serie: Horticultura.* 5, 217-220.  
[http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4\\_p217.pdf](http://www.avocadosource.com/WAC4/WAC4_p217.pdf)
- Escobedo, V. y Escobedo, J. (2015, 18 de septiembre,). Propagación clonal de palto ‘Duke’ (*Persea americana* Mill.) utilizando esquejes con callos y raíces preformadas em su base estiolada y cámaras húmedas individuales. [congreso]. *Actas del Congreso Mundial de la Palta*, 8. Lima, Perú.
- Fanego, A. (2006). *Aportes a la metodología de la propagación de Boungainvillea glabra*. [Tesis de Máster en Ciencias Agrícolas]. Universidad Agraria de la Habana.
- Franciosi, R. (1992). *El cultivo del palto en el Perú*. (1° ed.). Editorial Fundeagro.
- Freire-Alberti, M., DO Amaral-Brogio, B., Rodríguez DA Silva, S., Cantuarias-Avilé, T y Fassio, C. (2017). Avances en la propagación del aguacate. *Revista. Brasileira. Fruticultura.* 40(6), 1/18. <http://dx.doi.org/10.1590/0100-29452018782>
- Galindo-Tovar, M., Ogata-Aguilar, N. y Arzate-Fernández, A. (2008). Some aspects of avocado (*Persea americana* Mill.). Diversity and domestication in Mesoamerica. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55,441-50.  
<https://doi.org/10.1007/s10722-007-9250-5>
- Gallego, E. (2003). Algunos aspectos del aguacate y su producción en Michoacán. (1° ed.). Editorial *Gaceta*.
- Gillespie, J (1957). Stem-rotting varietal clones by means of “juvenility growth phase” leafy stem nurse cutting. *California Avocado Society*, 41, 94-96.
- Gleeson, M., Hayward, A., Beveridge, C., Carroll, B., y Mitter, N. (2015, 18 de septiembre). Micro-RNA regulation of avocado adventitious rooting for clonal rootstock propagation. [congreso]. *Actas del Congreso Mundial de la Palta*, 8. Lima, Perú.  
[https://www.avocadosource.com/WAC8/WAC8\\_TOC.htm](https://www.avocadosource.com/WAC8/WAC8_TOC.htm)
- Gutiérrez, M. (2003). *Propagación del burío (Heliocarpus appendiculatus Turcz.) por semillas, estacas y acodos*. [Tesis de Máster] Turrialba, Costa Rica. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Repositorio institucional  
<http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A0315e/A0315e.pdf#pagemode=bookma>)

- Gutiérrez, B. (1995). Consideraciones sobre la fisiología y el estado de madurez en el enraizamiento de estacas de especies forestales. *Ciencias e Investigación Forestal*. (pp. 261 – 277). Editorial *Santiago*.
- Haissig, B. (1984). Carbohydrate accumulation and partitioning in *Pinus banksiana* seedlings and seedling cuttings. *Physiologia Plantarum*, 61(1), 13-19. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1984.tb06093.x>
- Harler, C. R. (1966). *Tea Growing*. Editorial. Oxford. University Press London (Gran Bretaña).
- Hartmann, T. y Kester, E. (1997). *Propagación de plantas: principios y prácticas*. (2° ed.). Editorial Continental. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/45969/mod\\_resource/content/1/Propagacion%20de%20plantas.pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/45969/mod_resource/content/1/Propagacion%20de%20plantas.pdf)
- Hiti-Bandaralage, J., Hayward, A. y Mitter, N. (2017) Micropropagation of avocado (*Persea americana* Mill.). *American Journal of Plant Sciences*, (8), 2898-2921. <https://doi.org/10.4236/ajps.2017.811197>
- Kadman, A. and Ben Ya'acov, A. (1965). A review of experiments on some factors influencing the rooting of avocado cuttings. *California Avocado Society Yearbook* 49, 67-72.
- Krezdorn, A. y Marte, D. (1976). Advances in rooting avocados. *Florida state horticultural society*, 89, 261-263.
- Lemus, G., Ferreyra, E., Gil, P., Sepúlveda, P., Maldonado, P., Toledo, C., Barrera, C. y Celedón, J. (2010). *El cultivo de palto*. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chile. Boletín INIA N° 129. Santiago de Chile, Chile. p. 10 - 11.
- León, J. (1987). *Botánica de los cultivos tropicales*. (2° ed.). Editorial IICA. San José, Costa Rica.
- Ministerio de Agricultura (2008). *Estudio de la palta en el Perú y el mundo*. Dirección General de Información Agraria – Ministerio de Agricultura (MINAG). Lima, Perú.
- Miranda, C. (1994). *El cultivo del palto*. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Mora, T. y Morales, G. (2013). *El aguacate y su manejo integrado*. Perú.
- Petry, H., Ferreira, B., Koller, O., Silva, V. y Schwarz, S. (2012). Propagação de abacateiro via estacas estioladas. Campinas. *Bragantia*, 71 (1), 15-20

