

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**Departamento Académico de Ciencias Agrarias**



**“PROPAGACIÓN VEGETATIVA DE CACAO  
(*Theobroma cacao* L.) CON DOS TIPOS DE ESTACAS Y  
CUATRO DOSIS DE ÁCIDO INDOLBUTÍRICO (AIB) EN  
CÁMARA DE SUBIRRIGACIÓN EN TINGO MARÍA”**

***TESIS***

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**EPIFANIO REYES AQUINO**

**Tingo María – Perú**

**2014**

## DEDICATORIA

A Dios por haberme dado la vida para lograr mis objetivos y por permitirme llegar hasta este punto, además de mostrarme su infinita bondad y amor.

A mi madre Gumercinda Aquino Ayala con todo mi cariño y amor por hacer todo en la vida para que yo pueda lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano cuando sentía que el camino se terminaba, por confiar en mí, inculcarme espíritu de superación y comprender mis errores.

A mi hermano Reemo Reyes Aquino, por su constante labor inexplicable para mi superación personal, porque siempre me ha apoyado incondicionalmente.

A Nelly Sedano Quispe por tu paciencia y comprensión, por tu bondad y sacrificio que me inspira a ser mejor para ti, ahora puedo decir que esta tesis lleva mucho de ti, gracias por estar siempre a mi lado.

## **AGRADECIMIENTO**

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a los docentes de la Facultad de Agronomía que contribuyeron a mi formación profesional.
- Al Ing. Agrónomo Jaime Joseph Chávez Matías, asesor del presente trabajo, por su valiosa dirección y supervisión de la presente tesis.
- A los miembros del jurado de tesis: M.Sc. Jorge L. Adriazola del Águila, Ing. Agr. Carlos M. Miranda Armas e M.Sc. Fernando S. Gonzales Huiman, por su apoyo incondicional.
- A mis amigos y compañeros de trabajo: Deyver Salgado Veramendi, Yanet Beraun Cruz, Carlos Jiménez Serna, Edith Albornoz Albornoz, Luis Montalgo Chamba, Dan Arostegui Estela y Cristhian Carrasco Sancarranco; quienes me brindaron su apoyo en la realización de la tesis.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
I. INTRODUCCIÓN.....	11
II. REVISIÓN DE LITERATURA .....	13
2.1. Propagación vegetativa del cacao .....	13
2.2. Propagación vegetativa a través de estacas.....	14
2.2.1. Bases fisiológicas de la propagación vegetativa a través de estacas .....	17
2.2.2. Factores abióticos que acondicionan el enraizamiento de estacas .....	22
2.3.2.1. Efecto de luz .....	22
2.3.2.2. Efecto de la temperatura ambiental .....	24
2.3.5.3. Efecto del medio de enraizamiento.....	26
2.3.2.4. Efecto de la humedad relativa .....	28
2.3.2.5. Efecto de reguladores de crecimiento.....	30
2.2.2. Factores bióticos que acondicionan el enraizamiento de estacas .....	35
2.3.3.1. Edad de la planta madre.....	35
2.3.3.2. Sección de la planta madre para la obtención de estacas.....	36
2.3.3.3. Superficie foliar de la estaca .....	37
2.3. Sistemas de propagación.....	38
2.4. El propagador de subirrigación.....	39
2.5. Antecedentes de la propagación por estacas en cacao .....	40
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	45
3.1. Ubicación del campo experimental.....	45

3.2. Campo experimental .....	45
3.2.1. Condiciones climáticas .....	45
3.2.2. Cámara de enraizamiento.....	46
3.2.3. Características del área de propagación .....	46
3.3. Factores evaluados .....	46
3.3.1. Evaluación de enraizamiento (%) .....	47
3.3.2. Evaluación del número de raíces.....	47
3.3.3. Evaluación de la longitud de raíz (cm).....	47
3.3.4. Evaluación de brotación (%).....	47
3.3.5. Evaluación de defoliación (%).....	48
3.3.6. Evaluación de la mortalidad (%) .....	48
3.4. Componentes en estudio.....	48
3.4.1. Material vegetativo.....	48
3.4.2. Factores y niveles de estudio .....	48
3.4.3. Tratamientos en estudio .....	49
3.5. Diseño experimental.....	49
3.5.1. Modelo aditivo lineal .....	50
3.5.2. Análisis de varianza.....	51
3.6. Características de las unidades experimentales .....	51
3.6.1. Cámara de propagación .....	51
3.6.2. Experimento.....	52
3.7. Procedimiento experimental.....	52
3.7.1. Construcción e implementación del propagador de subirri- gación .....	52
3.7.2. Construcción e implementación del vivero.....	52
3.7.3. Colecta y acondicionamiento del material vegetativo .....	53

3.7.4. Traslado y almacenamiento del material vegetativo .....	53
3.7.5. Preparación y establecimiento de estacas.....	53
3.7.6. Equipos de medición ambientales .....	54
3.7.7. Manejo del propagador de subirrigación.....	54
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	55
4.1. Porcentaje de enraizamiento.....	55
4.2. Numero de raíces.....	62
4.3. Longitud de raíz (cm) .....	68
4.4. Porcentaje de brotación(%).....	73
4.5. Porcentaje de defoliación (%).....	77
4.6. Porcentaje de mortalidad (%) .....	82
V. CONCLUSIONES.....	86
VI. RECOMENDACIONES.....	87
VII. RESUMEN.....	88
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	90
XI. ANEXO .....	103

## ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
1. Datos climatológicos de enero a abril del 2012, correspondientes al periodo experimental .....	45
2. Descripción de los tratamientos en estudio .....	49
3. Esquema del análisis de varianza .....	51
4. Análisis de varianza del porcentaje de enraizamiento evaluado a los 80 días. Datos transformados a $\arcsen \sqrt{\%}$ .....	55
5. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al porcentaje de enraizamiento evaluado a los 80 días.....	57
6. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos principales (A) y (B) en el porcentaje de enraizamiento evaluado a los 80 días.....	58
7. Análisis de varianza del número de raíces por estacas evaluado a los 80 días. Datos transformados a $\sqrt{(x + 1)}$ .....	62
8. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al número de raíces por estaca evaluado a los 80 días.....	64
9. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos principales (A) y (B) en el número de raíces por estaca evaluado a los 80 días .....	66
10. Análisis de varianza de la longitud de raíz por estaca, evaluado a los 80 días. Datos transformados a $\sqrt{(x + 1)}$ .....	69

11. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente a la longitud de la raíz por estaca, evaluados a los 80 días .....	70
12. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos principales (A) y (B) en la longitud de raíz por estaca, evaluado a los 80 días... ..	71
13. Análisis de varianza del porcentaje de brotación, evaluados a los 80 días. Datos transformados a $\arcsen \sqrt{\%}$ .....	73
14. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al porcentaje de brotación, evaluados a los 80 días .....	74
15. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos principales (A) y (B) en el porcentaje de brotación, evaluado a los 80 días.....	76
16. Análisis de varianza del porcentaje de defoliación, evaluados a los 80 días. Datos transformados a $\arcsen \sqrt{\%}$ .....	78
17. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al porcentaje de defoliación, evaluados a los 80 días .....	79
18. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos principales (A) y (B) en el porcentaje de defoliación, evaluado a los 80 días .....	80
19. Análisis de varianza del porcentaje de mortalidad, evaluados a los 80 días. Datos transformados a $\arcsen \sqrt{\%}$ .....	82
20. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al porcentaje de mortalidad, evaluado a los 80 días .....	84

21. Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos principales (A) y (B) en el porcentaje de mortalidad, evaluado a los 80 días.....	85
22. Datos originales de porcentaje de enraizamiento (%) .....	104
23. Porcentaje de enraizamiento, datos transformados a $\arcsen \sqrt{\%}$ . .....	104
24. Datos originales de número de raíces .....	104
25. Número de raíces, datos transformados a $\sqrt{x + 1}$ . .....	105
26. Datos originales de longitud de raíz (cm).....	105
27. Longitud de raíz, datos transformados a $\sqrt{x + 1}$ . .....	105
28. Datos originales de porcentaje de brotación (%) .....	106
29. Porcentaje de brotación, datos transformados a $\arcsen \sqrt{\%}$ .....	106
30. Datos originales de porcentaje de defoliación (%). .....	106
31. Porcentaje de defoliación, datos transformados a $\arcsen \sqrt{\%}$ .....	107
32. Datos originales de porcentaje de mortalidad (%). .....	107
33. Porcentaje de mortalidad, datos transformados a $\arcsen \sqrt{\%}$ .....	107
34. Datos climatológicos externos al colocar las estacas en la cámara de subirrigación. ....	108
35. Datos de temperatura del ambiente en el exterior e interior de la cámara de subirrigación durante los 5 días de establecido el ensayo...	108

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Diagrama de dispersión entre los tipos de estacas y las dosis de AIB, con una curva de ajuste que aproxima la relación entre variables .....	59
2. Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre el porcentaje de enraizamiento de estacas de cacao, evaluados a 80 días en cámaras de subirrigación .....	61
3. Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre el número raíces por estaca de cacao, evaluados a 80 días en cámaras de subirrigación .....	67
4. Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre la longitud de raíz por estaca de cacao, evaluados a 80 días en cámaras de subirrigación .....	72
5. Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre el porcentaje de brotación de cacao, evaluados a 80 días en cámaras de subirrigación.	77
6. Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre el porcentaje de defoliación de cacao, evaluado a 80 días en cámaras de subirrigación.	81
7. Tipos de estacas: intermedio (A) y apical (B). .....	109
8. Preparación de la cámara de subirrigación.....	109
9. Distribución de los tratamientos en las diferentes cámaras .....	110
10. Acomodo de las estacas en la cámara de subirrigación .....	110
11. Aplicación del fungicida a las estacas para su enraizamiento .....	111
12. Estacas enraizadas .....	111
13. Modelos del propagador de subirrigación .....	112

## I. INTRODUCCIÓN

El cacao es un cultivo que se puede multiplicar por estacas, y que las auxinas son los reguladores de crecimiento más utilizados para promover el proceso de formación de sus raíces, siendo el ácido indolbutírico (AIB) la principal auxina sintética utilizada para este fin, pero presenta resultados muy variables conforme a la especie utilizada, tipo de estacas, concentración, modo de aplicación, condiciones ambientales entre otras.

Actualmente se está empleando el método de propagación por semilla sexual que tiene inconveniente de producir plantas altamente heterocigotos y variables. En cambio con la propagación vegetativa por estacas se logra una réplica del ADN, permitiendo así mantener el genotipo intacto, asegurando la conservación del germoplasma valioso.

En los trabajos realizados en Tingo María, sobre propagación de cacao por medio de estacas se obtuvieron 55.56 y 44.40% de enraizamiento del cacao (LAMA, 2004 y MENDOZA, 2007).

Dado que en la propagación asexual en cacao se tiene el inconveniente de enraizamiento debido a las condiciones climáticas de la zona, se pretende incrementar el porcentaje de enraizamiento basando en el modelo de cámara de subirrigación con el cual se pretende controlar los efectos climáticos y así brindar condiciones favorables para el enraizamiento en el cultivo de cacao, e incrementar los porcentajes ya obtenidos.

La problemática que se encontró en realizar el enraizamiento en estacas fue la baja producción de raíces, pero con las metodologías anteriores no se logró alcanzar tal porcentaje, es por ello que con la utilización de cámaras de subirrigación se espera lograr el enraizamiento de las estacas y definir la parte de la vara más apropiada (intermedio o apical), haciendo uso de diferentes dosis de AIB y de una tecnología sencilla, como es el método de utilización de cámara de subirrigación.

Sin embargo si se desea transferir los beneficios de la propagación por estacas al pequeño agricultor de la zona, se hace necesario adaptar y desarrollar nuevas tecnologías de propagación eficientes, económicas y simples, es por ello que planteamos el estudio de enraizamiento de estacas con dos tipos de estaca y cuatro dosis de AIB en la cámara de subirrigación.

La hipótesis del estudio es que, al menos un tipo de estaca y una dosis de AIB tendrán un mejor efecto en el porcentaje de enraizamiento de estacas de cacao utilizando cámaras de subirrigación. En base a esto se planteó los siguientes objetivos:

1. Determinar el efecto de dos tipos de estacas en el enraizamiento de cacao utilizando cámaras de subirrigación.
2. Determinar el efecto de las cuatro dosis de AIB en el enraizamiento de cacao utilizando cámaras de subirrigación.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Propagación vegetativa del cacao

Una de las características más significativas de la clonación se refiere a como los descendientes del clon tiene el mismo genotipo básico, la población tiende a ser fenotípicamente muy uniforme. Por lo general toda la generación de un clon tiene el mismo aspecto, tamaño época de floración, maduración etc., haciendo con ello la estandarización de la producción y otros usos del cultivar (HARTMANN y KESTER, 1996).

Resumiendo la importancia de la reproducción asexual radica en la posibilidad de propagar, a escala propagativa, material genético de alto valor, asegurando rápidas ganancias genéticas debido a la selección y reproducción de genotipos individuales. Además captura los componentes aditivos y no aditivos de la varianza genotípica, lo permite producir masa uniformes y productivas (ZOBEL y TALBERT, 1988; SANTELICES, 1998).

Probablemente el efecto del ataque de patógenos, principalmente virus y plagas; sean los principales causantes de la deteriorización (HARTMANN y KESTER, 1996). MACDONALD (1986), señala y agrega a estos la variación genética (mutaciones) como también principal fuente de variabilidad de las plantas de un clon.

Para ZOBEL y TALBERT (1988), la propagación vegetativa tiene ventajas desde el punto de vista investigativo, como; la valoración genética del material vegetal, incluyendo estudios de interacción genotipo – ambiente.

## **2.2. Propagación vegetativa a través de estacas**

ROJAS; LOZANO y ALARCÓN, (2004) manifiesta que la propagación por estacas consiste en cortar brotes, ramas o raíces de la planta, las cuales se colocan en una cama enraizadora, con el fin de lograr la emisión de raíces y brotación en la parte aérea, hasta obtener una nueva planta. O bien como cualquier porción de una planta (raíz, tallo u hoja) que es separada de ésta y que es inducida para que forme raíces (WELLS, 1979).

En la propagación vegetativa a través de estacas, se corta de la planta madre una porción de tallo, raíz u hoja, después de lo cual esa porción se coloca en condiciones ambientales favorables y se induce a que forme raíces y tallos, obteniéndose con ello una planta nueva, independiente, que en la mayoría de los casos es idéntica a la planta madre (HARTMANN y KESTER, 1996). Las estacas se dividen en tres grandes grupos, atendiendo a su origen: estacas de raíz, de tallo y de hojas. El método de propagación a través de estacas de tallo es el más importante (CUCULIZA, 1956; HARTMANN y KESTER, 1996).

La propagación vegetativa a través de estacas de tallo es el medio más importante y más utilizado en el mundo, en la propagación de árboles de interés forestal y arbustos ornamentales, tanto de especies caducas como de hoja ancha y siempre verdes de hoja angosta (como las coníferas, por ejemplo). Las estacas se usan, también, extensamente en la propagación comercial en invernadero de muchos cultivos florales y su empleo es común en la propagación de diversas especies frutales (HARTMANN y KESTER, 1996).

Algunos factores pueden influenciar la propagación por estacas, entre ellas la posición de la estaca en la rama, por el grado de lignificación, cantidad de reservas y diferenciación de los tejidos, el tipo de sustrato, por sus características químicas y físicas, el genotipo, las condiciones fisiológicas de la planta madre y las condiciones ambientales, además que los resultados pueden ser mejorados con un tratamiento previo de las estacas con productos químicos, como los reguladores de crecimiento (BASTOS 2006).

La evaluación del porcentaje de enraizamiento es la variable respuesta de mayor interés con fines de propagación, por lo cual se hace énfasis en este aspecto para seleccionar los mejores tratamientos obtenidos con cualquier especie de interés. En orden de importancia le sigue el número de raíces por estaca enraizada y la velocidad a la cual las raíces emergen y se desarrollan. Es deseable que las estacas tengan muchas raíces, por lo menos tres raíces bien ramificadas y distribuidas alrededor de las estacas (LEAKEY, 1985).

El enraizamiento de estacas puede ser mejorado de diferentes formas:

- Químicamente por la aplicación de auxinas, reguladores de crecimiento, cofactores de enraizamiento y fungicidas.
- Físicamente regulando la longitud de estaca, su área foliar, el corte de la base.
- Ambientalmente manipulando el contenido de humedad y la humedad relativa, la luz, la temperatura y el medio de enraizamiento (LEAKEY, 1985).

Estas estacas pueden clasificarse en varias categorías:

- Según la naturaleza del órgano separado (rama, brote, raíz, hoja, etc.).
- Según su estado (lignificado o herbáceo), una limitante para la utilización de estacas enraizadas ha sido su dependencia de la edad; los árboles jóvenes suelen enraizar con una rapidez mayor, pero es casi imposible enraizar los mismos árboles cuando están maduros (ZOBEL y TALBERT, 1988):
- Según la época en que se realice la operación (invierno, primavera, otoño o verano).
- Según los diversos tratamientos que puedan darse a la estaca (ZOBEL y TALBERT, 1988).

Según HARTMANN y KESTER (1996), a las estacas se les clasifica de acuerdo con la parte de la planta de que proceden como sigue, Estacas de tallo:

- De madera dura
- De madera semidura
- De madera suave
- Herbáceas
- Estacas de hoja
- Estacas de hoja con yema
- Estacas de raíz

Según MESEN y VIQUEZ (2003), clasifican a las estacas según el objetivo de la plantación, el primero para el establecimiento de huertos clonales con la utilización de material fisiológicamente adulto, ya sea yema o espigas de la copa para injertación, estacas de la copa para enraizamiento, acodos de la copa, estacas leñosas o estacón y el segundo, la utilización de material fisiológicamente juvenil, el cual dará origen a un árbol de crecimiento normal similar al de una plántula de semilla conocidos como estacas juveniles, suculentas o estaquillas no lignificadas; el material juvenil se origina de rebrotes de tocones, de rebrotes o brotes basales de árboles en pie o de plántulas jóvenes, entre otros.

### **2.2.1. Bases fisiológicas de la propagación vegetativa a través de estacas**

Según BOTTI (1999), la formación y el desarrollo de raíces a partir de estacas puede dividirse en cuatro etapas: inducción y diferenciación de un grupo de células meristemáticas (inicio de división celular); aumento de las divisiones celulares para formar los primordios iniciales (aún no determinados); organización de estos grupos en primordios radiculares (cuando hay aproximadamente 1500 células en cada primordio inicial) y crecimiento, diferenciación y emergencia de las nuevas raíces, incluyendo la ruptura de tejidos superficiales para permitir su salida y la conexión vascular con los tejidos vasculares de la estaca.

Los tejidos de los tallos más susceptibles a formar primordios radicales son: epidermis, parénquima cortical, parénquima radial, cambium vascular y parénquima floemático (BOTTI, 1999).

Las raíces adventicias suelen originarse a partir de células que se dividen en la proximidad del floema de los vasos conductores, los cuales forman un callo del que se diferencian luego las raíces. Si se produce una herida en una planta herbácea, las células parenquimáticas próximas a la herida se desdiferencian y vuelven a dividirse para formar un callo cicatricial, el cual corresponde a un conjunto de células parenquimáticas en varios estados de lignificación. En los vegetales leñosos, el callo suele proceder del cambium, aunque también de la corteza y médula. Más tarde empiezan a aparecer en algunas células del callo diferenciaciones que conducen a un nuevo tejido: se forman, por ejemplo, puntos vegetativos caulinares o radicales y se establece la unión con los elementos conductores (STRASBURGER, 1994).

En la mayoría de las plantas, la formación de callo y de las raíces es independiente entre sí y cuando ocurren en forma simultánea es debido a su dependencia de condiciones internas y ambientales similares (HARTMANN y KESTER, 1996).

En especies leñosas perennes, en las cuales hay una o más capas de xilema y floema secundarios, en las estacas de tallo, usualmente se originan de células de parénquima vivientes, primordialmente en el xilema secundario joven, pero a veces lo hacen de otros tejidos como los radios

vasculares, el cambium, el floema, las lenticelas o la médula (HARTMANN y KESTER, 1996)

GUTIÉRREZ (1997), señala que la formación de raíces depende de una serie de factores internos o endógenos, los que interactúan, en forma compleja, generando cambios en el metabolismo, la des-diferenciación y el crecimiento.

El proceso de enraizamiento puede dividirse en cuatro fases: a) diferenciación de las células cercanas al anillo del tejido vascular, frecuentemente en células del parénquima cercana al xilema y floema inmaduro o secundario; b) la formación de células iniciales en las nuevas áreas meristemáticas, c) la organización de las células en los primordios radicales y d) crecimiento y emergencia. Los requerimientos para la iniciación de las raíces están afectados por factores genéticos y estado fisiológico de la planta, mientras que la elongación de las raíces es más sensible a factores ambientales (GUTIÉRREZ, 2003).

Una buena iniciación del desarrollo radical adventicio, depende de la presencia en las estacas de cierto número de cofactores, que en combinación con las auxinas permiten que las estacas formen raíces (WEAVER, 1976). Un cofactor se puede definir como una sustancia natural con acción catalítica y reguladora del metabolismo, pero cuya acción no es suficiente por sí misma para determinar fenómenos de desarrollo, sino que actúan a manera de coenzimas (Rojas, 1972 citado por MANSILLA, 2004).

El desarrollo vegetal está influenciado, entre otros factores, por diversas sustancias de síntesis natural, conocidas como hormonas, y otras sintéticas denominadas reguladores de crecimiento. Para distinguir entre hormonas vegetales y reguladoras del crecimiento, se puede decir que, todas las hormonas regulan el crecimiento, pero que no todos los reguladores del crecimiento son hormonas. De las fitohormonas (etileno, giberelinas, citoquininas, auxinas e inhibidores del crecimiento, como el ácido abscísico), las auxinas son los que tienen el mayor efecto sobre la formación de raíces (HARTMANN y KESTER, 1996).

Para explicar el proceso de inducción de raíces, existe la teoría de la rizocalina de Bouillene, la cual establece que un compuesto fenólico no específico (posiblemente dihidroxifenol) actúa como cofactor del enraizamiento. Este cofactor es producido en las hojas y yemas de la estaca y posteriormente traslocado a la región del enraizamiento, donde en presencia de un factor no específico; que es traslocado y que se encuentra en concentraciones bajas en los tejidos y de una enzima específica, localizada en las células de ciertos tejidos (potifenol-oxidasa), completan el complejo rizocalina, actuando como estimulante de la rizogénesis (HARTMANN y KESTER, 1996; GUTIÉRREZ, 1997).

Es sabido que la presencia de hojas en las estacas ejerce una fuerte acción estimulante sobre la iniciación de raíces. Es probable que el fuerte efecto promotor de inducción de raíces que ejercen las hojas y yemas, se deba a otros factores más directos, dado que las yemas y hojas son

poderosos productores de auxinas y los efectos se observan directamente debajo de ellas, ya que existe un transporte polar, del ápice a la base (HARTMANN y KESTER, 1996).

Las auxinas se sintetizan en las hojas y meristemas apicales, a partir del aminoácido triptófano y se mueven a través de células parenquimáticas, desde su lugar de formación hacia los haces vasculares del tallo y; a diferencia de lo que ocurre con los azúcares, iones y otros solutos, que se transportan a través de los tubos cribosos del floema; este transporte, célula a célula, se caracteriza por ser más lento (1cm/hora) en raíces y tallos; además, es un transporte polar, es decir, siempre basipétalo en el tallo (hacia la base) y en las raíces también es un transporte polar, pero en sentido acropétalo (hacia los ápices) (STRASBURGER, 1994).

Para el crecimiento de raíces, en general se requieren bajas concentraciones auxínicas (dependiendo de la especie y la edad de la planta), debido a que las células de los meristemas radicales contienen un nivel de auxinas, provenientes de la parte aérea, suficientes para una elongación normal, no así para la formación de raíces adventicias, en la porción del tejido a enraizar se requieren mayores concentraciones (SALISBURY y ROSS, 2000).

Las auxinas cumplen un rol primordial en la elongación celular y este puede ser descrito en dos procesos aumentan la plasticidad de la pared celular y participan en reacciones que permiten el depósito de celulosa dentro de las paredes. Estos dos fenómenos se producen debido a que las microfibrillas de celulosa, orientadas inicialmente en ángulo recto al eje

longitudinal de crecimiento, van modificando su ángulo de posición durante el crecimiento, para finalmente orientarlas casi paralelas a dicho eje, lo que produce un estiramiento de la pared celular y por consiguiente un alargamiento de la célula. Además, las auxinas intervienen en el crecimiento del tallo, inhibición de yemas laterales, abscisión de hojas y de frutos, activación de las células del cambium y otras (SALISBURY y ROSS, 2000).

La iniciación de raíces en las estacas requiere de energía, considerando que las sustancias lipídicas normalmente no son abundantes en los tallos, la degradación de carbohidratos se constituye probablemente en la única fuente de energía en la estacas para activar el proceso rizogénico, señalándose al almidón, cuando está presente, como la principal y posiblemente única fuente de energía para la iniciación y desarrollo del primordio radical (GUTIÉRREZ, 1997).

## **2.2.2. Factores abióticos que acondicionan el enraizamiento de estacas**

### **2.2.2.1. Efecto de luz**

La irradiancia, el fotoperiodo y la calidad de luz, cuyas necesidades son variables según la especie, deben ser adecuadas para mantener una tasa fotosintética que garantice suficiente producción de carbohidratos para la sobrevivencia de las estacas y la iniciación radicular sin comprometer el vigor vegetativo de las estacas, las cuales son variables con las especies (Xavier, 2002 citado por TORRES, 2003). Entretanto se debe

evitar que las estacas sean expuestas a incidencia directa de los rayos solar a fin de evitar la quema de los tejidos más tiernos (Valle, 1978 citado por TORRES, 2003).

El incremento en la irradiación ha sido asociado con una reducción en el potencial osmótico producto de una alta acumulación de solutos y la consecuente pérdida de agua, causando la reducción en el enraizamiento. A su vez, un aumento en la irradiación eleva la presión de vapor en la hoja, reduce la presión de vapor en el aire y causa un incremento en la pérdida de agua por las estacas (LOACH, 1988). El enraizamiento de las estacas con radiación solar por debajo del nivel óptimo está limitado por la carencia de carbohidratos y suministro de auxinas a la base de la estaca. Por encima del óptimo es posible que exista demasiada concentración de carbohidratos, foto destrucción de las auxinas en las relaciones de agua y concentración de sustancias promotoras o inhibidoras del crecimiento (HARTMANN y KESTER 1996).

En todos los tipos de crecimiento y desarrollo de las plantas la luz es de importancia primordial como fuente de energía para la fotosíntesis. En el enraizamiento de estacas, los productos de la fotosíntesis son importantes para la iniciación y crecimiento de las raíces. Los efectos pueden deberse a la intensidad (radiancia), al fotoperiodo (longitud del día) y a la calidad de luz. Estos efectos pueden ser ejercidos ya sea en las plantas madres de las que se toma el material o en las estacas mismas durante el proceso de enraizamiento (DIRR y HEUSER, 1987; HARTMANN y KESTER,

1996). La duración y la intensidad de la luz son factores que deben ser considerados, ya que son fundamentales en la producción de hormonas o auxinas y en la fotosíntesis básicamente en la formación de carbohidratos, y por lo tanto necesaria para la iniciación y formación de raíces y yemas en estacas (MACDONALD, 1986). En algunas especies el mayor porcentaje de enraizamiento se obtiene con fotoperiodos largos y de iluminación continua (HARTMANN y KESTER. 1996).

BRAUDEAU (1981), menciona que en la práctica cumplen condiciones, óptimas cuando las camas de enraizado están colocados bajo una sombra que deje pasar 25% de luz, al tiempo que solo un 10 - 12% de la luz total incida sobre las ramas. Para el buen éxito es necesario que el grado de fotosíntesis exceda ligeramente al grado de respiración, pues de lo contrario sobreviene la muerte de las estacas por carencia de carbohidratos.

#### **2.2.2.2. Efecto de la temperatura ambiental**

Las temperaturas excesivas del aire tienden a estimular el desarrollo de las yemas con anticipación al desarrollo de las raíces y a aumentar la pérdida de agua por las hojas (HARTMANN y KESTER, 1996), hecho indeseable para la propagación, ocurre también el aumento de la transpiración, provocando necrosamiento (Fachinelo, 1986 citado por TORRES, 2003), aumentan la respiración de los tejidos, provocando un agotamiento de las reservas nutricionales mientras que bajas temperaturas reducen el proceso fotosintético (Carrera, 1977 citado por TORRES, 2003), y disminuyen el metabolismo de las estacas, llevando a un mayor tiempo para el

enraizamiento o, incluso aun, proporcionando condiciones inadecuadas para que ocurra desarrollo y crecimiento radicular (Xavier, 2002 citado por TORRES, 2003). Debido a que las temperaturas dependen del nivel de irradiación, el uso de sombra es una medida efectiva para prevenir un aumento en la temperatura del sustrato de enraizamiento y del aire que rodea las estacas (LEAKEY y MESEN, 1991).

La temperatura ambiental óptima para el enraizamiento varía según la especie (HARTMANN y KESTER, 1996). BOTTI (1999), señala que la mayoría de las especies requieren rangos diurnos de 20 a 27°C; mientras, HARTMANN y KESTER, 1996 restringen el rango de 21 a 27°C. La temperatura nocturna ideal debe estar alrededor de los 15°C (HARTMANN y KESTER, 1996; BOTTI, 1999).

Muchas especies logran mayores porcentajes de enraizamiento y en menor tiempo cuando la temperatura del sustrato se mantiene entre 25 y 28°C en los primeros 15 a 20 días, para luego disminuirla a 18 y 20°C. Esta condición puede llegar a ser decisiva en el proceso de enraizamiento para algunas especies vegetales (BOTTI, 1999). Pero no siempre existen los medios económicos para poder implementar camas calientes. EVANS, 1952); menciona que la temperatura del aire debe mantenerse entre 27 y 29°C y no pasar de 30°C.

### 2.2.2.3. Efecto del medio de enraizamiento

El factor más importante asociado con el medio de enraizamiento es la aireación (GUTIÉRREZ, 2003). Según HAISSIG (1986), la relación entre aire y agua en el medio de enraizamiento juega un papel importante en el éxito de la macro-propagación, al influir en la disponibilidad de oxígeno que pueda haber en la base de la estaca, donde las raíces son formadas. Una atmósfera de suelo saturada, particularmente cuando carece de oxígeno, favorece la pudrición; un riego deficiente y una concentración de oxígeno en el suelo muy alta conducen a la formación de callo en la base de la estaca y, en general, el crecimiento radical. Por todo esto, es importante la selección correcta de los medios de enraizamiento (EVANS, 1951).

Avanzato y Cherubine (1993), citados por PEREIRA (2003); mencionan que el tamaño de las partículas también interfiere en el enraizamiento de las estacas; trabajando con sustratos de perlita de diferentes granulometrías obtuvieron resultados significativamente superiores con mayor granulometría. Tal hecho está asociado con la mayor capacidad de retención de agua por la perlita de granulometría fina, afectando la aeración. En un estudio realizado en *Cryptomeria japonica*, el número de raíces por estacas estuvo inversamente relacionado con el contenido volumétrico de agua en el medio, sugiriendo que el exceso de agua actúa como barrera para la difusión del oxígeno (Loach, 1986 citado por NUÑEZ, 1997).

El medio de enraizamiento puede afectar el tipo de sistema radical que se originan de las estacas. Las estacas de algunas

especies si se hacen enraizar en arena, producen raíces largas, no ramificadas, gruesas y quebradizas, pero cuando enraízan en una mezcla como arena y musgo turboso, o de perlita y musgo turboso, desarrollan raíces bien ramificadas, delgadas y flexibles, de un tipo más apropiado para extraer y a plantar (HARTMANN y KESTER, 1996).

Salisbury (1991), citado por HENRIQUEZ (2004), señala que el crecimiento y morfología de las raíces sigue un control genético, pero también influye su entorno edáfico; en este mismo sentido Fitter (1996), citado por HENRIQUEZ (2004), señala que existen varios factores asociados al suelo como la humedad, que modifican el área de la superficie de la raíz, su sobrevivencia y desarrollo, ya que al parecer tiene un efecto en el alargamiento de las raíces, pero no en su diferenciación; además, afirma que varios factores como el nivel de oxígeno y textura del suelo, concentración de dióxido de carbono, luz y reguladores de crecimiento, también parecen ser importantes.

El sustrato de propagación debe cumplir tres funciones muy importante para el éxito del proceso: sujetar las estacas, mantener la humedad y permitir el intercambio de gases (HARTMANN y KESTER, 1996; BOTTI, 1999). Por lo tanto, cualquier material o mezcla de materiales que se utilice debe permitir una buena retención de agua (sin acumularla excesivamente) y una aireación que permita un contenido de oxígeno adecuado para la respiración de los tejidos sometidos a la producción de nuevas raíces (BOTTI, 1999). También debe poseer un buen drenaje y estar libre de microorganismos (PEATE, 1989). Además, debe contener un escaso

contenido de materia orgánica (SANDOVAL, 1997), con una densidad aparente baja, para facilitar su mezcla, manipulación, traslado y trasplante. El sustrato tiene un efecto importante en el éxito del enraizamiento y debe ser considerado como parte integral de cualquier sistema de propagación.

Un buen sustrato combina una buena aireación con alta capacidad de retención de agua, buen drenaje y libre de agentes contaminantes MESEN (1998), menciona que en estudios realizados en el CATÍE han empleado sustratos fáciles de conseguir, generalmente grava fina, arena, aserrín descompuesto y mezclas de estos materiales. La arena fina en general ha dado buenos resultados con la mayoría de las especies.

LONGMAN (1993), indica que cuando se utilizan propagadores de subirrigación no se debe aplicar fertilizantes al sustrato ya que la iniciación de las raíces es un proceso interno, controlado hormonalmente, que no es afectado por el nivel nutricional del sustrato; además el uso de fertilizantes puede estimular el crecimiento de algas musgos en la superficie del medio.

#### **2.2.2.4. Efecto de la humedad relativa**

En la atmósfera seca hay un aumento en la evapotranspiración y las estacas pueden desecarse. Se precisa entonces una humedad relativa del aire alta en los comienzos del enraizado para reducir la evapotranspiración y evitar el marchitamiento de los propágulos (DÍAZ, 1991 y DÍAZ; MESÉN y SALAZAR, 1991) ya que son en extremo sensible a cualquier

pérdida de agua por evaporación, pérdida que no puede ser compensada con una absorción de agua por la parte baja de la estaca aunque esta esté sumergida en el agua: los vasos conductores están, en efecto, parcialmente bloqueados por los mucílagos y los productos de oxidación que se forman en la superficie de corte. La pérdida de agua es una de las principales causas de muerte de estacas antes de la formación de raíces, pues para que haya división celular, es necesario que las células del tejido de la estaca deban estar turgentes. Por tanto, el potencial de pérdida de agua en una estaca es muy grande, sea a través de las hojas o de los brotes en desarrollo, considerando que las raíces aún no están formadas. Eso se ve agravado cuando se trabaja con especies que exigen largo tiempo para formar raíces y cuando se utilizan estacas con hojas y/o de consistencia herbácea (Norberto, 1999 citado por TORRES, 2003).

La humedad alrededor de las estacas tiene influencia en el estatus hídrico; la mayoría de los sistemas de propagación tienden a mantener un alto grado de saturación en la atmósfera a través del uso de coberturas de polietileno o a través del suministro de agua en minúsculas gotas, o aun, a través de la combinación de ambos métodos (Malavasi, 1994; citado por TORRES, 2003). El efecto más inmediato que se atribuye al déficit hídrico sobre la capacidad para enraizar, es el cierre estomático. Esto afecta la ganancia de carbohidratos por medio de la fotosíntesis, al reducir la difusión de dióxido de carbono a los cloroplastos. A su vez, relaciona el cierre estomático causado por deficiencia de agua, con el aumento en el contenido del ABA

(ácido abscísico), el cual ha sido considerado un inhibidor del enraizamiento (NUÑEZ, 1997).

Es de gran importancia que las condiciones ambientales de temperatura y humedad en el sector de propagación puedan ser controladas, manteniéndolas dentro de los rangos adecuados (BOTTI, 1999). La humedad debe mantenerse alta; entre 70 y 80% aproximadamente para evitar la deshidratación del material vegetal, especialmente en el caso de estacas verdes o herbáceas. Para ello es indispensable el empleo de boquillas con riego fino intermitente o incluso un equipo que entregue niebla fina (nebulizado) cada vez que la humedad ambiental disminuya en el invernadero, de esta forma se mantiene la humedad adecuada del sustrato y se humedecen las hojas de las estacas, reduciendo a la vez la temperatura del medio y la transpiración de las estacas (DIRR y HEUSER, 1987; HARTMANN y KESTER, 1996; BOTTI, 1999). La humedad relativa debe ser muy alta, cercana al 100%, para reducir la transpiración y asegurar la turgencia de las células de la hoja.

#### **2.2.2.5. Efecto de reguladores de crecimiento**

Existe cierto número de compuestos sintéticos que cuando son introducidos en la planta con frecuencia producen resultados similares a aquellos causados por las hormonas que ocurren naturalmente. Los compuestos han sido denominados "Reguladores de Crecimiento Vegetal" o fito-reguladores y no pueden ser llamadas hormonas (Barcelló, 1992; citado por FANEGO, 2006).

Las auxinas, ha sido bien documentado el efecto que las mismas en promover el desarrollo de raíces adventicias en la base de la estaca, por medio de la capacidad de promover la iniciación de primordios radicales y de transportar carbohidratos y cofactores a la base de la estaca (Leakey *et al.*, 1982; citados por NUÑEZ 1997).

Existe un efecto directo de las auxinas en cuanto a la división celular y la elongación, así como en un aumento en el transporte de carbohidratos y cofactores foliares a la base de la estaca, donde se llega a promover el desarrollo y formación del primordio inicial (HAISSIG, 1974).

El transporte de las auxinas se realiza en forma polar, quiere decir que en el tallo se dará en dirección basípeta y en la raíz en dirección acrópeta (FANEGO. 2006). El transporte polar ocurre por la diferencia del potencial hídrico del tallo, el cual es positivo en la base y negativo en el ápice, como el AIA es un ácido que resulta ser electronegativo, es repetido por las células apicales y atraído por las basales (Valdés, 2001; citado por FANEGO. 2006). El movimiento ocurre normalmente en los tejidos como un todo a través de las células, más bien que usando conductos del floema. Presumiblemente el proceso de transporte implique una interacción entre el AIA y la membrana plasmática de las células de plantas (FANEGO, 2006).

La acción auxínica parece ser muy particular y se ejercería fundamentalmente en dos etapas: en la primera, el efecto es de estimulación del crecimiento, pero la duración del efecto estimulante se acorta progresivamente con el aumento de la concentración. Ello termina por provocar

una inhibición que es la que caracteriza la segunda etapa. El agente responsable sería el etileno, cuya síntesis es estimulada cuando la concentración de la auxina aumenta (MANSILLA, 2004).

HARTMANN y KESTER (1996) indican que el propósito de tratar las estacas con reguladores de crecimiento es aumentar el porcentaje de enraizamiento, reducir el tiempo de iniciación de raíces y mejorar la calidad del sistema radical formado.

Las auxinas mejoran el transporte y la producción de la sacarosa en las hojas, que es uno de los factores que más ayudan al enraizamiento, por ser una fuente de carbono (JARVIS, 1986).