- Pierce, H.F. (1959). The nutritional value of the avocado. *California Avocado Society Team Book*, 43, 83-85.  
[http://avocadosource.com/CAS\\_Yearbooks/CAS\\_43\\_1959/CAS\\_1959\\_PG\\_83-85.pdf](http://avocadosource.com/CAS_Yearbooks/CAS_43_1959/CAS_1959_PG_83-85.pdf)
- Reuveni, O. y Raviv, M. (1980). Importance of leaf retention to rooting of avocado cuttings. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 106 (2), 127-130.
- Rocha, G. (1998). *Hagamos nuestras plantas: manual de propagación de plantas*. (2° ed.). Editorial Ateneo.
- Rodríguez, A.C. (2003). *Implementación de las técnicas de etiolación y acodo y microclonación en paltos (Persea americana Mill)*. [Tesis de pregrado]. Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Escuela de Agronomía.
- Rodríguez, F. (1982). El aguacate. A. G. T. Editor. México.
- Rojas, G. y Ramírez, H. (1993). Control hormonal del desarrollo de las plantas: Fisiología-Tecnología - Experimentación. (2 ed.) Editorial. Limusa.  
[https://books.google.com.pe/books/about/Control\\_hormonal\\_del\\_desarrollo\\_de\\_la\\_s\\_p.html?id=qVTASQAACAAJ&redir\\_esc=y](https://books.google.com.pe/books/about/Control_hormonal_del_desarrollo_de_la_s_p.html?id=qVTASQAACAAJ&redir_esc=y)
- Rojas, S., García, J. y Alarcón, M. (2004). *Propagación asexual de plantas. Conceptos básicos y experiencias con especies amazónicas*. CORPOICA/PRONATA/MADR. Editorial ProduMedios.  
[https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17056/41359\\_27553.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/17056/41359_27553.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Salazar, S., Velasco, J.J., Medina, R. y Gómez, J.R. (2004). Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. II. Respuesta al enraizamiento mediante acodos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 27(2), 183-190.
- Salisbury, F.B. y Ross, C.W. (1992). *Fisiología Vegetal*. Editorial. Iberoamérica.  
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/fisiologiavegetalbidwell.pdf>
- Scora, W. and Bergh, B. (1990). The origins and taxonomy of avocado (*Persea americana* Mill.) Lauraceae. *Acta Horticultural*, 275(1), 387 - 394.
- Schaffer, B.A., Gil, P.M., Mickelbart, M.V., Whiley, A.W. (2013). *Ecophysiology*. Schaffer, B.A., Wolstenholme, B.N., Whiley, A.W. The avocado: botany, productions and uses. (2° ed.) Homestead: CABI.
- Sevilla, H. (2004). Recursos genéticos vegetales. Editorial. TORRE AZUL SAC. Lima, Perú.