Las auxinas pueden ser aplicadas de varias formas, pero en general, los métodos más utilizados son la aplicación en mezclas con talco neutro, la inmersión rápida en soluciones concentradas, remojo en soluciones acuosas diluidas y, exclusivamente para fines experimentales, la aplicación con micro-jeringas (MESEN, 1998). La técnica de inmersión rápida consiste en introducir la base de la estaca en una solución concentrada de la auxina por pocos segundos e insertar inmediatamente la estaca en el medio de propagación, si es en solución de alcohol, hay que evaporarlo antes de introducirlo (MESEN, 1998). El método de tratamiento con solución concentrada tiene varias ventajas respecto a otros; elimina la necesidad de disponer de equipos para remojar las estacas y después volverlas a manejar para insertarlas en el medio de enraíce. Además, es muy probable que se obtengan resultados más uniformes debido a que las condiciones circundantes

no influyen tanto en la absorción de la sustancia por las estacas como en los otros dos métodos (HARTMANN y KESTER, 1996).

Otros autores recomiendan el uso de alcoholes diluidos al 50% para no causar daños en el tejido vegetal. Sin embargo, existe el problema de que los ácidos no se disuelvan. Las soluciones deben ser ajustadas para cada especie, dependiendo del grado de lignificación de la estaca y la duración de la inmersión no debe ser prolongada (BLAZICH, 1988). El AIB es una auxina sintética químicamente similar al AIA que en la mayoría de las especies ha demostrado ser más efectiva que cualquier otra y es actualmente la de mayor uso como sustancia promotora de enraizamiento. Tiene la ventaja de que no es tóxica en un amplio rango de concentraciones, no es degradada fácilmente por la luz o microorganismos y al ser insoluble en agua, permanece por más tiempo en el sitio de aplicación donde puede ejercer un mayor efecto (MESEN, 1998).

La aplicación de reguladores de crecimiento para el enraizamiento se torna necesaria cuando el balance citocinina /auxina se encuentra muy alto. Por lo tanto es necesario que haya un balance adecuado, especialmente auxinas, giberelinas y citocininas, o sea, un equilibrio entre promotores e inhibidores del proceso de iniciación radicular. La manera más común de promover ese equilibrio es a través de la aplicación exógena de reguladores de crecimiento sintéticos, como AIA (ácido indolacético) AIB (ácido indolbutírico), o ANA (ácido naftalenacético), que pueden elevar el contenido de auxina en el tejido y proporcionar mayor porcentaje, velocidad calidad y

uniformidad de enraizamiento (Norberto, 1999; Wendling, *et al.*, 2000; citados por TORRES, 2003).

Las plantas poseen varios mecanismos que reducen o anulan la efectividad del AIA, conjugándolos con otros compuestos o destruyéndolo, lo cual no sucede con el AIB o el ANA (BLAZICH, 1988). Dentro del rango normal de concentración de AIB utilizadas para la mayoría de las especies (0.1 - 0.2%), las concentraciones mayores también tienen un efecto positivo al inhibir el crecimiento de las yemas en las estacas durante las primeras semanas en el propagador, al inducir el transporte de asimilados hacia la base de la estaca y permitir el desarrollo de raíces sin competencia con un brote en crecimiento. Una vez que se forman las raíces, la recuperación del balance hídrico y las reacciones fotosintéticas en la planta restauran el balance de crecimiento entre el brote y las raíces. Si no se aplican auxinas, el brote podría empezar a desarrollarse en la estaca antes de la formación de las raíces. Esto crea un punto de atracción de asimilados hacia los brotes, en competencia con la base de la estaca, lo cual reduce el enraizamiento (MESEN, 1993).

En *Cordia alliodora*, un aumento en la concentración de AIB desde 0 hasta 1.6%, aumentó el porcentaje de enraizamiento de estacas de 10 a 70% y redujo el tiempo de formación de las primeras raíces, de ocho a tres semanas. En estos casos, se utilizó una jeringa micrométrica para aplicar la cantidad exacta de auxina a cada estaca y se usó alcohol como solvente,

con evaporación del alcohol antes de insertar las estacas al medio de propagación (MESEN, 1993).

En trabajos realizados en el CATIE (LEAKEY y MESEN *et al.*, 1990; MESEN y LEAKEY *et al.*, 1997; MESEN 1993; MESEN y TREJOS, 1997; NUÑEZ, 1997), la concentración de 0.2% de AIB ha dado los mejores resultados en *Alnus acuminata*, *Bombacopsis quinata*, *Cedrela odorata*, *Eucalyptus deglupta*, *Gmelina arborea* y *Swietenia macrophylla*. Con *Platymiscium pinnatum*, las dosis de 0.2% y 0.4% de AIB fueron las mejores cuando se utilizó grava o arena como sustrato, respectivamente. Algunas especies respondieron mejor ante dosis mayores, por ejemplo *Terminalia oblonga*, (0.8%), *Cordia alliodora* (0.8 - 1.6%) y *Hyeromina alchorneoides* (1.6%), mientras que *Albizia guachaepelle* enraizó igualmente bien en concentraciones desde 0.05 hasta 0.4% de AIB. Contraria a todas las demás especies evaluadas, *Vochysia guatemalensis* presentó mayores porcentajes de enraizamiento cuando no se aplicó auxinas, aunque el número de raíces producidas en las estacas aumentó con dosis crecientes de AIB desde 0 hasta 0.8%; la concentración de 0.2% presentó el mejor balance entre enraizamiento y calidad del sistema radical formado.

### **2.2.3. Factores bióticos que condicionan el enraizamiento de estacas**

#### **2.2.3.1. Edad de la planta madre**

Las estacas obtenidas de plantas jóvenes o de sectores más juveniles tienen mayor capacidad para formar raíces (DIRR y HEUSER,

1987; BOTTI, 1999). Cualquier tratamiento previo que logre rejuvenecer a la planta o mantener la fase juvenil (podas drásticas, aplicaciones de giberelinas, injertos) será efectivo para favorecer el enraizamiento de las estacas. Es posible que con la edad se acumulen inhibidores del enraizamiento, como por ejemplo algunos tipos de fenoles, o bien disminuyan otros fenoles que favorecen el proceso (BOTTI, 1999).

#### **2.2.3.2. Sección de la planta madre para la obtención de estacas**

Este efecto es de suma importancia. Las diferencias de enraizado según la posición de la estaca en el árbol, puede deberse a una distribución desigual de hormonas vegetales y de reservas nutritivas en las diferentes partes de la planta (SANTELICES, 1998). El mejor enraizamiento de los extremos de las ramas y tallos (yema terminal) puede ser explicado por la posibilidad de que contengan mayores concentraciones de sustancias endógenas promotoras del enraizamiento. También en las estacas terminales existe menos diferenciación, habiendo más células que pueden volverse meristemáticas (HARTMANN y KESTER. 1996).

Es necesario destacar que pueden existir diferencias en el enraizamiento y crecimiento entre las estacas obtenidas de los tallos y otras obtenidas de ramas, en la misma planta madre (MACDONALD, 1986; DIRR y HEUSER, 1987; HARTMANN Y KESTER, 1996). En ciertas especies las estacas tomadas de ramas laterales con frecuencia tienen un porcentaje de enraizamiento mayor que aquellas tomadas de ramas terminales fuertes y

vigorosas (HARTMANN y KESTER, 1996). Sin embargo, en ciertas especies las plantas propagadas por estacas tomadas de ramas laterales pueden tener un hábito de crecimiento indeseable, denominado topófisis (MACDONALD, 1986; DIRR y HEUSER, 1987; HARTMANN y KESTER, 1996).

La topófisis consiste en un cambio o variación de fases de diferentes partes de la planta y cuyos meristemos perpetúan esas fases en descendencia vegetativa (MACDONALD, 1986; HARTMANN y KESTER, 1996). En la práctica la topófisis se manifiesta en que una estaca tomada del tallo (ortotrópico) de una planta madre tendrá el mismo hábito de crecimiento vertical. En cambio, una estaca extraída de una rama de hábito plageotrópico desarrollará y crecerá horizontalmente, ósea perpetuará el hábito plageotrópico (MACDONALD, 1986; DIRR y HEUSER, 1987; HARTMANN y KESTER, 1996).

### **2.2.3.3. Superficie foliar de la estaca**

El efecto que tiene el área foliar sobre la capacidad de enraizamiento, se encuentra relacionado con la producción de carbohidratos derivados de la fotosíntesis (KAMALUDDIN y ALI, 1996), producción de promotores auxínicos, auxinas sinergistas (cofactores) o de nutrientes. Los promotores pueden, ser transportados a la zona de enraizamiento en la base de la estaca, puesto que las hojas maduras exportan principalmente en una dirección basipétala (Wilson, 1994 citado por NUÑEZ, 1997).

Es importante mantener un potencial hídrico relativamente alto en las hojas y así, disminuir la actividad oxidasa en la

fotosíntesis (producción de peróxido de hidrógeno, que es tóxico para las plantas) e incrementar la actividad de las auxinas producidas naturalmente (LOACH, 1977). Si se retiene la hoja en una estaca, la fotosíntesis puede continuar, pero el costo de fotosintetizar es transpirar. La respuesta de la planta es el cierre de estomas, limitando la adquisición de CO<sub>2</sub>, para realizar la fotosíntesis (LEAKEY, 1985).

BRAUDEAU (1981), menciona que una estaca juvenil sin hojas no puede arraigar. Una estaca que pierde sus hojas en el transcurso del arraigue está igualmente condenada, pues aunque esté empezando a emitir raíces, no podrá desarrollarse. Es necesario una superficie foliar mínima para asegurar la fotosíntesis precisada para satisfacer las necesidades correspondientes al desarrollo del sistema radical y a la vida de la estaca.

MESEN (1998), dice que la estaquita juvenil debe conservar parte de la hoja, por ser esta fuente de asimilados, auxinas y otras sustancias, vitales para el enraizamiento. Sin embargo la hoja proporciona también una amplia superficie para la pérdida de agua por transpiración. Por estas razones las hojas deben recortarse a un tamaño tal que se logre el mejor balance entre las desventajas de la transpiración y la ventaja de la fotosíntesis (dependiendo de la época en la cual se realice el ensayo).

### **2.3. Sistemas de propagación**

Según JINKS (1995), las funciones de propagación son: mantener una atmosfera de baja evaporación y minimizar la perdida de agua en las estacas,

sin llegar a afectar la aireación del medio de enraizamiento; y, asegurar temperaturas adecuadas para la formación de raíces en la base de las estacas; y proveer niveles de luz para la fotosíntesis.

El uso de sombra en los sistemas de programación tiende a reducir la temperatura en las hojas así como la presión de vapor dentro de estas. Con la llegada de los sistemas de programación mediante nebulización por aspersion el efecto del enfriamiento del vapor permitido una reproducción en el uso de la sombra; además, redujo el gradiente de presión de vapor foliar al incrementar la humedad (LOACH, 1977).

La efectividad del propagador de sub-irrigación parece radicar en su capacidad de minimizar el estrés hídrico, protegiendo a las estacas de las fuertes variaciones ambientales externas, capaz de mantener húmedas relativas arriba de 90%, al igual que lo hace el propagador de nebulización por aspersion. Bajo condiciones tropicales, el propagador de subirrigación también mantiene las temperaturas del aire y del sustrato dentro de los rangos normales para el enraizamiento de especies forestales (20 – 25°C y 18 – 30°C, respectivamente) (MESEN y LEAKEY *et al.*, 1997).

#### **2.4. El propagador de subirrigación**

Este es un sistema muy simple de baja tecnología que no requiere un suministro de agua por cañería ni electricidad, según LEAKEY y MESEN *et al.* (1990), consiste básicamente en un marco de madera o de metal rodeado por plástico transparente para hacerlo impermeable. Los 25.00 cm se cubren con

capas sucesivas de piedras grandes (6.00 - 10.00 cm de diámetro), piedras pequeñas (3.00 - 6.00 cm) y grava y los últimos cinco centímetros se cubren con un sustrato de enraizamiento (arena fina, aserrín, etc.).

Los 20.00 cm basales se llenan con agua, de manera que el sustrato de enraizamiento siempre se mantendrá húmedo por capilaridad. Para introducir el agua u observar su nivel, se utiliza una sección de bambú o cualquier otro material insertado verticalmente a través de las diferentes capas de material. Internamente se utilizan marcos de reglas que le dan apoyo a la estructura y a la vez proporciona subdivisiones que permiten el uso de sustratos diferentes dentro del mismo propagador. La caja se cubre con una tapa de ajuste, también forrada de plástico, para mantener alta la humedad interna. El agua del propagador debe cambiarse al menos cada seis meses.

## **2.5. Antecedentes de la propagación por estacas en cacao**

Los primeros trabajos sobre la propagación de cacao por medio de estacas fueron realizadas por Pike, en Trinidad a partir del año 1930 (BRAUDEAU, 1981; FARIA y SACRAMENTO, 2003), siendo reexaminados por EVANS (1951). Quien puso en claro las condiciones para el éxito del enraizamiento (BRAUDEAU, 1981; WOOD, 1982).

La producción de plántones de cacao por estacas fue iniciada en el Brasil en la década del 50 (MARROCOS y SODRÉ *et al.*, 2003). Entretanto con el lanzamiento de híbridos biclonales, al final de la década del 50, el plantío clonal fue sustituido por la producción seminal. Con la diseminación de la escoba de

bruja (*Crinipellis pernicioso* (Stahel) Singer) en la región del sur de bahía, a partir de 1989, se tornó estratégica la sustitución de cacao susceptibles, de origen seminal, por plantas tolerantes, propagadas vegetativamente por los métodos de injerto y estacas (FARIA y SACRAMENTO, 2003). Sin embargo, en gran escala solamente fue iniciada en 1999 por el Instituto Bio-fábrica de Cacao (IBC), utilizando protocolo de producción de plántones Eucalipto de las empresas forestales, con adaptaciones a las condiciones morfo-fisiológicas del cacao (MARROCOS y SODRÉ *et al.*, 2003).

MESTANZA (1981), evaluó el efecto del Cycocel 500 A y el Ferban en el enraizado de estacas de cacao. En Tingo María, en dosis de 1000, 2000 y 4000 ppm en tiempos de 30, 60 y 90 minutos respectivamente, los cuales dieron resultado negativo en el enraizamiento de estacas de cacao.

Evans (1951), menciona que los mejores en enraizamiento con estacas de cacao de ramas terminales en abanico, de manera semileñosa se obtuvieron con AIB, a concentraciones que oscilan entre 4000 a 6000 ppm. Así mismo LEAL y HERNÁNDEZ (1994), en un experimento conducido en un propagador de neblina con sombreado de 50%, utilizando, sustrato arena, cascara de arroz, aserrín de coco (1:1:2) obtuvo los mejores porcentaje de enraizamiento con estacas jóvenes, y con concentraciones de AIB de 6000 ppm, en el cultivar de cacao "Ocumare 77"

Las estacas de los clones de cacao tolerantes a escoba de bruja, lanzados por las investigaciones, fueron estudiados utilizando estacas herbáceas y semileñosas de ramas plagiotrópicas, en las concentraciones

4000, 6000 y 8000 mg kg<sup>-1</sup> de AIB, habiendo obtenido índices de enraizamiento superiores a 70% para los clones CEPEC42, TSH 516 y TSH 565 e inferiores a 55% para el clon TSH 1188 (Sena-Gómez *et al.*, 1998; citados por FARIA y SACRAMENTO, 2003).

En la biofábrica de cacao localizada en Ilheus- Bahía-Brasil, más de 15000 estacas de cacao son colocadas diariamente para enraizar, valiéndose de la concentración única de 6000 mg kg<sup>-1</sup> de (AIB); conducido en cámara de nebulización intermitente, con luminosidad de 50% y utilizando como sustrato Plantmax y fibra de coco triturada en proporción (1:1). Así mismo en un experimento siguiendo los procedimientos de la biofábrica de cacao ( Brasil) se utilizó estacas apicales herbáceas de cacao ,clones, CEPEC 42, TSH 516, TSH 1188, presentaron índices satisfactorios de sobrevivencia y enraizamiento independientemente de la aplicación de la dosis de 0 o 6000 mg kg<sup>-1</sup> de (AIB). Con excepción del índice de sobrevivencia y materia seca de las raíces en las estacas de clon CEPEC 42, y materia seca de las partes aéreas del clon TSH 1188, la aplicación de mg kg<sup>-1</sup> de (AIB). Provoco aumento en todas las variables evaluadas (índice de sobrevivencia y enraizamiento, numero de raíces de primer orden, materia seca delas raíces y materia seca de la parte aérea) para todos los clones estudiados (FARIA y SACRAMENTO, 2003).

En trabajos efectuados durante los meses de mayo a julio del año 2002 con una precipitación pluvial de 753 mm y un promedio de 251 mm por mes con el sustrato de arena de 50% más tierra 50% y una capa de aserrín y con el clon CCN-51 más la aplicación de AIB se hallaron efectos favorables para el

enraizamiento de este clon (LAMA, 2002). Durante los meses de mayo a setiembre durante los años 2004 con una precipitación de 831.3 mm y un promedio de 166.26 mm por mes; con arena y tierra a igual proporción como sustrato y el clon CCN-51 y AIB como hormona, se obtuvo un 52% de enraizamiento con estacas traídas del campo e instaladas a temperaturas tempranas horas de la mañana, mientras que con estacas instaladas a horas cercanas al mediodía se obtuvo un 22.4% de enraizamiento (LAMA, 2004).

PAREDES y CANALS *et al.*, (2003) realizó un experimento en República Dominicana, evaluando sustratos en el enraizamiento de estacas de cacao. Las estacas se obtuvieron de ramas terminales jóvenes, con 4 a 5 hojas, Tomadas en horas de la mañana (6:00 am). A cada ramilla se les cortaron las hojas a la cuarta parte y se dio un corte de bisel a la base se introdujeron en una solución de Benomil al 1%. En el corte basal se aplicó ácido alfa-naftalenacético en polvo al 0.4%. Las bolsas se colocaron en una estructura de bambú en forma de caballete, de 50.00 cm de altura en el centro y 25.00 cm en ambos lados. Se cubrieron con plástico transparente para formar una cama húmeda los caballetes se colocaron en el vivero con un sarán al 75% de sombra. Se aplicó riego a los 15 y 35 días a los 63 días se retiró la cobertura plástica. Dejando las plántulas bajo el sarán para aclimatarlas. Los sustratos en los cuales se logró mayor enraizamiento y prendimiento de las estacas, fue suelo más aserrín (1:1), con 36.7% de enraizamiento respectivamente, el suelo utilizado fue de textura franco arcilloso arenoso.

En un experimento efectuado por LAMA (2006), se evaluó el efecto de AIB y el humus de lombriz y el enraizamiento de estacas de los clones de cacao en Tingo María, encontrando como mejor sustrato arena más tierra 1:1; así mismo el clon ICS-95 supero al clon CCN-51 en mayor porcentaje de estacas enraizadas (55.56 y 33.3% respectivamente), bajo la aplicación de AIB a  $3000 \text{ mg kg}^{-1}$  con la finalidad de determinar la capacidad de enraizamiento de estacas de cacao (clon CCN-51), en dos tipos de sustrato y tres concentraciones de AIB, realizó un experimento en el fundo agrícola de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Los resultados muestran el sustrato (tierra más arena 2:1 más núcleo de arena) en promedio de la dosis de AIB obtuvo el mejor resultado para el carácter longitud de raíz; con la aplicación de AIB 6000 ppm se obtuvo los mejores resultados.

Mientras que MENDOZA (2007), con la finalidad de determinar la capacidad de enraizamiento de estacas de cacao (clon CCN-51) en Tingo María; probó dos tipos de sustratos y tres concentraciones de AIB, utilizando estacas semiherbáceas. Los resultados obtenidos muestran que el sustrato (tierra + arena 2:1 + núcleo de arena) obtuvo el mejor resultado para el carácter longitud de raíz; mientras que con la aplicación de AIB a 6000 ppm se obtuvo los mejores resultados para el número de estacas enraizadas; en general nos menciona que los tratamientos con aplicación de AIB a dosis de 9000, 6000 y 3000 ppm muestran superioridad en los promedios diferenciándose estadísticamente con los tratamientos sin aplicación de AIB.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### 3.1. Ubicación del campo experimental

El presente trabajo de investigación se realizó en el mes de Enero del 2012; en el vivero de la Facultad de Agronomía, ubicado en el distrito de Rupa-Rupa, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco. Cuyas coordenadas geográficas (UTM) son: 390514.9524 E; 8970048.3926 N y 681.60 m.s.n.m.

### 3.2. Campo experimental

#### 3.2.1. Condiciones climáticas

**Cuadro 1.** Datos climatológicos de enero a abril del 2012, correspondientes al periodo experimental

Meses	Temperatura media (°C)	Humedad relativa (%)	Precipitación (mm)
Enero	25.40	86	375.00
Febrero	24.10	91	446.80
Marzo	25.30	86	463.20
Abril	25.40	86	357.10

FUENTE: SENAMHI Tingo María

En la primera semana de haber instalado el experimento por el transcurso de diez días al exterior de la cámara de subirrigación, bajo una malla sombreadora con 20% de traspaso de luz, se registró un promedio de humedad relativa de 84%; mientras que el promedio de la radiación solar

(sol/día) fue de 5.6 horas sol/día y el promedio de la temperatura del aire fue de 26°C.

### **3.2.2. Cámara de enraizamiento**

La cámara de subirrigación es un propagador basado en el diseño HOWLAND (LEAKEY y MESEN *et al.*, 1990), su estructura es de listones de madera forrada con polietileno (mica traslúcida) el cual crea su propio microclima la base de la cámara está rellena con lecho de piedras menudas o guijarros sobre el cual se colocó el sustrato (arena media). El sustrato fue previamente lavado, secado y luego desinfectado con hipoclorito de sodio (lejía) al 5.25%.

### **3.2.3. Características del área de propagación**

Instalación de 2.00 m de altura que proporcionó sombra de 80% para regular el paso de la radiación solar y la temperatura hacia las cámaras de subirrigación además presentó un piso con topografía plana para permitir la homogeneidad en la distribución del agua al interior de la cámara.

### **3.3. Factores evaluados**

Las evaluaciones se realizaron a inicio del mes de abril, cumpliendo los 80 días de iniciado el experimento

### **.3.3.1. Evaluación de enraizamiento (%)**

Se evaluó al final del experimento, contándose el número de estacas enraizadas en base al total de unidades experimentales (15 estacas por unidad experimental) por tratamiento y por repetición. Se consideró como estaca enraizada la que presentó al menos una raíz de 2.00 mm de longitud.

### **3.3.2. Evaluación del número de raíces**

Se evaluó al final del experimento, contándose el número de raíces por estacas, obteniendo un promedio en base al total de unidades experimentales (15 estacas por unidad experimental), por tratamiento y por repetición.

### **3.3.3. Evaluación de la longitud de raíz (cm)**

Se evaluó al final del experimento, midiendo con un vernier milimetrado la longitud de la raíz más larga (se tomó solo la longitud mayor) del total de unidades experimentales (15 estacas por unidad experimental), por tratamiento y por repetición.

### **3.3.4. Evaluación de brotación (%)**

Se evaluó al final del experimento, contándose el número de estacas brotadas en base al total de unidades experimentales (15 estacas por unidad experimental) por tratamiento y por repetición. Se considerara como estaca brotada la que presenta al menos un brote aéreo de 3.00 mm de longitud.

### **3.3.5. Evaluación de defoliación (%)**

Se evaluó al final del experimento, contándose el número de estacas defoliadas en base al total de unidades experimentales (15 estacas por unidad experimental) por tratamiento y por repetición.

### **3.3.6. Evaluación de la mortalidad (%)**

Se evaluó al final del experimento, contándose el número de estacas necrosadas en base al total de unidades experimentales (15 estacas por unidad experimental) por tratamiento y por repetición.

## **3.4. Componentes en estudio**

### **3.4.1. Material vegetativo**

- Estacas de cacao del clon CCN-51

### **3.4.2. Factores y niveles en estudio**

#### **➤ Tipos de estacas (A)**

- $a_1 =$  intermedio
- $a_2 =$  terminal

#### **➤ Dosis de AIB(B)**

- $b_1 =$  0 ppm
- $b_2 =$  2000 ppm
- $b_3 =$  4000 ppm
- $b_4 =$  6000 ppm

### 3.4.3. Tratamientos en estudio

**Cuadro 2.** Descripción de los tratamientos en estudio.

Tratamiento	Clave	Nivel de estaca	Dosis de AIB (ppm)
T <sub>1</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>1</sub>	intermedio	0
T <sub>2</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>2</sub>	intermedio	2000
T <sub>3</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>3</sub>	intermedio	4000
T <sub>4</sub>	a <sub>1</sub> b <sub>4</sub>	intermedio	6000
T <sub>5</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>1</sub>	terminal	0
T <sub>6</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>2</sub>	terminal	2000
T <sub>7</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>3</sub>	terminal	4000
T <sub>8</sub>	a <sub>2</sub> b <sub>4</sub>	terminal	6000

### 3.5. Diseño experimental

En el presente trabajo de investigación se utilizó el diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial 2A4B que contempló los tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B). Para el factor tipos de estacas, los tipos fueron:  $a_1$  = intermedio;  $a_2$  = terminal y como regulador de crecimiento se empleó el AIB (AIB), los niveles fueron:  $b_1$  = 0 ppm;  $b_2$  = 2000 ppm;  $b_3$  = 4000 ppm;  $b_4$  = 6000 ppm; cuyas interacciones hicieron un total de 8 tratamientos que en triplicado fueron un total de 24 unidades experimentales.

Cada unidad experimental estuvo constituido por 15 estacas, con tres repeticiones. Los resultados de enraizamiento (%), número de raíces, longitud de raíz (cm), brotación (%), defoliación (%) y mortalidad (%); fueron evaluados en el programa Microsoft Excel 2007; los datos serán analizados mediante el

análisis de varianza y sometidos a la prueba de Tukey ( $p \leq 0.01$  y  $p \leq 0.05$ ) empleando el procedimiento GLM (Modelo General Lineal) en el programa SAS V7.2 (SAS Institute Inc.), los datos de porcentaje serán transformado convenientemente mediante la fórmula  $\arcsen \sqrt{\%}$  y datos de conteo transformados a  $\sqrt{x + 1}$  (SNEDECOR y COCHRAN 1980).

### 3.5.1. Modelo aditivo lineal

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

**Dónde:**

$Y_{ijk}$  = Respuesta obtenida en la k-ésima repetición a la cual se le aplicó el i-ésimo, con el j-ésimo dosis de AIB.

$\mu$  = Es el efecto de la media general.

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

$\beta_j$  = Efecto del j-ésimo dosis de AIB.

$(\alpha\beta)_{ij}$  = Efecto de la interacción entre el i-ésimo tipo de estaca con el j-ésimo dosis de AIB.

$\epsilon_{ijk}$  = Efecto del error experimental en la k-ésima repetición a la cual se le aplicó el i-ésimo tipo de estaca, con el j-ésimo dosis de AIB.

**Para:**

- i = 1, 2 tipo de estaca.
- j = 1, 2,3, 4 dosis de AIB.
- k = 1, 2, 3 repeticiones.

**3.5.2. Análisis de varianza**

**Cuadro 3.** Esquema del análisis de varianza.

<b>Fuente de variabilidad</b>	<b>GL</b>
Tratamiento	7
A (Tipo de estaca)	1
B (Dosis de AIB)	3
AXB	3
Error experimental	16
Total	23

**3.6. Características de las unidades experimentales**

**3.6.1. Cámara de propagación**

- Largo total de cámara : 2.50 m
- Largo neto de cámara : 2.40 m
- Ancho total de cámara : 1.00 m
- Ancho neto de cámara : 0.90 m
- Área total de cámara : 1.91 m<sup>2</sup>
- Área neta de cámara : 1.76 m<sup>2</sup>
- Ancho entre cámaras : 0.40 m

### **3.6.2. Experimento**

- Número total de tratamientos : 8
- Número total de repeticiones : 3
- N° de estacas / tratamiento : 15
- N° de estacas/ repetición : 45
- Distanciamiento entre estacas : 0.15 m

### **3.7. Procedimiento experimental**

#### **3.7.1. Construcción e implementación de la cámara de subirrigación**

Se preparó el área donde se instaló las cámaras de subirrigación, con un terreno nivelado y homogenizado; forrados con un plástico transparente doble que lo hace impermeable. Los primeros 25.00 cm de la base se cubrieron con capas sucesivas de piedras grandes (6.00 – 10.00 cm), piedras pequeñas (3.00 – 6.00 cm) y grava, y los últimos 5.00 cm se cubrieron con un sustrato de enraizamiento (arena fina). Los 20.00 cm basales se llenaron con agua de manera que el sustrato de enraizamiento siempre se mantenía húmedo por capilaridad. La caja se cubrió con una tapa que ajustaba bien, también forrada con plástico, manteniendo la alta humedad interna.

#### **3.7.2. Construcción e implementación del vivero**

Las cámaras de subirrigación fueron instaladas bajo las instalaciones del vivero de la facultad de agronomía, dando los ajustes necesarios y aprovechando el 60% de sombra que ofrece dichas instalaciones

### **3.7.3. Colecta y acondicionamiento del material vegetativo**

La colecta del material vegetativo se realizó de plantas madres de cacao (clon CCN-51) sanas y vigorosas con un periodo de vida de 5 – 7 años, que es donde ha alcanzado el nivel de producción, previo a la colecta se aplicó un producto fúngico para elevar el nivel de sanidad. La colecta se realizó en horas de la mañana de 6.00 a 7.00 am, tomándose ramas que provienen de las diferentes partes de la planta y que presentan un crecimiento plageotrópico (laterales). El cual se diferenció por el color marrón verdoso y verde; de 10.00 cm de longitud.

### **3.7.4. Traslado y almacenamiento del material vegetativo**

Posteriormente a la colecta del material vegetativo, se trasladó en una caja de refrigeración a base de hielo para evitar el “estrés” fisiológico que podrían sufrir durante el periodo desde el corte hasta su establecimiento en el propagador.

### **3.7.5. Preparación y establecimiento de las estacas**

Se utilizaron estacas de 10.00 cm de longitud con un corte transversal, estas conservaron parte de la área foliar (la cuarta parte), se trataron en AIB con la técnica de inmersión rápida con alcohol puro al 96° a las dosis respectivas al ensayo. En el sustrato dentro del propagador se abrió hoyos de aproximadamente 4.00 cm de profundidad en el cual se colocaron las estacas con cuidado haciendo presión al sustrato firmemente alrededor de la estaca logrando una buena superficie de contacto.

El espaciamiento entre estacas fue de 10.00 cm, con una leve inclinación y culminando la instalación se aplicó un fungicida (Benomil), el etiquetado se colocó una vez instalado el ensayo indicando el bloque, la combinación de factores en estudio, fecha y especie. Las estacas fueron distribuidas de acuerdo al diseño experimental.

### **3.7.6. Equipos de medición ambientales**

Se registró la humedad relativa y la temperatura del aire. Todas estas evaluaciones por el transcurso de cinco días desde 6.00 am a 6.00 pm de iniciado el ensayo.

### **3.7.7. Manejo del propagador de subirrigación**

Una vez establecidas las estacas en el propagador, se asperjó parte de la hoja con que fueron extraídas, con agua mediante un aspersor manual. Se realizaron inspecciones regularmente para detectar y corregir problemas patológicos, eliminando hojas caídas o estacas con síntomas de necrosis que podrían ser foco de infección, para observar y mantener el nivel de la tabla de agua y para evaluar el avance en el proceso de enraizamiento. Siempre que se abrió la tapa del propagador para inspecciones, se tuvo que rociar agua mezclado con un fungicida a las hojas de la estaca.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Porcentaje de enraizamiento (%)

En el Cuadro 4, se observa el análisis de varianza del porcentaje de enraizamiento, donde no existen diferencias estadísticas, para ningunas de las fuentes de variación: tipos de estacas (A), dosis de AIB (B) tampoco para interacción AxB (Tipos de estacas por dosis de AIB).

**Cuadro 4.** Análisis de varianza del porcentaje de enraizamiento evaluado a los 80 días. Datos transformados a  $\arcsen \sqrt{\%}$

Fuentes de Variación	GL	C M	Signif.
Tratamiento	7	0.067	NS
A (Tipos de estacas)	1	0.073	NS
B (Dosis de AIB)	3	0.032	NS
AxB	3	0.099	NS
Error experimental	16	0.033	
Total	23		

$$CV = 26\%$$

NS : No existe diferencia estadística

En el Cuadro 5, según la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), para el factor principal tipos de estacas, el mayor porcentaje de enraizamiento se obtuvo con la estaca tipo intermedio con 46.67%, comportándose estadísticamente diferente a la estaca tipo terminal con 36.67%.

Lo mencionado por LEAKEY (1983), queda comprobado, ya que en un mismo tallo o brote existen gradientes en succulencia, área foliar, edad,

morfología así como diferencial en el potencial de agua, todo lo cual afecta el enraizamiento. Las diferencias en respuesta al enraizamiento entre estacas de zonas más apicales que las de los sitios basales, LO (1985), menciona que se debe probablemente a diferencias en la actividad celular, la cantidad de reguladores endógenos, los niveles de asimilados y el grado de lignificación.

Sin embargo, los valores obtenidos superior al 70% de enraizamiento con cualquier tipo de estaca son aceptables en un programa operativo de clonación. Dando a entender que ninguno de los tratamientos nos da los resultados con un porcentaje mayor del 70%, esto quiere decir que ningún tratamiento es recomendable para poder realizar una propagación mediante enraizamiento.

Para el factor principal dosis de AIB, se observa que el mayor porcentaje de enraizamiento se obtuvo con la dosis 6000 ppm con 46.67%, teniendo la dosis 4000 ppm un porcentaje de enraizamiento igual al anterior; diferenciándose estadísticamente a las demás estacas tratadas con AIB con dosis 2000 ppm y 0 ppm; que obtuvieron porcentajes menores de enraizamiento (41.11 y 32.22% respectivamente).

Dando a entender que las estacas de cacao necesitan principalmente el AIB para incrementar su porcentaje de enraizamiento. HAISSIG. (1974) y Leakey *et al.*, 1982 citado por NÚÑEZ (1997); menciona sus efectos directos sobre la división celular asociados con un aumento en la tasa de transporte de carbohidratos y cofactores foliares a la base de las estacas donde promueven la iniciación y desarrollo de las raíces. Dichos efectos no se pudieron observar

en el mayor porcentaje de enraizamiento en las estacas de cacao debido a que estas no fueron tratadas con AIB.

En las estacas de cacao que fueron tratadas con AIB, los eventos secuenciales de la iniciación y formación de las raíces adventicias fueron similares a las estacas no tratadas con AIB. HARTMANN y KESTER (1996) atribuyen dicho comportamiento al contenido endógeno de auxinas que presentan las estacas en el momento de ser propagados.

**Cuadro 5.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al porcentaje de enraizamiento evaluado a los 80 días.

Tratamiento	Porcentaje de enraizamiento (%)	Signf.
<b>A (Tipos de estacas)</b>		
a <sub>1</sub> (intermedio)	46.67	a
a <sub>2</sub> (terminal)	36.67	b
<b>B (Dosis de AIB)</b>		
b <sub>4</sub> (6000 ppm)	46.67	a
b <sub>3</sub> (4000 ppm)	46.67	a
b <sub>2</sub> (2000 ppm)	41.11	b
b <sub>1</sub> (0 ppm)	32.22	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

Para tratamientos de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) (Cuadro 6, Figura 1 y Figura 2), sí mostró efecto significativo en el porcentaje de enraizamiento. Es decir, que los tipos de estacas respondieron de manera diferente a las dosis de AIB utilizadas. El mejor resultado se encontró en el tratamiento T<sub>4</sub> (Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB) reportando un 68.89%

de enraizamiento; siendo diferentes a los demás tratamientos T<sub>3</sub>, T<sub>6</sub> y T<sub>7</sub> (siendo 46.67% de enraizamiento, en todos los tratamientos mencionados), es probable que las estacas intermedias tengan una condición fisiológica y anatómica ideal y poseen varios mecanismos que reducen o anulan la efectividad de la auxina natural AIA, conjugando con otros compuestos o destruyéndolos, lo cual no sucede con el AIB (BLAZICH, 1988).

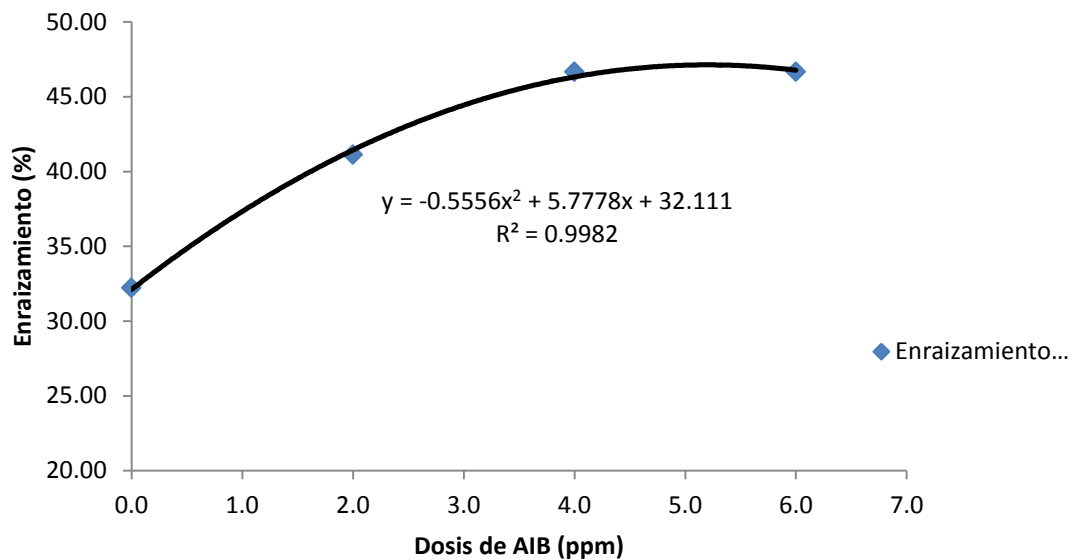
**Cuadro 6.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los tratamientos en el porcentaje de enraizamiento evaluado a los 80 días.

Tratamiento	Descripción de tratamientos	Porcentaje de enraizamiento (%)	Signif.
T <sub>4</sub>	Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB	68.89	a
T <sub>3</sub>	Estaca intermedio + 4000 ppm de AIB	46.67	b
T <sub>6</sub>	Estaca terminal + 2000 ppm de AIB	46.67	b
T <sub>7</sub>	Estaca terminal + 4000 ppm de AIB	46.67	b
T <sub>1</sub>	Estaca intermedio + 0 ppm de AIB	35.56	c
T <sub>2</sub>	Estaca intermedio + 2000 ppm de AIB	35.56	c
T <sub>5</sub>	Estaca terminal + 0 ppm de AIB	28.89	d
T <sub>8</sub>	Estaca terminal + 6000 ppm de AIB	24.44	e

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

Al parecer, la mayor habilidad de enraizamiento en las estacas tratadas con AIB está relacionada con el incremento de la actividad cambial subsecuente aumento del tejido parenquimáticas de mayor actividad metabólica en las estacas, circunstancias que pueden incidir favorablemente en la disponibilidad de carbohidratos solubles durante el proceso de enraizamiento, efecto conocida para las auxinas (VIEITEZ y BALLESTER *et al.*, 1980).

Cabe destacar en el tratamiento T<sub>8</sub> correspondiente a la estaca terminal con 4000 ppm de AIB enraizó poco, reportando un 24.44% de enraizamiento. Todos los tratamientos antes mencionados estadísticamente presentan diferentes efectos, siendo el tratamiento T<sub>4</sub> (Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB) que fue significativamente superior a los demás tratamientos o combinaciones. Los resultados parecen indicar que el contenido de auxina natural y la adición de AIB en las estacas de cacao son sumamente importante.



**Figura 1.** Diagrama de dispersión entre los tipos de estacas y las dosis de AIB, con una curva de ajuste que aproxima la relación entre variables.