- Silva, T. y Ledesma, N. (2014). Avocado history, biodiversity, and production. Nandwani, D., Editorial Sustainable Horticultural Systems, Sustainable Development and Biodiversity, Springer International Publishing, Switzerland. [http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-06904-3\\_8](http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-06904-3_8).
- Solórzano, V. (2009). *Estudio de propagación clonal por esquejes del portainjerto de palto 'Duke' (Persea americana Mill.) utilizando brotes etiolados y cámaras húmedas individuales*. [Tesis Ingeniero Agrónomo]. Universidad Nacional Agraria-La Molina, Perú.
- Strasburguer, E. (1994). *Tratado de botánica*. (8 ed.) Editorial. Omega. <https://es.calameo.com/read/005885851f24884aa2cce>
- Taiz, L. y Zeiger, E. (1998). *Fisiología vegetal*. (3 ed.) Editorial Sinauer Associates. <https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/PlantPhysiologyTaiz2002.pdf>
- Vivanco, J. (2009). *Evaluación de la eficiencia del Bioplus y Hormonagro enraizador universal, en la propagación asexual de Hypericum spp.* [Tesis Ingeniero Agrónomo]. Escuela Superior Politécnica Chimborazo, Facultad Ciencias Agropecuarias.
- Vozmediano, J. (1997). Fruticultura; fisiología y ecología del árbol frutal y tecnología aplicada. *Servicio de Publicidad Agrarias*.
- Weaver, R. (1972). *Plant growth substances in agriculture*. Freeman, San Francisco. USA.

**VIII. ANEXO**

**Tabla. 18** Datos originales del número de estacas enraizadas evaluado a los 150 días.

<b>Tratamiento</b>	<b>Clave</b>	<b>r1</b>	<b>r2</b>	<b>r3</b>	<b>r4</b>	<b>Promedio</b>
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	0	0	0	0	0,00
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	4	3	6	6	4,75
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	6	6	5	8	6,25
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	9	9	8	7	8,25
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	0	0	0	0	0,00
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	4	5	7	6	5,50
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	5	6	5	7	5,75
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	7	7	9	8	7,75

**Tabla 19.** Datos originales del número de estacas brotadas evaluado a los 150 días.

<b>Tratamiento</b>	<b>Clave</b>	<b>r1</b>	<b>r2</b>	<b>r3</b>	<b>r4</b>	<b>Promedio</b>
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	2	1	4	2	2.25
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	7	6	11	9	8.25
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	9	14	8	10	10.25
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	12	11	11	9	10.75
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	2	0	1	3	1.5
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	7	8	10	9	8.5
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	8	9	8	10	8.75
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	10	10	12	12	11

**Tabla 20.** Datos originales de la longitud de brotes (cm) evaluado a los 150 días.

<b>Tratamiento</b>	<b>Clave</b>	<b>r<sub>1</sub></b>	<b>r<sub>2</sub></b>	<b>r<sub>3</sub></b>	<b>r<sub>4</sub></b>	<b>Promedio</b>
T <sub>1</sub>	a1b1	12,20	8,20	10,70	12,93	11,01
T <sub>2</sub>	a1b2	12,84	9,96	11,30	13,30	11,85
T <sub>3</sub>	a1b3	12,86	12,16	13,57	11,80	12,60
T <sub>4</sub>	a1b4	15,60	14,25	14,10	13,56	14,38
T <sub>5</sub>	a2b1	12,21	11,14	9,62	12,50	11,37
T <sub>6</sub>	a2b2	13,51	13,50	14,30	12,80	13,53
T <sub>7</sub>	a2b3	13,24	14,20	14,60	14,10	14,04
T <sub>8</sub>	a2b4	14,89	15,60	14,26	14,40	14,79

**Tabla 21.** Datos originales del número raíces por estacas evaluado a los 150 días

<b>Tratamiento</b>	<b>Clave</b>	<b>r<sub>1</sub></b>	<b>r<sub>2</sub></b>	<b>r<sub>3</sub></b>	<b>r<sub>4</sub></b>	<b>Promedio</b>
T <sub>1</sub>	a1b1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T <sub>2</sub>	a1b2	5,00	7,33	5,00	6,00	5,83
T <sub>3</sub>	a1b3	7,25	8,00	6,50	8,50	7,56
T <sub>4</sub>	a1b4	8,00	8,33	7,75	8,25	8,08
T <sub>5</sub>	a2b1	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T <sub>6</sub>	a2b2	5,50	7,00	6,50	5,50	6,13
T <sub>7</sub>	a2b3	5,75	7,33	7,00	7,25	6,83
T <sub>8</sub>	a2b4	7,75	7,33	7,25	7,25	7,40