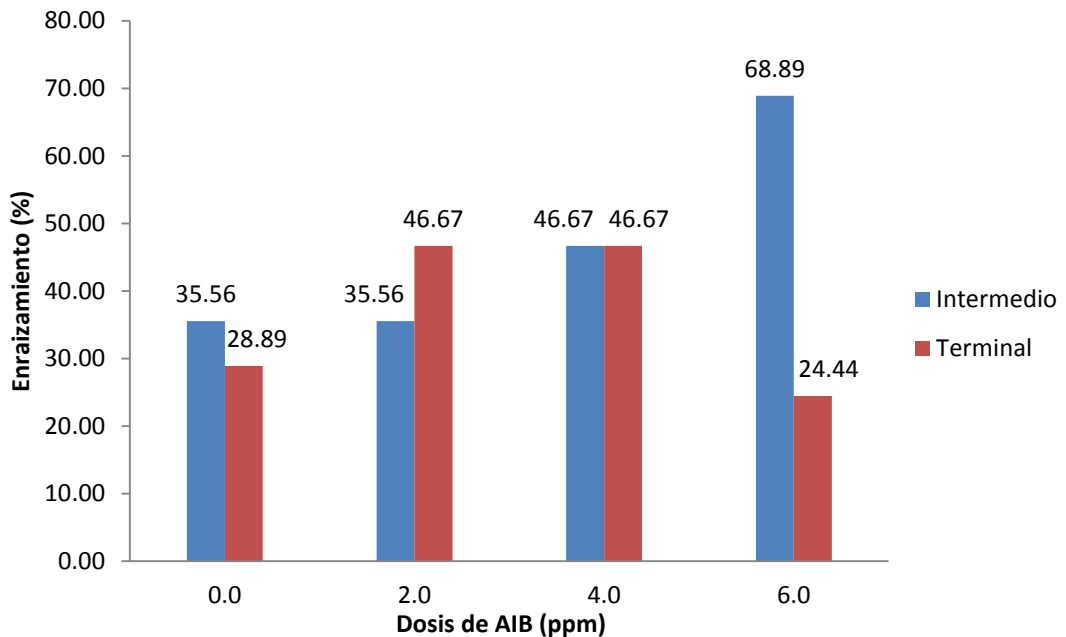
Existen otros factores que afectan al enraizamiento, entre ellas la humedad relativa, bajo las condiciones de Tingo María se ha registrado un rango de 82 - 95% (Cuadro 1). Esta alta humedad relativa tiene influencia directa sobre las estacas de cacao, que logran mantener una condición de

turgencia a lo largo del periodo de enraizamiento. El mantenimiento de la turgencia es crítico durante las primeras semanas, cuando las estacas aún no han desarrollado raíces que puedan compensar grandes pérdidas de agua por transpiración. Las variaciones en humedad relativa están asociadas a variaciones en irradiación (intensidad lumínica) y su efecto sobre la temperatura; los aumentos en la irradiación van seguidos de disminuciones en la humedad relativa.

La efectividad del propagador de subirrigación radica en su capacidad de mantener una alta humedad relativa y bajos déficits de presión de vapor, manteniendo así la turgencia foliar de las estacas de cacao. La condición hídrica de las estacas es gobernada por el balance entre pérdidas por evaporación a través de las hojas y la absorción de agua por las estacas (GAY y LOACH, 1977). Puesto que las estacas carecen de raíces al inicio, deben depender de la retención de su turgencia y de la absorción de agua a través del corte en la base y/o a través de la superficie de las hojas y el tallo (LOACH, 1988).

Otro factor es la temperatura; el rango de temperatura del aire dentro y fuera del propagador tuvo un promedio de 27°C. LEAKEY y MESEN (1991), indican que las temperaturas bajas son importantes por dos razones; i) las tasas de evaporación son menores, y ii) la capacidad de retención de agua del aire (humedad) es dependiente de la temperatura, por lo cual las temperaturas bajas ayudan a evitar el estrés hídrico al mantener la humedad relativa alta. La temperatura ambiental óptima para el enraizamiento varía según la especie

(HARTMANN y KESTER, 1997). BOTTI (1999), señala que la mayoría de las especies requieren rangos diurnos de 20 - 27°C, mientras (HARTMANN y KESTER, 1997) restringen el rango de 21 - 27°C. La temperatura nocturna ideal debe estar alrededor de los 15°C (HARTMANN y KESTER, 1997; BOTTI, 1999).



**Figura 2.** Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre el porcentaje de enraizamiento de estacas de cacao, evaluados a 80 días en cámaras de subirrigación.

Otras investigaciones indican que la humedad debe mantenerse alta; entre 70 y 80% aproximadamente para evitar la deshidratación del material vegetal (DIRR y HEUSER, 1987; HARTMANN y KESTER, 1996; BOTTI, 1999); aunque la humedad registrada durante los primeros días fue en promedio de 84%, debiendo favorecer al enraizamiento de las estacas.

#### 4.2. Número de raíces

El análisis de varianza (Cuadro 7), para el número de raíces por estaca, muestra que no existen diferencias estadísticas para todas las fuentes de variación: tipos de estacas (A), dosis de AIB (B), ni para la interacción AxB (Tipos de estacas por dosis de AIB).

**Cuadro 7.** Análisis de varianza del número de raíces por estacas evaluado a los 80 días. Datos transformados a  $\sqrt{(x + 1)}$ .

Fuentes de variación	GL	CM	Signif.
Tratamiento	7	0.628	NS
A (Tipos de estacas)	1	0.792	NS
B (Dosis de AIB)	3	0.755	NS
A x B	3	0.447	NS
Error experimental	16	0.333	
Total	23		

$$CV = 26.10\%$$

NS : No existe diferencia estadística

La prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), para el efecto principal tipos de estacas (Cuadro 8), muestra que no existen diferencias estadísticas significativas entre los tipos de estacas. Sin embargo las estacas terminales formaron en promedio mayor cantidad de raíces adventicias (5.00 raíces) frente a las estacas intermedias (3.55 raíces), estas diferencias podrían estar involucradas con el grado de juvenilidad, lignificación del tejido, el nivel endógeno de fitohormonas o el contenido de reservas. VEIERSKOV y ANDERSEN (1988), describe una relación positiva del contenido de carbohidratos con la capacidad de enraizado y el número de raíces formadas en estacas de diferentes especies leñosas y

herbáceas, y agrega que es común que exista un gradiente en la concentración de carbohidratos desde el ápice hasta la base de los tallos.

En cuanto a la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), para el factor dosis de AIB (Cuadro 8), no existen diferencias estadísticas entre los tratamientos en estudio, aunque la dosis 6000 ppm de AIB fue la que presentó la mayor cantidad de raíces adventicias (6.67 raíces) con un incremento considerable con respecto a los valores observados del tratamiento sin la aplicación de AIB (2.83 raíces).

Sin embargo el número promedio de raíces por estaca, mostró casi la típica tendencia creciente al aumentar la dosis de AIB. Esto indica que la aplicación de AIB en el caso del cacao aceleró la formación y el crecimiento inicial de las raíces adventicias en las estacas de esta especie. En todos los casos las raíces emergieron de la parte lateral de las estacas. Esta tendencia posiblemente se relacione con la hipótesis de que cada una de las fases sucesivas que ocurren durante el proceso de enraizamiento es fisiológicamente diferente, como lo es también, la necesidad de auxina en cada fase (GASPAR y HOFINGER, 1988). Se observó además en las estacas de cacao no tratadas con AIB, similar número de proliferación celular al igual que en la formación del parénquima radical en las estacas, dando como consecuencia un número similar de raíces emergidas indicando con ello que existió cierta liberación y traslocación de auxinas endógenas.

Generalmente, se acepta que los procesos de iniciación y desarrollo de raíces son afectadas por un juego diferente de condiciones (LOVELL y WHITE,

1986). Por su parte, el número de raíces producido por las estacas es altamente influenciado por la habilidad de la estaca a suplir carbohidratos, ya sea de reserva o producido mediante fotosíntesis, al área donde surgen las raíces (LOVELL y WHITE, 1986; MOE y ANDERSEN, 1988; VEIERSKOV y ANDERSEN, 1988). Por lo tanto, una vez que la estaca enraíza, las dosis crecientes de AIB, mediante sus efectos sobre la división celular y el transporte de sustancias hacia la base de la estaca, permiten el desarrollo de un mayor número de raíces, sin embargo el AIB presente naturalmente en la estaca produjo el resultado estadísticamente parecidos, tal como se presentó en el presente estudio.

**Cuadro 8.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al número de raíces por estaca evaluado a los 80 días.

<b>Tratamiento</b>	<b>Número de Raíces</b>	<b>Signif.</b>
<b>A (Tipos de estacas)</b>		
a <sub>2</sub> (terminal)	5.00	a
a <sub>1</sub> (intermedio)	3.55	a
<b>B (Dosis de AIB)</b>		
b <sub>2</sub> (2000 ppm)	6.67	a
b <sub>1</sub> (0 ppm)	4.33	a
b <sub>3</sub> (4000 ppm)	3.26	a
b <sub>4</sub> (6000 ppm)	2.83	a

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

En el caso del cacao, el incremento en el número de raíces por estaca (Cuadro 8) puede estar relacionado con las condición fisiológica de la planta madres donantes que influyen en el contenido de carbohidratos de las estacas, aunque también puede haber relación con la dosis de AIB tal como se observa en el presente estudio.

HAISSIG (1986) y VEIERSKOV y ANDERSEN (1988), indican que el estado fisiológico de la planta donante influye en el metabolismo de los carbohidratos de las estacas, por causar variaciones en la cantidad y tipos de sustratos disponibles para su metabolismo. Una reducción en las concentraciones de carbohidratos de las estacas, así como de nitrógeno en las plantas donadoras por variaciones ambientales, reduce el desarrollo y número de raíces producidas por las estacas (VEIERSKOV y ANDERSEN, 1988).

Para el efecto de los tratamientos, la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) (Cuadro 9 y Figura 3), mostró diferencia significativa en el número de raíces. Teniendo los tratamientos  $T_4$ ,  $T_6$ ,  $T_3$  y  $T_8$  comportamientos estadísticamente similares; sin embargo, el tratamiento  $T_4$  (Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB) tuvo un comportamiento superior al resto de los tratamientos; en cuanto al promedio del número de raíces por estaca, con un promedio de 8.30 raíces siendo superior a las demás, seguida del tratamiento  $T_6$  (Estaca terminal + 2000 ppm de AIB) con 5.30 raíces y los tratamientos  $T_3$  y  $T_8$  (Estaca intermedio + 4000 ppm de AIB y Estaca terminal + 6000 ppm de AIB respectivamente) ambos con 5.00 raíces por estaca.

El número de raíces producidos por las estacas es altamente influenciado por la habilidad de la estaca a suplir carbohidratos, ya sea de reserva o producido mediante fotosíntesis, al área donde surgen las raíces (LOVELL y WHITE, 1986; MOE y ANDERSEN, 1988; VEIRSKOV y ANDERSEN, 1982). Mientras que el tratamiento T<sub>7</sub> (Estaca terminal + 4000 ppm de AIB) es el que tuvo el promedio más bajo en cuanto al número de raíces, con 1.50 raíces por estaca; siendo el que peor respuesta nos dio.

**Cuadro 9.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos principales (A) y (B) en el número de raíces por estaca evaluado a los 80 días.

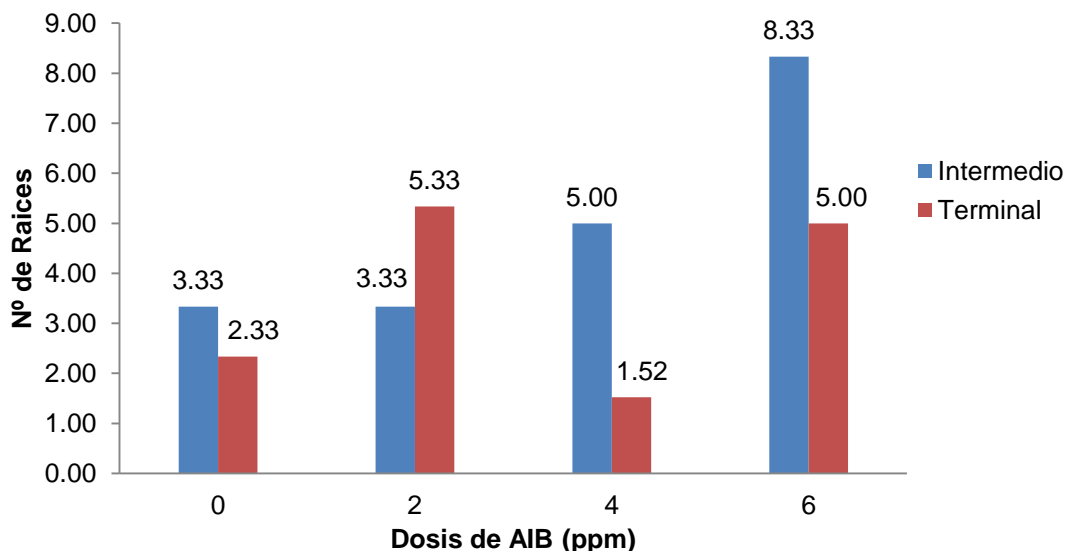
Tratamiento	Descripción de tratamientos	Número de raíces	Signif.
T <sub>4</sub>	Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB	8.30	a
T <sub>1</sub>	Estaca terminal + 2000 ppm de AIB	5.30	a b
T <sub>2</sub>	Estaca intermedio + 4000 ppm de AIB	5.00	a b
T <sub>3</sub>	Estaca terminal + 6000 ppm de AIB	5.00	a b
T <sub>4</sub>	Estaca intermedio + 0 ppm de AIB	3.30	b
T <sub>1</sub>	Estaca intermedio + 2000 ppm de AIB	3.30	b
T <sub>2</sub>	Estaca terminal + 0 ppm de AIB	2.30	b
T <sub>3</sub>	Estaca terminal + 4000 ppm de AIB	1.50	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

Sin embargo no existe diferencia estadística, entre, el número promedio de raíces por estaca entre los dos tipos de estacas sin dosis de AIB, teniendo el T<sub>1</sub> (Estaca intermedio + 0 ppm de AIB) un promedio de 3.30 raíces por estaca mientras que el T<sub>5</sub> (Estaca terminal + 0 ppm de AIB) tiene un promedio de 2.30 raíces por estaca, probablemente debido a que existió una liberación y

traslocación de la auxina endógena en la estaca terminal, la cual es un requerimiento para la iniciación de las raíces adventicias en tallo y para la división de las primeras células iniciadoras de la raíz (HARTMANN y KESTER, 1996; SHARMA; SHARMA y SHARMA, 1991; VARGAS; ARELLANO y SOTO, 1999).

Otro factor que afecta el enraizamiento es la irradiación; en el ambiente del propagador ha sido identificado como uno de los factores de mayor influencia en el enraizamiento de estacas con hoja (LOACH, 1977; LOACH y WHALLEY, 1978; LOACH y GAY, 1979; FRENCH y LIN, 1984; GRANGE y LOACH, 1985). La irradiación en el ambiente afecta principalmente la turgencia de las hojas y la producción de carbohidratos requeridos para la iniciación y crecimiento de las raíces (GRANGE y LOACH, 1985).



**Figura 3.** Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre el número de raíces por estacas de cacao, evaluados a 80 días en la cámara de subirrigación.

La irradiación no debería ser tan alta como para inhibir el enraizamiento a través de sus efectos sobre la acumulación de azúcares y pérdida de turgencia, pero debería ser suficiente para permitir la producción fotosintética de carbohidratos para la iniciación y crecimiento de las raíces (GRANGE y LOACH, 1985; LOACH, 1988). Es por ello que para el experimento se utilizó una malla sombreadora al 20% de traspaso de luz, además las hojas de las estacas de cacao se podaron en la cuarta parte para reducir la transpiración, para permitir al mismo tiempo cierta actividad fotosintética durante el periodo de enraizamiento de 80 días.

Evidentemente la sombra excesiva tampoco es recomendable, puesto que también se requiere una adecuada radiación solar para fotosintetizar y su influencia se refleja en la producción de asimilados, en el metabolismo y la traslocación de las auxinas y afecta el balance entre auxinas y carbohidratos, importante en el enraizamiento.

#### **4.3. Longitud de raíz (cm)**

Del análisis de varianza (Cuadro 10) se observa claramente, que la respuesta de la longitud de la raíz está influenciada por el factor principal dosis de AIB (B) en forma significativa. Así mismo nos muestra que no existe diferencia estadística en el factor tipos de estacas (A), ni en la interacción (AxB) (tipos de estacas por dosis de AIB); quedando como único responsable de la respuesta a las diferentes dosis de AIB.

**Cuadro 10.** Análisis de varianza de la longitud de raíz por estaca, evaluado a los 80 días. Datos transformados a  $\sqrt{(x + 1)}$ .

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Signif.</b>
Tratamiento	7	0.691	NS
A (Tipos de estacas)	1	0.196	NS
B (Dosis de AIB)	3	1.439	*
AxB	3	0.107	NS
Error experimental	16	0.356	
Total	23		

$$CV = 12.9\%$$

NS : No existe diferencia estadística

\* : Significación estadística al 5% de probabilidad

En el Cuadro 11, observamos la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) de los efectos principales tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B); mostrando que los tipos de estacas tienen comportamientos estadísticamente parecidos, en cuanto al promedio de la longitud de la raíz; siendo el promedio de la estaca terminal superior con 21.65 cm en comparación a la estaca intermedia con 19.86 cm. Estas diferencias posiblemente se deban a que en la estaca basal existe mayor presencia de carbohidratos como fuente de energías lo cual puede provocar una demora en que estos carbohidratos logren una rápida producción de nuevos metabólicos como el almidón (PURI y KHARA, 1992). Según MOE y ANDERSEN (1988) y HAISSIG (1986), el nivel total de carbohidratos en las estacas está más relacionado con el desarrollo de raíces que con el inicio de enraizamiento.

También se puede observar que para el factor dosis de AIB, la dosis 6000 ppm de AIB es estadísticamente superior al resto; por lo tanto; fue la dosis que mejor respuesta causó con un promedio de 27.27 cm de raíz, mientras que las dosis 2000 ppm, 0 ppm y 4000 ppm de AIB tuvieron resultados estadísticamente similares (20.38, 18.18 y 17.19 cm de raíz respectivamente), pero estadísticamente inferiores a la dosis 6000 ppm de AIB. Garrieron (1968); citado por HENRIQUEZ (2004), afirma que la iniciación de raíces y el crecimiento radicular son procesos morfogénéticos separados.

**Cuadro 11.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente a la longitud de la raíz por estaca, evaluados a los 80 días.

Tratamiento	Longitud de raíz (cm)	Signif.
<b>A (Tipos de estacas)</b>		
a <sub>2</sub> (terminal)	21.65	a
a <sub>1</sub> (intermedio)	19.86	a
<b>B (Dosis de AIB)</b>		
b <sub>4</sub> (6000 ppm)	27.27	a
b <sub>2</sub> (2000 ppm)	20.38	b
b <sub>1</sub> (0 ppm)	18.18	b
b <sub>3</sub> (4000 ppm)	17.19	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

Para el efecto de los tratamientos, la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) (Cuadro 12 y Figura 4), se observa diferencia significativa entre los tratamientos en cuanto a la longitud de la raíz. Siendo el tratamiento T<sub>8</sub> (Estaca terminal + 6000 ppm de AIB) superior a los demás con un promedio de 27.50 cm, aunque el

tratamiento T<sub>4</sub> (Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB) con un promedio de 27.00 cm tiene un comportamiento estadísticamente parecida al T<sub>8</sub>. Mientras que el tratamiento que tuvo la respuesta más baja es el T<sub>7</sub> (Estaca terminal + 4000 ppm de AIB) con un promedio de 16.70 cm. Podemos observar que entre los tratamientos T<sub>8</sub> y T<sub>7</sub>, el factor que determina la longitud de la raíz es la dosis de AIB, siendo la dosis 6000 ppm de AIB la que mejor respuesta proporciona en cuanto a la longitud de la raíz.

**Cuadro 12.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los tratamientos en la longitud de raíz por estaca, evaluado a los 80 días.

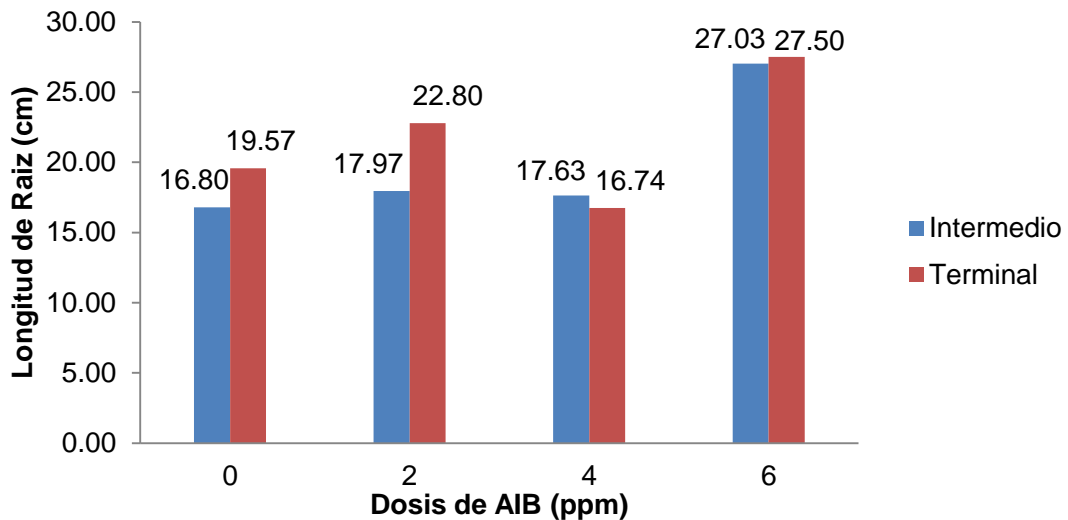
Tratamiento	Descripción de tratamientos	Longitud de raíz (cm)	Signif.
T <sub>8</sub>	Estaca terminal + 6000 ppm de AIB	27.50	a
T <sub>4</sub>	Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB	27.00	a
T <sub>6</sub>	Estaca terminal + 2000 ppm de AIB	22.80	b
T <sub>5</sub>	Estaca terminal + 0 ppm de AIB	19.60	b c
T <sub>2</sub>	Estaca intermedio + 2000 ppm de AIB	18.00	c
T <sub>3</sub>	Estaca intermedio + 4000 ppm de AIB	17.60	c
T <sub>1</sub>	Estaca intermedio + 0 ppm de AIB	16.80	c
T <sub>7</sub>	Estaca terminal + 4000 ppm de AIB	16.70	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

Cabe resaltar que los tratamientos que tuvieron la dosis 6000 ppm de AIB como uno de sus factores son los que mejor resultado dieron en cuanto al promedio de la raíz, al igual que las estacas que mayor longitud de raíz tuvieron son las terminales, esto puede ser porque de estas, sus células están constante división celular, la cual de alguna manera puede haber influenciado a

que las células de las raíces se multiplicaran, la cual puede haber facilitado en la elongación de la raíz.

Los tratamientos sin dosis de AIB, T<sub>5</sub> (Estaca terminal + 0 ppm de AIB) y T<sub>1</sub> (Estaca intermedio + 0 ppm de AIB) tuvieron comportamientos estadísticamente diferentes, teniendo como promedio 19.60 y 16.80 cm respectivamente, los cuales están por debajo de los obtenidos con la dosis de 6000 ppm de AIB.



**Figura 4.** Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre la longitud de raíz por estaca de cacao, evaluados a 80 días en cámaras de subirrigación.

De acuerdo a lo que se observa en la Figura 4, es notorio que los mejores resultados para la longitud de la raíz, se obtuvieron con las estacas terminales en comparación con las estacas intermedias; aunque en ninguno de los casos se mostró la típica tendencia creciente al aumentar la dosis de AIB, como se ha observado en muchas otras especies tropicales (MESEN, 1993; MESEN y LEAKEY *et. al.*, 1996).

#### 4.4. Porcentaje de brotación (%)

En el Cuadro 13, se presenta el análisis de varianza para el porcentaje de brotación; se puede observar que el porcentaje de brotación es una respuesta que depende de diferentes factores; ya que hay diferencias estadísticas altamente significativas en la fuente de variación principal tipos de estacas (A), mientras que en la interacción (AxB) (tipos de estacas por dosis de AIB) existe solo diferencias estadísticas significativas, sin embargo en la fuente de variación dosis de AIB (B) no existe significación estadística; dejando claro que la respuesta está controlado principalmente por el factor tipo de estaca.

**Cuadro 13.** Análisis de varianza del porcentaje de brotación, evaluados a los 80 días. Datos transformados a  $\arcsen \sqrt{\%}$ .

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Signif.</b>
Tratamiento	7	0.101	*
A (Tipos de estacas)	1	0.315	**
B (Dosis de AIB)	3	0.007	NS
AxB	3	0.124	*
Error experimental	16	0.030	
<b>Total</b>	<b>23</b>		

$$CV = 31.2 \%$$

NS : No existe diferencia estadística

\* : Significación estadística al 5% de probabilidad

\*\* : Existe significación estadística al 1% de probabilidad

De acuerdo a lo mostrado con la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) en el Cuadro 14, para el efecto principal tipos de estacas (A), la estaca terminal presentó un promedio mayor con 39.44% de brotación, diferenciándose estadísticamente y

siendo superior de la estaca intermedia el cual presento un promedio de 21.67% de brotación. Esto puede ser debido a que, las gradientes hormonales pueden variar de acuerdo el tipo de estaca, las cuales pueden incrementarse o reducirse provocando o no el brotamiento en la estaca.

**Cuadro 14.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al porcentaje de brotación, evaluados a los 80 días.

Tratamiento	Porcentaje de brotación (%)	Signif.
<b>A (Tipos de estacas)</b>		
a <sub>2</sub> (terminal)	39.44	a
a <sub>1</sub> (intermedio)	21.67	b
<b>B (Dosis de AIB)</b>		
b <sub>4</sub> (6000 ppm)	33.33	a
b <sub>2</sub> (2000 ppm)	31.11	a b
b <sub>1</sub> (0 ppm)	30.00	a b
b <sub>3</sub> (4000 ppm)	27.78	b

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

En cuanto al efecto principal del factor dosis de AIB (B), muestra que la dosis 4000 ppm de AIB tiene un promedio superior al resto de las dosis con un 33.33% de brotación; seguidos de las dosis 6000 ppm de AIB y 2000 ppm de AIB (31.11 y 30.00% de brotación respectivamente), los cuales tienen comportamientos estadísticamente parecidas entre ellas pero diferente las estacas sin aplicación de AIB. Estando con el promedio inferior la dosis 0 ppm de AIB con 27.78% de brotación siendo el que respuesta más deficiente proporciono.

Al no aplicar auxinas en cacao, el brote empieza a desarrollarse en la estaca antes de la formación de raíces. Esto crea un punto de atracción de asimilados hacia los brotes, en competencia con la base de la estaca, lo cual reduce el enraizamiento.

En la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los tratamientos (Cuadro 15), el tratamiento  $T_4$  (Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB) muestra mayor porcentaje de brotación siendo superior estadísticamente al resto de los tratamientos con un promedio de 55.56% de brotación seguido de los tratamientos  $T_3$  (Estaca intermedio + 4000 ppm de AIB) y  $T_1$  (Estaca intermedio + 0 ppm de AIB) con 40.00 y 35.56% de brotación respectivamente, teniendo comportamientos estadísticamente diferentes, según los resultados obtenidos, dando suponer que el porcentaje de brotación está influenciado en la aplicación de AIB independientemente del tipo de estaca.

Mientras que el  $T_8$  (Estaca terminal + 6000 ppm de AIB), fue el que menor promedio proporciono con 6.67% de brotación, teniendo estadísticamente un comportamiento diferente e inferior al resto de tratamientos; esto puede ser debido a que la aplicación de AIB en estos casos resulta tóxico para este tipo de estaca.

Es importante mencionar que mientras la estaca no cuenta con un adecuado sistema radicular no es posible que se presente una brotación abundante, ya que esto provoca un desequilibrio entre la fotosíntesis y respiración y/o las sustancias nutricionales de la estaca son empleadas para la

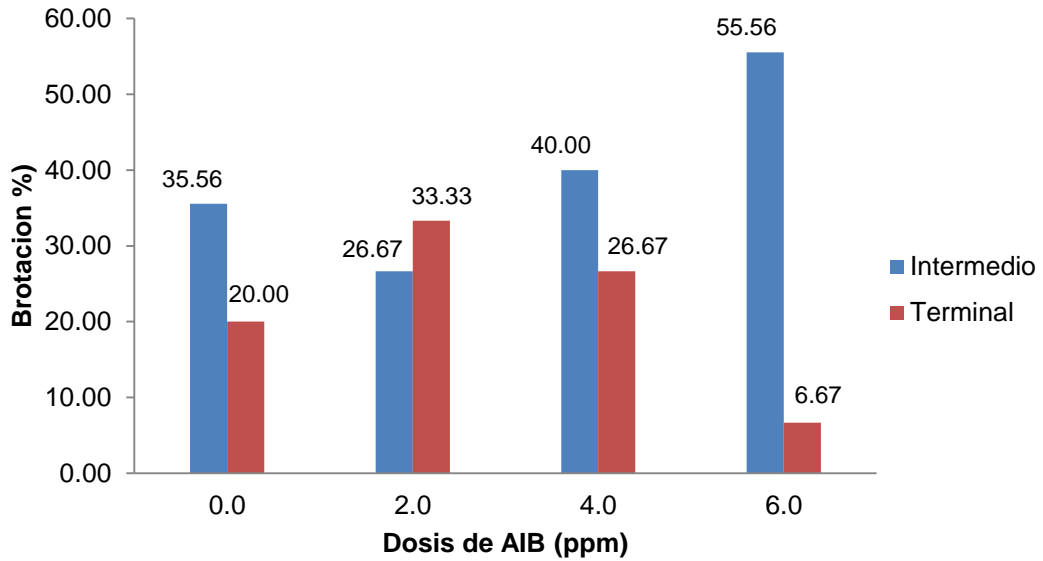
formación de nuevos brotes y no de raíces, produciendo muerte eventual de la estaca.

**Cuadro 15.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos principales (A) y (B) en el porcentaje de brotación, evaluado a los 80 días.

Tratamiento	Descripción de tratamientos	Porcentaje de brotación (%)	Signif.
T <sub>4</sub>	Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB	55.56	a
T <sub>3</sub>	Estaca intermedio + 4000 ppm de AIB	40.00	b
T <sub>1</sub>	Estaca intermedio + 0ppm de AIB	35.56	c
T <sub>6</sub>	Estaca terminal + 2000 ppm de AIB	33.33	c
T <sub>2</sub>	Estaca intermedio + 2000 ppm de AIB	26.67	d
T <sub>7</sub>	Estaca terminal + 4000 ppm de AIB	26.67	d
T <sub>5</sub>	Estaca terminal + 0 ppm de AIB	20.00	e
T <sub>8</sub>	Estaca terminal + 6000 ppm de AIB	6.670	f

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

De acuerdo a lo que se observa en la Figura 5, es notorio que las mejores resultados para el porcentaje de brotación, se obtuvieron con las estacas intermedias, en comparación con las estacas terminales; siendo las dosis de 6000 ppm de AIB superior al resto; sin embargo, los tratamientos sin aplicación de AIB tienen promedios tan diferentes; dando a entender que el factor esencial es el tipo de estaca suponiendo así que las estacas intermedias en el cacao son las que mejor respuestas nos dan a comparación de las estacas terminales.



**Figura 5.** Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre el porcentaje de brotación de cacao, evaluados a 80 días en cámaras de subirrigación.

Aunque también debemos recalcar que las dosis de AIB también juegan el rol principal en el caso de la brotación de las estacas del cacao. De esta manera no se puede fijar una relación entre la dosis de AIB con el porcentaje de brotación, quedando solo como responsable principal tipos de estacas.

#### **4.5. Porcentaje de defoliación (%)**

El análisis de varianza (Cuadro 16) para el porcentaje de defoliación, no mostró diferencias estadísticas significativas en ningunas de las fuentes de variación: ni para los tipos de estacas (A); ni la dosis de AIB (B) y tampoco la interacción AxB (Dosis de AIB por tipos de estacas), dando a entender que el porcentaje de brotación puede ser controlado por factores ajenos a la evaluación.

**Cuadro 16.** Análisis de varianza del porcentaje de defoliación, evaluados a los 80 días. Datos transformados a  $\arcsen\sqrt{\%}$ .

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Signif.</b>
Tratamiento	7	0.077	NS
A (Tipos de estacas)	1	0.195	NS
B (Dosis de AIB)	3	0.101	NS
AxB	3	0.014	NS
Error experimental	16	0.058	
Total	23		

$$CV = 51.4 \%$$

NS : No existe diferencia estadística

En la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los tipos de estacas (Cuadro 17), se puede observar, que la estaca intermedia alcanzó el mayor porcentaje de defoliación con 33.33%, diferenciándose estadísticamente de la estaca terminal con 20.56% de defoliación. La mayor caída foliar correspondió para aquellas estacas con diámetros mayores. Dicho comportamiento se puede deber a las condiciones de baja incidencia de luz y menor vigor (por efecto de competencia) que presentan las hojas de estacas gruesas (intermedias) (WILSON, 1994) así como a mayores déficits hídricos en estacas intermedias, y a la presencia de hojas fisiológicamente maduras, las cuales tienen menor actividad fotosintética.

Mientras que para la fuente de variación dosis de AIB, la dosis 6000 ppm de AIB representa el tratamiento con el porcentaje de defoliación más alto con 43.33%; diferenciándose estadísticamente de la dosis 4000 ppm de AIB con 23.33% de defoliación; mientras que la dosis 2000 ppm de AIB presentó 22.22% de defoliación, teniendo un comportamiento estadístico relativamente

parecido al tratamiento sin aplicación de AIB. Finalmente las estacas sin aplicación de AIB, son las que menor porcentaje de defoliación obtuvieron con un 18.89%.

**Cuadro 17.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para el efecto principal tipos de estacas (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al porcentaje de defoliación, evaluados a los 80 días.

Tratamiento	Porcentaje de defoliación (%)	Signif.
<b>A (Tipos de estacas)</b>		
a <sub>1</sub> (intermedio)	33.33	a
a <sub>2</sub> (terminal)	20.56	b
<b>B (Dosis de AIB)</b>		
b <sub>4</sub> (6000 ppm)	43.33	a
b <sub>3</sub> (4000 ppm)	23.33	b
b <sub>2</sub> (2000 ppm)	22.22	b c
b <sub>1</sub> (0 ppm)	18.89	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

La mayor caída foliar en estacas de cacao correspondió para aquellas estacas que fueron tratados con AIB por lo tanto formaron pocas raíces y algunas no enraizaron. Dicho comportamiento se puede atribuir a que las estacas no recuperaron el balance hídrico (turgencia) sufriendo un estrés hídrico y como respuesta la caída foliar, cesando así las reacciones fotosintéticas. A su vez, las hojas permiten producción de carbohidratos derivados de la fotosíntesis (KAMALUDDIN y ALI, 1996; HARTMANN y KESTER, 1996), los cuales funcionan como fuente de energía para el proceso

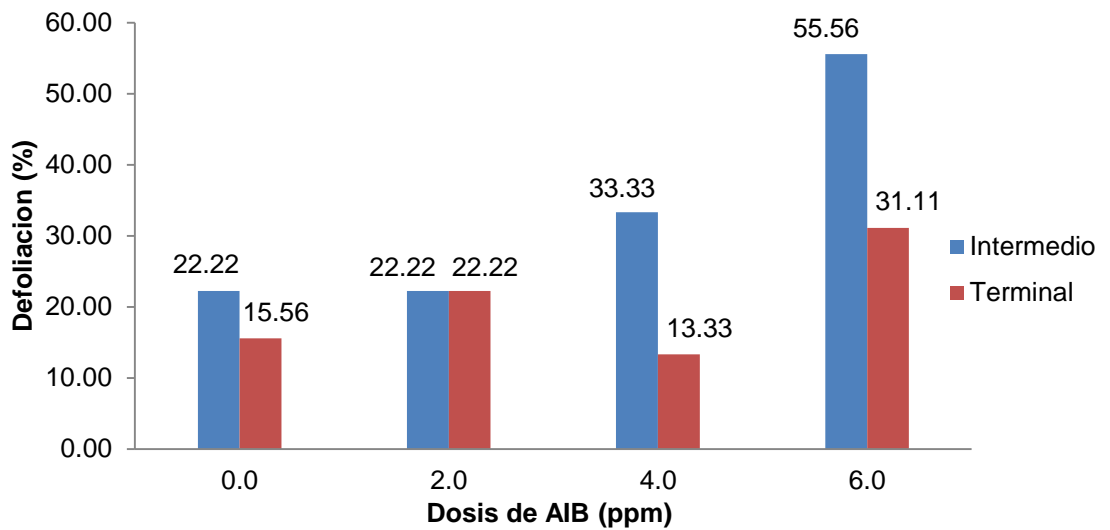
rizogenético (HAISSIG, 1986; GUTIÉRREZ, 1997) así como para incrementar el número de raíces en las estacas (MOE y ANDERSEN, 1988).

**Cuadro 18.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos principales (A) y (B) en el porcentaje de defoliación, evaluado a los 80 días.

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción de tratamientos</b>	<b>Porcentaje de defoliación (%)</b>	<b>Signif.</b>
T <sub>4</sub>	Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB	55.56	a
T <sub>3</sub>	Estaca intermedio + 4000 ppm de AIB	33.33	b
T <sub>8</sub>	Estaca terminal + 6000ppm de AIB	31.11	b
T <sub>2</sub>	Estaca intermedio + 2000 ppm de AIB	22.22	c
T <sub>6</sub>	Estaca terminal + 2000ppm de AIB	22.22	c
T <sub>1</sub>	Estaca intermedio + 0 ppm de AIB	20.00	c
T <sub>5</sub>	Estaca terminal + 0 ppm de AIB	15.56	d
T <sub>7</sub>	Estaca terminal + 4000ppm de AIB	13.33	d

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

En la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para tratamientos (Cuadro 18 y Figura 6), se puede observar que todos los tratamientos tuvieron problemas con la defoliación por agentes ya sea internos o externos a las cámaras de subirrigación; se puede indicar que existen diferencias estadísticas entre los tratamientos, siendo el T<sub>4</sub> (Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB) con 55.56% de defoliación el de mayor promedio frente a los demás tratamientos; mientras que los tratamientos T<sub>1</sub>, T<sub>5</sub> y T<sub>7</sub>, son los que menor porcentaje de defoliación presentan, con 20.00, 15.56 y 13.33% respectivamente, pero teniendo comportamientos estadísticamente diferentes entre ellos.



**Figura 6.** Efecto de los tipos de estacas y dosis de AIB sobre el porcentaje de defoliación de cacao, evaluado a 80 días en cámaras de subirrigación.

Otro factor que afecta el enraizamiento es la irradiación; en el ambiente del propagador ha sido identificado como uno de los factores de mayor influencia en el enraizamiento de estacas con hoja (LOACH, 1977; LOACH y WHALLEY, 1978; LOACH y GAY, 1979; FRENCH y LIN, 1984; GRANGE y LOACH, 1985). La irradiación en el ambiente afecta principalmente la turgencia de las hojas, hay la producción de carbohidratos requeridos para la iniciación y crecimiento de las raíces (GRANGE y LOACH, 1985).

La irradiación no debería ser tan alta como para inhibir el enraizamiento a través de sus efectos sobre la acumulación de azúcares y pérdida de turgencia, pero debería ser suficiente para permitir la producción fotosintética de carbohidratos para la iniciación y crecimiento de las raíces (GRANGE y LOACH, 1985; LOACH, 1988).