**Figura 7.** Estacas brotadas con 7 500 ppm de Root-hor en el sustrato arena a los 150 días.



**Figura 8.** Estacas con callos con 2 500 ppm de Root-hor en el sustrato arena a los 150 días.



**Figura 9.** Estaca enraizada con 2 500 ppm de Root-hor en sustrato tierra agrícola a 150 d.



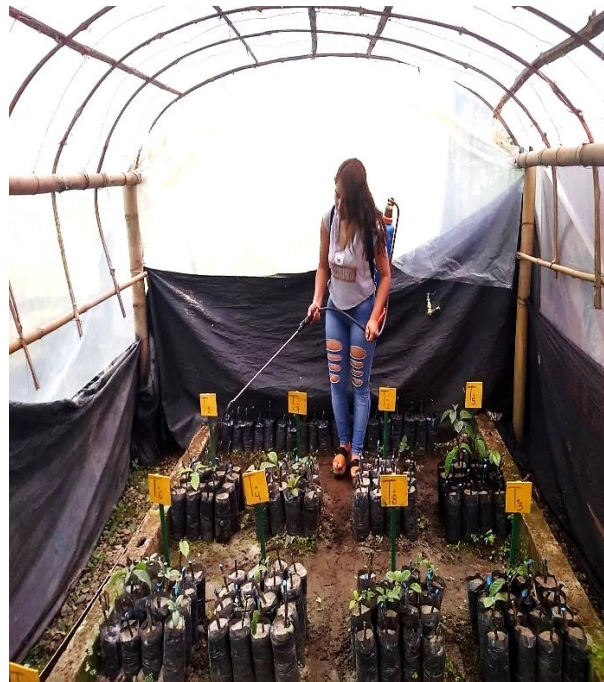
**Figura 10.** Estaca enraizada con 7 500 ppm de Rooth-or en sustrato arena a los 150 días.



**Figura 11.** Evaluación de la materia seca radicular a los 150 días del experimento.



**Figura 12.** Visita del Asesor y Presidente del Jurado al área experimental.

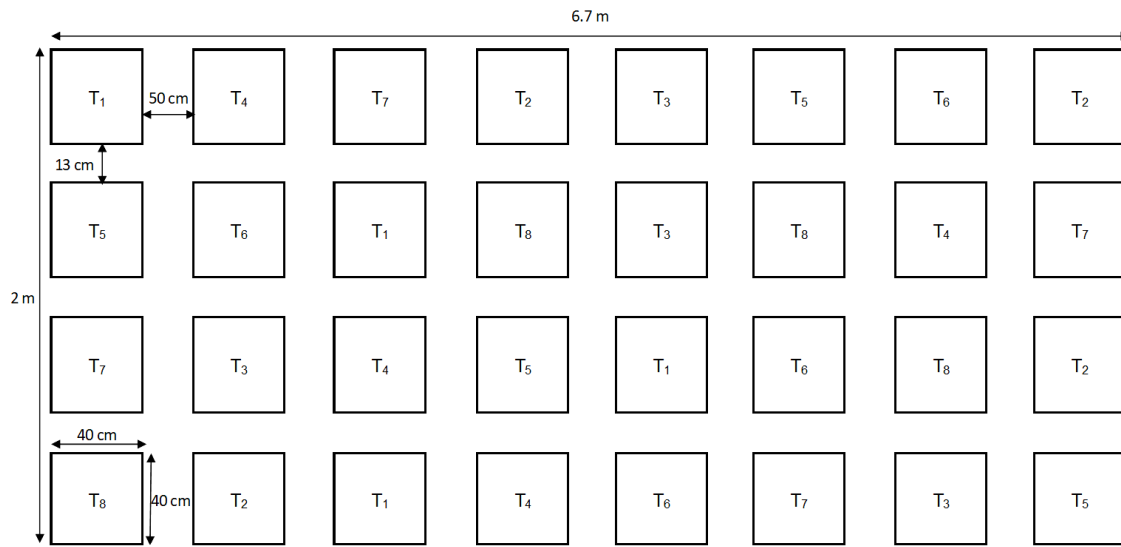


**Figura 13.** Riegos oportunos durante la ejecución del experimento.



**Figura 14.** Preparación de la solución de Root-hor a 2 500, 5 000 y 7 500 ppm





**Figura 17.** Croquis del área experimental con los tratamientos.