Es por ello que para el experimento se utilizó una malla sombreadora al 20% de traspaso de luz, además las hojas de las estacas de cacao se podaron en la cuarta parte para reducir la transpiración, pero permitir al mismo tiempo cierta actividad fotosintética durante el periodo de enraizamiento de 80 días.

#### 4.6. Porcentaje de mortalidad (%)

Según el análisis de varianza (Cuadro 19), para la evaluación porcentaje de mortalidad, no se encontró diferencias estadísticas significativas en ningunas de las fuentes de variación: ni para el factor tipos de estacas (A), ni el factor dosis de AIB (B) y ni la interacción AxB (Tipos de estacas por dosis de AIB); dando a suponer que el porcentaje de mortalidad, puede depender o ser controlado por factores ajenos a los factores en estudio. Estos pueden estar relaciones con los factores climatológicos los cuales son los más variables, o por la cámara de subirrigación.

**Cuadro 19.** Análisis de varianza del porcentaje de mortalidad, evaluados a los 80 días. Datos transformados a  $\arcsen\sqrt{\%}$ .

<b>Fuentes de Variación</b>	<b>GL</b>	<b>CM</b>	<b>Signif.</b>
Tratamiento	7	0.066	NS
A (Tipos de estacas)	1	0.082	NS
B (Dosis de AIB)	3	0.029	NS
AxB	3	0.096	NS
Error experimental	16	0.035	
Total	23		

CV = 21.3%

NS : No existe diferencia estadística

En la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ); para el factor tipos de estacas, el Cuadro 20 muestra que las estacas terminales son más susceptibles a la mortalidad, con un promedio de 63.89% de mortalidad, diferenciándose estadísticamente de las estacas intermedias con 53.33% de mortalidad; esto puede ser debido a que las células de las estacas terminales están en constante división celular, lo cual les da mayor susceptibilidad a la mortalidad, siendo tejido más joven y succulento; en cambio las estacas intermedias no tienen la misma capacidad de multiplicación celular. Este comportamiento es atribuido a las diferencias fisiológicas que existen entre las estacas terminales y las intermedias, en cuanto a la actividad celular, los reguladores de crecimiento endógenos, los niveles de asimilados y el grado de lignificación (SHIEMBO; NEWTON y LEAKEY, 1996). Además según LEAKEY (1983), las estacas intermedias (las que presentan mayores diámetros) son fisiológicamente diferentes a las terminales, presentando tejidos menos hidratados.

Mientras que para el factor dosis de AIB, se observa que sin aplicación de AIB se tuvo un mayor porcentaje de mortalidad de estacas con 67.78%, diferenciándose estadísticamente de las demás dosis, seguido de la dosis 2000 ppm de AIB con 58.89% de mortalidad, a su vez la dosis 4000 ppm de AIB con 54.44% de mortalidad y finalmente la dosis que menor porcentaje de mortalidad tuvo fue la dosis 6000 ppm de AIB con 53.33% de mortalidad.

**Cuadro 20.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.5$ ) para tipo de estaca (A) y dosis de AIB (B) correspondiente al porcentaje de mortalidad, evaluado a los 80 días.

Tratamiento	Porcentaje de mortalidad (%)	Signif.
<b>A (Tipos de estacas)</b>		
a <sub>1</sub> (intermedio)	63.89	a
a <sub>2</sub> (terminal)	53.33	b
<b>B (Dosis de AIB)</b>		
b <sub>3</sub> (4000 ppm)	67.78	a
b <sub>1</sub> (0 ppm)	58.89	b
b <sub>2</sub> (2000 ppm)	54.44	c
b <sub>4</sub> (6000 ppm)	53.33	c

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

Según en Cuadro 21, se observa que el T<sub>8</sub> (Estaca terminal + 6000 ppm de AIB), provoca mayor mortalidad diferenciándose estadísticamente al resto de los tratamientos con 75.56% de mortalidad, seguido del T<sub>5</sub> (Estaca terminal + 0 ppm de AIB) con 71.11% de mortalidad; mientras que el tratamiento con las estacas que menor porcentaje de mortalidad dieron fue el tratamiento T<sub>4</sub> (Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB), con 31.11% de mortalidad, mostrándose estadísticamente diferente al resto de tratamientos, dando a entender que las estacas de cacao necesitan de AIB para ayudar en reducir la mortalidad; cabe resaltar también que las estacas del tipo intermedio fueron las que menos porcentaje dieron.

**Cuadro 21.** Prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para tratamientos en el porcentaje de mortalidad, evaluado a los 80 días.

<b>Tratamiento</b>	<b>Descripción de tratamientos</b>	<b>Porcentaje de mortalidad (%)</b>	<b>Signif.</b>
T <sub>8</sub>	Estaca terminal + 6000 ppm de AIB	75.56	a
T <sub>5</sub>	Estaca terminal + 0 ppm de AIB	71.11	b
T <sub>1</sub>	Estaca intermedio + 0 ppm de AIB	64.44	c
T <sub>2</sub>	Estaca intermedio + 2000 ppm de AIB	64.44	c
T <sub>7</sub>	Estaca terminal + 4000ppm de AIB	53.33	d
T <sub>3</sub>	Estaca intermedio + 4000 ppm de AIB	53.33	e
T <sub>6</sub>	Estaca terminal + 2000ppm de AIB	53.33	e
T <sub>4</sub>	Estaca intermedio + 6000 ppm de AIB	31.11	f

Tratamientos unidos por la misma letra en columna no existe diferencias estadísticas significativas.

Esto podría ser debido a que las estacas de cacao necesitan de auxinas adicionales a los que posee naturalmente, para poder realizar sus procesos fisiológicos normalmente; evitando así una posible toxicidad causando necrosamiento y finalmente mortalidad en las estacas. Tal como ocurrió en los tratamientos que fueron tratadas con AIB a comparación de las estacas sin dosis de AIB, teniendo en cuenta el tipo de estaca.

## V. CONCLUSIONES

1. Las estacas intermedias mostraron numéricamente el mayor porcentaje de enraizamiento (46.67%); asimismo un menor número de raíces (3.55), longitud de raíz (19.86 cm), con un porcentaje de brotación (21.67%) y con un porcentaje de mortalidad (53.33%)
2. Las estacas terminales mostraron numéricamente el menor porcentaje de enraizamiento (36.67%); asimismo un mayor número de raíces (5.00), longitud de raíz (21.65 cm), con un porcentaje de brotación (39.44%) y con un porcentaje de mortalidad (63.89%).
3. Con la aplicación de Ácido Indolbutírico (AIB) 6000 ppm, se obtuvo numéricamente mayor porcentaje de enraizamiento (46.67%), número de raíces (6.67), longitud de raíz (27.27 cm) y porcentaje de brotación (31.11%); así mismo se obtuvo menor valor porcentaje de mortalidad (53.33%).
4. Sin la aplicación de Ácido Indolbutírico (AIB), se obtuvo numéricamente menor porcentaje de enraizamiento (32.22%), número de raíces (2.83), longitud de raíz (18.18 cm) y porcentaje de brotación (27.78%) así mismo se obtuvo valores mayores de porcentaje de mortalidad (67.78%).

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Realizar investigaciones evaluando con diferentes clones, así ver la influencia del factor genético en el enraizamiento de estacas de cacao.
2. Realizar investigaciones evaluando diferentes niveles de área foliar, así ver la influencia en el enraizamiento de estacas de cacao.
3. Es importante en este tipo de estudio incluir variables: Volumen de raíces, contenido relativo de agua, coeficiente neto fotosintético, conductividad estomática y fluorescencia.
4. Ensayar mayores superficies de corteza, para que exista áreas más receptivas del AIB. Los que nos permitiría tener mejores éxitos en el enraizamiento. Así mismo mayores dosis de AIB.

## VII. RESUMEN

El presente trabajo se evaluó los efectos de cuatro dosis de AIB (0; 2000; 4000 y 6000 ppm) y dos tipos de estacas (intermedia y terminal) sobre la capacidad de enraizamiento de estacas juveniles del cacao, utilizando cámaras de subirrigación. El experimento se realizó en el vivero de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria de la Selva en Tingo María; entre los meses de enero a marzo de 2012 empleando el diseño completo al azar (DCA) con arreglo factorial 2A4B cuyas interacciones hacen un total de 8 tratamientos que en triplicado hacen un total de 24 unidades experimentales. Cada unidad experimental estuvo constituida por 15 estacas. Los resultados de enraizamiento (%), número de raíces, longitud de raíz (cm), brotación (%), defoliación (%) y mortalidad (%) fueron sometidos a un análisis de varianza y prueba de Tukey ( $p < 0.05$ ) los datos de porcentaje fueron transformados convenientemente mediante la fórmula  $\arcsen \sqrt{\%}$  y datos de conteo a  $\sqrt{x + 1}$ .

A los 80 días de establecido el ensayo, los resultados muestran que con la estaca tipo intermedio, se obtuvieron mejores resultado para el porcentaje de enraizamiento; de la misma forma con la aplicación de AIB a 6000 ppm se obtuvieron mejores resultados para el porcentaje de enraizamiento, numero de raíces y longitud de la raíz.

De la misma manera, el tratamiento que mejor resultado dio fue la combinación de las estacas intermedias de cacao adicionado la aplicación de AIB a 6000 ppm ( $T_4$ ); obteniéndose numéricamente mayor porcentaje de

enraizamiento (68.89%), número de raíces (8.30), longitud de raíz (27.50 cm) y porcentaje de brotación (55.56%); así mismo se obtuvo menor valor porcentaje de mortalidad (31.11%).

Mientras que, con estacas intermedias y sin aplicación de AIB, se obtuvieron respuestas indeseables para los caracteres evaluados. Sin embargo el tratamiento que menor promedio tuvo fue la combinación de estacas terminales con la aplicación de AIB a 6000 ppm ( $T_8$ ); obteniéndose numéricamente menor porcentaje de enraizamiento (24.44%) y porcentaje de brotación (6.67%); así mismo se obtuvo menor valor porcentaje de mortalidad (75.56%).

Se concluye que es posible propagar cacao por estacas, si se aplica la dosis adecuada de AIB a estacas intermedias; aunque no son recomendables debido a un bajo porcentaje de enraizamiento, ya que el mínimo aceptado el 70% de enraizamiento.

## II. BIBLIOGRAFÍA

1. BASTOS, C. 2006, Propagação da caramboleira por estacas caulinares e caracterização anatômica e histológica da formação de raízes adventícias. Tese de Doutorado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba, Brasil. 65 p. [En línea]. USP. (<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11136/tde-15032006-141142/>, Doc. 23 de marzo del 2006).
2. BLAZICH, F. 1988. Chemicals and dormulations used to promote adventitious rooting. In Adventitious root formation in cutting. Edic. Dioscorides. Protiand. Oregon. Pp. 132-149.
3. BOTTI, C. 1999. Principios de la propagación y técnicas de propagación por estacas. En: Manejo tecnificado de invernaderos y propagación de plantas. Departamento de Producción Agrícola. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. Pp 72-82.
4. BRAUDEAU, J. 1981. El cacao. Técnicas agrícolas y producciones tropicales. Blume Distribuidora S.A. Casas Grandes. México. 296 p.
5. CUCULIZA, P. 1956. Propagación de plantas. Talleres gráficos Villanueva Lima. Perú. 340 p.
6. DÍAZ E. 1991. Enraizamiento de estacas juveniles de *Cedrela odorata* L. Silvoenergia. Vol 51. 4 p.

7. DÍAZ E.; MESEN F. y SALAZAR R. 1991. Enraizamiento de estacas juveniles de *Gmelia arborea* Linn. Silvoenergia. Vol 49. 4 p.
8. DIRR, R. y HEUSER, C. 1987. The reference manual of woody plant propagation. From seed to tissue culture. Varsity Press INC. Georgia, EE.UU. 239 p.
9. EVANS, H. 1951. Investigations on the propagation of cacao. Tropical Agriculture. Vol. 28. Pp. 147-203.
10. EVANS, H. 1952. Physiological aspects of the propagation of cacao from cuttings. In Proceedings 13th International Horticultural Congress. Vol 2. Pp. 1179-1190.
11. FANEGO, A. 2006. Aportes a la metodología de propagación de *Boungainvillea glabra* Choisy. Tesis Master en Ciencias Agrícolas. Universidad Agraria de la Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. Cuba. 56 p.
12. FARIA, C. y SACRAMENTO, K. 2003. Enraizamento y crecimiento de estacas herbáceas do cacaueiro (clones CEPEC 42, TSH516 E TSH 1188) em função da aplicação do ácido indolbutírico (AIB). Revista Brasileira Fruticultura. 25(1). Pp. 192-194. [En línea]. SCIELO. ([http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=SO100-29452003\\_000100054&ing=es&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sciarttext&pid=SO100-29452003_000100054&ing=es&nrm=iso). Documento, 22 agosto 2010).

13. FRENCH, C. y LIN, W. 1984. Seasonal variation in the effects of CO<sub>2</sub> mist and supplementary lighting from high-pressure sodium lamps on rooting of English holly cuttings. Horticultural Science. Vol 19. Pp. 529-521.
14. GASPAR, T. y HOFINGER, M. 1988. Auxin metabolism during adventitious rooting. In Adventitious Root deformation in cuttings. Edic. Dioscorides Press. Portland. Oregon. Pp. 117-131.
15. GAY, P. y LOACH, K. 1977. Leaf conductance changes on leafy cuttings of *Cornus* and *Rhodendron* during propagation. Journal of Horticultural Science. Vol 52. Pp. 509-516.
16. GRANGE, R. y LOACH, K. 1985. The effect of light on the rooting of leafy cuttings. Scientia Horticultura. Vol 27. Pp. 105-111.
17. GUTIÉRREZ, B. 1997. Consideraciones sobre la fisiología y el estado de madurez en el enraizamiento de estacas de especies forestales. Ciencia e Investigación Forestal. 9 (2). Santiago. Chile. Pp. 261-277.
18. GUTIÉRREZ, M. 2003. Propagación del burío (*Heliocarpus appendiculatus* Turcz.) por semillas, estacas y acodos. Tesis Mag. Sc. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica. 120p. [En línea]. CATIE. (<http://orton.catie.ac.cr/reprodoc/A0315e.pdf#pagemode=bookma.Doc>. 26 de setiembre 2008).

19. HAISSIG, E. 1974. Influences of auxin and auxin synergists on adventitious root primordium initiation and development New Zealand of Forestry Science. 4(2). Pp. 311-323.
20. HAISSIG, E. 1986. Metabolic processes in adventitious rooting. In new root formation in plants and cuttings. Ed. Jackson, M.B. Martinus Nijhoff Pub. Dordrecht/Boston/Lancaster. Pp. 141-189.
21. HARTMANN, T. y KESTER, E. 1996, Propagación de plantas: principios y prácticas. Editorial continental S.A. México. 814 p.
22. HENRIQUEZ, E. 2004. Evaluación de tres factores de enraizamiento en morera (*Morus alba*). Tesis Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. 77 p.
23. JARVIS, C. 1986. Endogenous control of adventitious rooting in now-wood. In ne root formation in plants and cuttings. Martinus Nijhoff Publishers. Pp. 191-221.
24. JINKS, L. 1995. The effects of propagation environment on the rooting of leafy cuttings of ash (*Fraxinas excelsior* L.), sycamore (*Acer pseudoplatanus* L.), and sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.). New Forests. Vol. 10. EE.UU. Pp. 183 -195.
25. KAMALUDDIN, M. y ALI, M. 1996. Effects of leaf area and auxin on rooting and growth of rooted stem cuttings of neem. New Forest. Vol. 12. EE.UU. Pp. 11-18.

26. LAMA, P. 2004. Propagación vegetativa por estacas juveniles de cacao (*Theobroma cacao* L.). Informe de Prácticas Pre-Profesionales. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Facultad de Agronomía. Tingo María. Perú. 16 p.
27. LAMA, P. 2006. Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y el humus de lombriz en el enraizado de estacas de dos clones de cacao en Tingo María. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 92 p.
28. LAMA, D. 2002. Efectos de la aplicación de productos químicos y diferentes tipos de sustratos para el enraizamiento de estacas de cacao. Informe de investigación. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Escuela de Posgrado. Mención en Desarrollo de Agricultura Sostenible. Tingo María. Perú. 27 p.
29. LEAKEY, R. 1983. Stockplant factors affecting root initiation in cuttings of *Triplochiton scleroxylon* K. Schum., and hardwood of West Africa. *Journal of Horticultural Science*. 58 (2). Pp. 77-290.
30. LEAKEY, R. 1985. The capacity for vegetative propagation in trees. In: *Trees as crop plants*. Institute of Terrestrial Ecology. Midlothian, UK, Pp. 110-133.
31. LEAKEY, R.; MESEN, F.; TCHOUNDJEU, Z.; LONGMAN, A.; DICK, M.; NEWTON, A.; MATIN, A.; GRACE, J.; MUNRO, C. y MUTHOKA, N.

1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review*. 69 (3). Pp. 247-257.
32. LEAKEY, R. y MESEN, F. 1991. Métodos de propagación vegetativa en árboles tropicales: enraizamiento de estacas suculentas. Capítulo 10: In manual sobre mejoramiento genético forestal con referencia especial a América Central. Proyecto Mejoramiento Genético Forestal. CATIE, Turrialba. Costa Rica. Pp. 135-153.
33. LEAL, F. y FERNANDEZ S. 1994. Enraizamiento de estacas de cacao. Memorias del primer congreso Venezolano del cacao y su industria. Maracay. Venezuela. [En línea]. SIAN, (<http://www.cacao.sianinfo.ve/memorias/pdf/56>. Pdf/ 10 de julio del 2008).
34. LO, N. 1985. Root initiation of *Shorea macrophylla* cuttings: effects of node position, growth regulators and misting regime. *Forest Ecology and Management*. Vol. 12. Holanda. Pp. 43-52.
35. LOACH K. 1977. Leaf water potential and the rooting of cuttings under mist and polyethylene. *Physiologic Plantarum*. Dinamarca. 40 p.
36. LOACH, K. 1988. Water relations and adventitious rooting. In adventitious root formation in cuttings. Sankhla. Disocorides Press. Portland, Or. EE.UU. Pp. 102-116.

37. LOACH, K. y GAY, P. 1979. The light requirements for propagation hardy ornamental species from leafy cuttings. *Scientia Horticulturae*. Vol. 10. Pp. 217-230.
38. LOACH, K y WHAELLEY, N. 1978. The effects of light intensity and sucrose on root formation, photosynthetic ability and senescence in detached cotyledons of *Sinaspis alba* L. and *Raphanus sativa* L. *Annals of Botany*. Vol. 36. Pp. 123-134.
39. LONGMAN, K. 1993. Rooting cuttings of tropical Trees. *Tropical Trees: Propagation and planting manuals*. Vol. 1. Commonwealth Science Council. London. 137 p.
40. LOVELL, H. y WHITE, J. 1986. Anatomical changes during adventitious root formation. In new root formation in plants and cuttings. *Developments in plant and soil sciences*. Vol. 20. Martinus Nijhoff Publisher. Dordrecht. Pp. 111-140.
41. MACDONALD, B. 1986. Practical woody plant propagation for nursery growers. Ed. Bats ford. London. 669 p.
42. MANSILLA, D. 2004. Propagación vegetativa mediante estaquillado en especies nativas de los géneros *Mutisia*, *Escallonia* y *Gaultheria* como potenciales cultivos ornamentales. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 68 p.

43. MARROCOS, P.; SODRE, G.; PACHECO, R.; y PEREIRA, A. 2003. Diagnostico da produção de mudas do instituto Biofábrica de Cacau Em: 14th International Cocoa Research Conference Ghana Bahia Brasil. Cocoa Producer' Alliance. MY. Pp. 443-447.
44. MENDOZA, R. 2007. Efecto de dos tipos de sustrato y tres concentraciones de ácido indolbutírico en la propagación por estacas del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.). Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 75 p.
45. MESEN, F. 1993. Vegetative propagation of Central American hardwoods. Thesis Ph.D. University of Edinburgh. Institute of Terrestrial Ecology. Edinburgh. Scotland. 231 p.
46. MESEN, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. CATIE. Turrialba. Costa Rica. 36 p.
47. MESEN, F.; LEAKEY, R. y NEWTON, C. 1996. Propagadores de subirrigación: un sistema simple y económico para la propagación vegetativa de especies forestales. In avances en la producción de semillas forestales en América Latina. Ed. Salazar. Managua. Nicaragua. Pp. 101-110.
48. MESEN, F.; LEAKEY, R. y NEWTON, C. 1997. The effects of propagation environment and foliar areas on the rooting physiology of *Cordia alliodora* (Ruiz & Pavón). Oken cuttings Trees. vol. 11. Pp. 401-411.

49. MESEN, F. y TREJOS E. 1997. Propagación vegetativa de San Juan (*Vochysia guatemalensis* Donn. Smith) mediante enraizamiento de estacas juveniles. Revista Forestal Centro Americana. Vol. 21. Costa Rica. Pp. 19-24.
50. MESEN, F. y VIQUEZ, E. 2003. Propagación vegetativa de *Bombacopsis quinata*. Tropical Forestry Papers. Vol. 39. Forestry Institute. Department of Plant Sciences. University of Oxford. Oxford. Pp. 89-96.
51. MESTANZA, C. 1981. Efecto del Cycocel 500<sup>a</sup> y el Feban en el enraizado de estacas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Tingo María. Tesis Ingeniero Agrónomo.. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 54 p.
52. MOE, R. y ANDERSEN, A. 1988. Stock plant environment and subsequent adventitious rooting. In Adventitious Root Formation in cuttings Eds. Dioscorides Press. Portland, Oregon. Pp. 214-134.
53. NUÑEZ, Y. 1997. Propagación vegetativa de Cristóbal (*Platymiscium pinnatum* Benth.); pilón (*Hyeronima alchorneides*, Allemo) y sura (*Terminalia oblonga* Ruiz & Pavon) mediante el enrizamiento de estaacas juveniles. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba. Costa Rica. [En línea]. CATIE (<http://www.orton.catie.ac.cr/repdoc/A0488e/A0488e.pdf#pagemode=bookma>, Doc 20 julio 2008).

54. PAREDES, J.; CANALS, M.; GONZALES, A. y VENTURA, M. 2003. Evaluación de sustratos en el enraizamiento de estacas de cacao. Resultados de investigación en cacao.) Instituto Dominicano de Investigaciones Agropecuarias y Forestales (IDIAF). Santo Domingo. 73p. [En línea]. IDIAF. ([www.idiaf.org.do/documentos/ CACAO.%20Resultados%20de%20investigaci%F3n.pdf](http://www.idiaf.org.do/documentos/CACAO.%20Resultados%20de%20investigaci%F3n.pdf). Documento 2 marzo 2009).
55. PEATE, N. 1989. Media for cutting propagation. The International plant Propagators Society. Washington. EE.UU. Pp. 71-76.
56. PEREIRA, M. 2003. Propagação via estacas apicais, caracterização morfológica e molecular de jabuticabeiras (*Myrciaria* spp). Tese de Doutorado.. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba. Brasil. 86 p. [En línea]. USP (<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-24032004-151150/> Documento 2 marzo 2009).
57. PURI, S. y KHARA, A. 1992 Influency of maturity and physiological status of woody cutting: limits and promises to ensure successful cloning. Indian Forester. 118(8). India. Pp. 560-572.
58. ROJAS, S.; LOZANO J. y ALARCÓN M. 2004. Propagación Asexual de Plantas. Conceptos básicos y experiencias con especies amazónicas. Corpoica-Pronata. Colombia. 55 p.
59. SALISBURY, F. y ROSS, W. 2000. Fisiología de las plantas. Ed. Paraninfo. Madrid. España. 988 p.

60. SANDOVAL, A. 1997. Propagación vegetativa de *Eucalyptus globulus* a través del enraizamiento de estacas. Tesis Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Concepción. 50 p.
61. SANTELICES, R. 1998. Propagación vegetativa del hualo (*Nothofagus glauca* (Phil.) Krasser), mediante estacas procedentes de rebrotes de tocón. Tesis Magister en Ciencias Forestales. Mención Manejo Forestal. Escuela de Postgrado. Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales. Universidad de Chile. Chile. 93 p.
62. SHARMA, R. S.; SHARMA, T. y SHARMA, R. C. 1991 Influence of regulators and de time of operations root age of air layering in guava (*Psidium guajava* L.) cv. Allahabad Safeda. Rissa Journal of Horicultural. Vol. 19. Pp. 41-45.
63. SHIEMBO, N.; NEWTON, A. y LEAKEY, R. 1996. Vegetative propagation of *Ricinodendron heudelotii*, a West African fruit tree. Journal Tropical for Science. in press. Pp 514-525.
64. SNEDECOR, W. y COCHRAN, G. 1980. Statical methods. Iowa State Press. 7° edition. Iowa. EE.UU. s.p.
65. STRASBURGER, E. 1994. Tratado de botánica. Omega. Barcelona. España. 1098 p.
66. TORRES, A. 2003. Relação entre sazonalidade desrama e carboidratos no crescimento do eucalipto na propagação vegetativa por

miniestaquia. Dissertação Mestrado. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Universidade de São Paulo. Piracicaba. Brasil. 65 p. [En línea]. USP. ([http://www.teses.usp.br/teses /disponiveis /11/11150/tde-09122003-105826/ Documento 04 Setiembre 2013](http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-09122003-105826/Documento%2004%20Setiembre%202013)).

67. VARGAS, G.; ARELLANO, G. y SOTO, R. 1999. Propagación por estacas de icaco (*Chrysobalanus icaco* L.) sometidas a aplicaciones de auxinas. *Bioagro*. Vol. 11. Pp. 103-108.
68. VEIERSKOV, B. y ANDERSEN, S. 1988 Dynamics of extractable carbohydrates in *Pisum sativum*. The effect of IAA and temperature on content and translocation of carbohydrates in pea cuttings during rooting. *Physiology Plantarum*. Vol. 55. Pp.179-182.
69. VIEITEZ, M.; BALLASTER, A.; GARCIA, T. y VIEITEZ, E. 1980. Start depletion and anatomical changer during the rooting of *Castanea sativa* Mill. *Cuttings Scientia Horticulturae*. 13 (2). Pp 261-266.
70. WEAVER, J. 1976. Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Editorial Trillas. México. 622 p.
71. WELLS, J. 1979. Plant propagation practices. 14<sup>a</sup> printing. Macmillan Publishing co., INC. New York. EE.UU. 344 p.
72. WILSON, J. 1993. Contributions of the leaves and axillary shoots to rooting in *Eucalyptus grandis* Hill. Ex Maid stems cuttings. *Journal of Horticultural Science*. 68(6). Inglaterra. Pp. 999-1007.

73. WOOD, G. A. 1982. Cacao. Trad. por Antonio Marino Ambrosio. CECSA. México. 263 p.

74. ZOBEL, B. y TALBERT, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Ed Limusa. México. 554 p.

## **IX. ANEXOS**

**Cuadro 22.** Datos originales de porcentaje de enraizamiento (%).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>
I	0.47	0.47	0.6	0.87	0.47	0.67	0.73	0.33
II	0.27	0.4	0.4	0.47	0.2	0.2	0.4	0.2
III	0.33	0.2	0.4	0.73	0.2	0.53	0.27	0.2
Σ	1.07	1.07	1.4	2.07	0.87	1.4	1.4	0.73
X	0.36	0.36	0.47	0.69	0.29	0.47	0.47	0.24

**Cuadro 23.** Porcentaje de enraizamiento, datos transformados a  $\arcsen\sqrt{\%}$ .

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	0.75	0.75	0.89	1.20	0.75	0.96	1.03	0.62	6.94
II	0.54	0.68	0.68	0.75	0.46	0.46	0.68	0.46	4.74
III	0.62	0.46	0.68	1.03	0.46	0.82	0.54	0.46	5.08
Σ	1.91	1.90	2.26	2.98	1.68	2.24	2.26	1.54	16.76
X	0.64	0.63	0.75	0.99	0.56	0.75	0.75	0.51	5.59

**Cuadro 24.** Datos originales de número de raíces.

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	5.00	5.00	7.00	11.00	5.00	9.00	3.00	9.00	54.00
II	2.00	4.00	4.00	5.00	1.00	1.00	1.00	4.00	22.00
III	3.00	1.00	4.00	9.00	1.00	6.00	0.57	2.00	26.57
Σ	10.00	10.00	15.00	25.00	7.00	16.00	4.57	15.00	102.57
X	3.33	3.33	5.00	8.33	2.33	5.33	1.52	5.00	34.19

**Cuadro 25.** Número de raíces, datos transformados  $\sqrt{x + 1}$ .

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	2.45	2.45	2.83	3.46	2.45	3.16	2.00	3.16	21.97
II	1.73	2.24	2.24	2.45	1.41	1.41	1.41	2.24	15.13
III	2.00	1.41	2.24	3.16	1.41	2.65	1.25	1.73	15.86
Σ	6.18	6.10	7.30	9.08	5.28	7.22	4.67	7.13	52.96
X	2.06	2.03	2.43	3.03	1.76	2.41	1.56	2.38	17.65

**Cuadro 26.** Datos originales de longitud de raíz (cm).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	14.30	20.30	16.00	25.00	29.40	27.30	22.60	26.20	181.10
II	13.50	14.60	24.40	25.50	17.00	16.10	11.00	29.80	151.90
III	22.60	19.00	12.50	30.60	12.30	25.00	16.63	26.50	165.13
Σ	50.40	53.90	52.90	81.10	58.70	68.40	50.23	82.50	498.13
X	16.80	17.97	17.63	27.03	19.57	22.80	16.74	27.50	166.04

**Cuadro 27.** Longitud de raíz, datos transformados  $\sqrt{x + 1}$ .

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	3.91	4.62	4.12	5.10	5.51	5.32	4.86	5.22	38.66
II	3.81	3.95	5.04	5.15	4.24	4.14	3.46	5.55	35.34
III	4.86	4.47	3.67	5.62	3.65	5.10	4.20	5.24	36.81
Σ	12.58	13.04	12.84	15.87	13.40	14.55	12.52	16.01	110.81
X	4.19	4.35	4.28	5.29	4.47	4.85	4.17	5.34	36.94

**Cuadro 28.** Datos originales de porcentaje de brotación (%).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	0.47	0.40	0.60	0.60	0.33	0.53	0.40	0.13	3.47
II	0.27	0.20	0.33	0.47	0.07	0.07	0.27	0.07	1.73
III	0.33	0.20	0.27	0.60	0.20	0.40	0.13	0.00	2.13
Σ	1.07	0.80	1.20	1.67	0.60	1.00	0.80	0.20	7.33
X	0.36	0.27	0.40	0.56	0.20	0.33	0.27	0.07	2.44

**Cuadro 29.** Porcentaje de brotación, datos transformados a  $\arcsen\sqrt{\%}$ 

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	0.75	0.68	0.89	0.89	0.62	0.82	0.68	0.37	5.70
II	0.54	0.46	0.62	0.75	0.26	0.26	0.54	0.26	3.70
III	0.62	0.46	0.54	0.89	0.46	0.68	0.37	0.00	4.03
Σ	1.91	1.61	2.04	2.52	1.34	1.76	1.60	0.63	13.43
X	0.64	0.54	0.68	0.84	0.45	0.59	0.53	0.21	4.48

**Cuadro 30.** Datos originales de porcentaje de defoliación (%).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	0.33	0.33	0.47	0.73	0.33	0.60	0.20	0.60	3.60
II	0.13	0.27	0.27	0.33	0.07	0.07	0.07	0.27	1.47
III	0.20	0.07	0.27	0.60	0.07	0.00	0.13	0.07	1.40
Σ	0.67	0.67	1.00	1.67	0.47	0.67	0.40	0.93	6.47
X	0.22	0.22	0.33	0.56	0.16	0.22	0.13	0.31	2.16

**Cuadro 31.** Porcentaje de defoliación, datos transformados a  $\arcsen\sqrt{\%}$ 

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	0.62	0.62	0.75	1.03	0.62	0.89	0.46	0.89	5.86
II	0.37	0.54	0.54	0.62	0.26	0.26	0.26	0.54	3.4
III	0.46	0.26	0.54	0.89	0.26	0.00	0.37	0.26	3.05
Σ	1.45	1.42	1.84	2.53	1.14	1.15	1.1	1.69	12.31
X	0.48	0.47	0.61	0.84	0.38	0.38	0.37	0.56	4.10

**Cuadro 32.** Datos originales de porcentaje de mortalidad (%).

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	0.53	0.53	0.40	0.13	0.53	0.33	0.27	0.67	3.40
II	0.73	0.60	0.60	0.53	0.80	0.80	0.60	0.80	5.47
III	0.67	0.80	0.60	0.27	0.80	0.47	0.80	0.80	5.20
Σ	1.93	1.93	1.60	0.93	2.13	1.60	1.67	2.27	14.07
X	0.64	0.64	0.53	0.31	0.71	0.53	0.56	0.76	4.69

**Cuadro 33.** Porcentaje de mortalidad, datos transformados a  $\arcsen\sqrt{\%}$ 

	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	Σ
I	0.82	0.82	0.68	0.37	0.82	0.62	0.54	0.96	5.63
II	1.03	0.89	0.89	0.82	1.11	1.11	0.89	1.11	7.83
III	0.96	1.11	0.89	0.54	1.11	0.75	1.11	1.11	7.56
Σ	2.80	2.81	2.46	1.74	3.03	2.47	2.54	3.17	21.02
X	0.93	0.94	0.82	0.58	1.01	0.82	0.85	1.06	7.01

**Cuadro 34.** Datos climatológicos externos al colocar las estacas en la cámara de subirrigación.

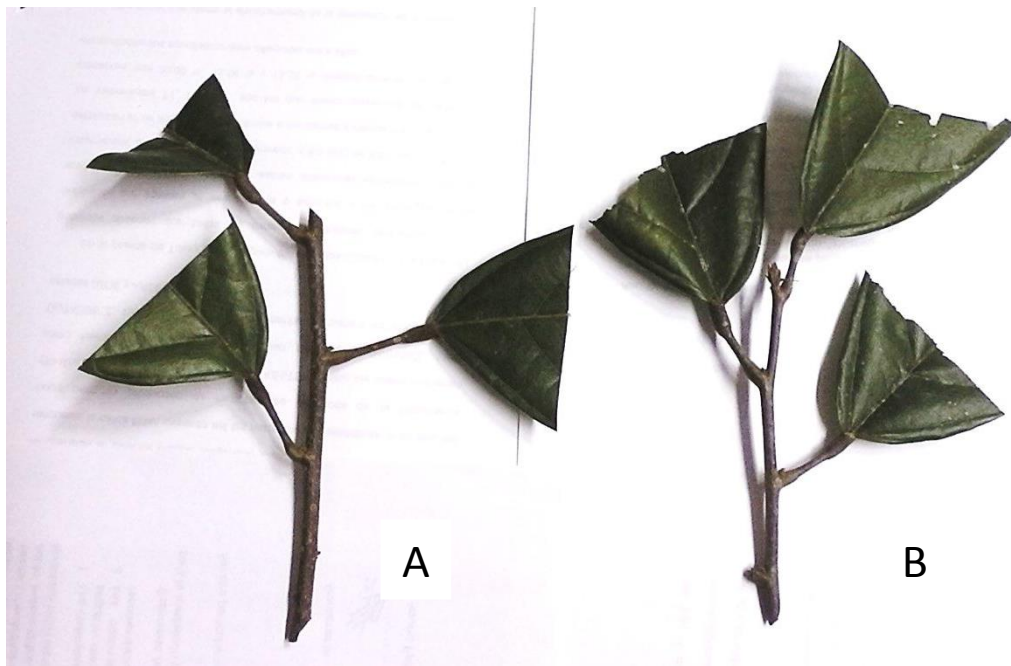
Día	Temperatura (°C)			H (%)	Hras Sol/Día	Precipitación (mm)
	Mínima	Máxima	Media			
15	20.40	30.20	25.30	86	6.90	20.80
16	20.50	32.00	26.20	82	7.90	*
17	21.40	31.00	26.20	83	4.80	40.80
18	21.20	32.70	27.00	85	5.60	*
19	21.40	32.00	26.70	85	4.40	15.50

Fuente: SENAMHI-Tingo María (2012)

**Cuadro 35.** Datos de temperatura del ambiente en el exterior e interior de la cámara de subirrigación durante los 5 días de establecido el ensayo.

	Domingo		Lunes		Martes		Miercoles		Jueves	
	E	I	E	I	E	I	E	I	E	I
06:00 a.m.	21.00	21.00	21.00	21.50	23.00	23.00	22.00	22.00	23.00	20.00
07:00 a.m.	22.00	22.00	22.50	22.00	23.50	23.00	23.00	23.00	23.00	23.00
08:00 a.m.	22.00	22.50	24.00	24.00	25.80	23.00	24.00	24.00	24.00	24.50
09:00 a.m.	23.00	23.00	25.00	26.00	24.00	25.00	25.00	26.00	24.50	24.50
10:00 a.m.	25.00	26.00	28.00	27.50	27.00	27.00	26.00	27.00	27.00	27.00
11:00 a.m.	28.50	27.00	28.00	29.00	27.50	28.00	27.50	28.00	27.50	28.00
12:00 p.m.	29.00	27.00	29.00	30.00	29.50	29.00	28.50	29.00	29.00	29.00
01:00 p.m.	29.80	28.00	31.00	30.00	29.50	29.00	29.00	30.00	30.00	30.50
02:00 p.m.	30.50	28.50	32.00	31.00	30.00	30.00	31.00	31.00	32.00	33.00
03:00 p.m.	28.50	28.00	31.00	30.00	30.50	30.00	30.00	29.00	31.00	33.00
04:00 p.m.	29.00	29.00	30.00	30.00	29.00	29.00	26.50	28.00	27.00	28.00
05:00 p.m.	28.00	29.00	30.00	30.00	28.00	28.00	26.00	27.00	24.00	25.00
06:00 p.m.	25.00	26.50	28.00	28.00	26.00	26.00	25.00	26.00	23.00	24.00

E: Exterior; I: Interior Fecha: 14/01/2013



**Figura 7.** Tipos de estacas intermedio (A) y apical (B).



**Figura 8.** Preparación de la cámara de subirrigación.



**Figura 9.** Distribución de los tratamientos en las diferentes cámaras.



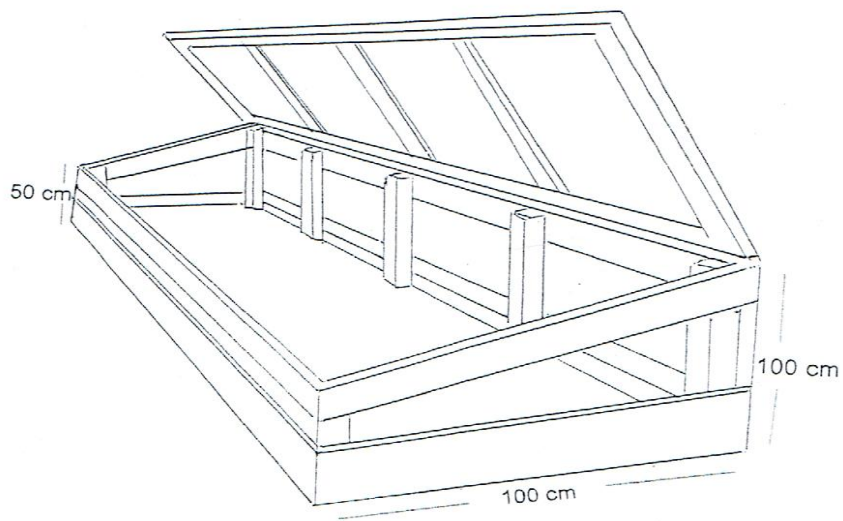
**Figura 10.** Acomodo de las estacas en la cámara de subirrigación.



**Figura 11.** Aplicación del fungicida a las estacas para su prevención.



**Figura 12.** Estacas enraizadas.



**Figura 13.** Modelo del propagador de subirrigación