



Artículo de investigación

Evaluación de diferentes dosis de ácido indol butírico (AIB), en el enraizamiento de estacas de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.) utilizando polipropagadores de madera.

Evaluation of different doses of indole butyric acid (AIB), in the rooting of cuttings of Creole cocoa (*Theobroma cacao* L.) using wood polishers.

Mejía-Chávez, HM¹; Jiménez-Fuentes, CI¹; Parada-Berríos, FA²; Vásquez-Osegueda, EA²; Lovo-Lara, LM².

RESUMEN

La investigación se realizó de octubre de 2017 a octubre de 2018, en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, el objetivo de la investigación fue evaluar el ácido indol butírico (AIB) en el enraizamiento de estacas de cacao criollo (*Theobroma cacao* L.). Para el desarrollo se utilizó un diseño completamente al azar realizando tres experimentos, iniciando con dosis superiores en los primeros dos, con ocho tratamientos, tres repeticiones y la prueba de separación de medias de Tukey. Las concentraciones de AIB utilizadas en el tercer experimento fueron de 200 mg.l⁻¹, 400 mg.l⁻¹, 600 mg.l⁻¹, 800 mg.l⁻¹, 2000 mg.l⁻¹, 4000 mg.l⁻¹; un tratamiento con solución azucarada al 25% y el testigo o control donde no se agregó nada, además a todas las estacas se aplicó ácido acetil salicílico (ASS), para atenuar el estrés de las mismas. Las estacas se instalaron en tres propagadores por subirrigación contruidos artesanalmente con madera, uno por repetición. Las variables evaluadas fueron: porcentaje de enraizamiento, longitud y diámetro de raíces, porcentaje de brotación de yemas, sobrevivencia de plantas, permanencia de hojas y grados días de desarrollo (GDD), utilizando la correlación de Pearson para conocer la influencia entre variables. Como resultados en los primeros dos experimentos las estacas murieron en menos de dos semanas. El tercer experimento con resultados satisfactorios se obtuvo diferencias estadísticas significativas con el uso de AIB, en dosis de 4000 mg.l⁻¹, la que generó mayor número de raíces en las estacas de cacao. Al final se concluye, que el uso de AIB en las diferentes dosis utilizadas favorece considerablemente al enraizamiento de estacas de cacao criollo, no obstante, cabe destacar que el uso de ácido acetil salicílico en todos los tratamientos, en el tercer experimento, mejoró la sobrevivencia de las estacas de cacao, destacando además la alta correlación positiva encontrada entre el número de hojas inicial, longitud y diámetro de las estacas, como posibles factores que incidieron en el enraizamiento.

Palabras claves: Acido indol butírico, Cacao criollo, Propagador por subirrigación de madera, propagación por estacas, enraizamiento.

1 Tesista. Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

2 Departamento de Fitotecnia, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de El Salvador.

SUMMARY

The research was conducted from October 2017 to October 2018, in the nursery of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, the objective of the research was to evaluate indole butyric acid (AIB) in rooting cocoa stakes Creole (*Theobroma cacao* L.). For the development, a completely randomized design was carried out carrying out three experiments, starting with higher doses in the first two, with eight treatments, three repetitions and the Tukey stocking test. The AIB concentrations used in the third experiment were 200 mg.l⁻¹, 400 mg.l⁻¹, 600 mg.l⁻¹, 800 mg.l⁻¹, 2000 mg.l⁻¹, 4000 mg.l⁻¹ -one; a treatment with 25% sugar solution and the control or control where nothing was added, in addition to all the stakes, acetylsalicylic acid (ASS) was applied, to attenuate their stress. The stakes were installed in three propagators by sub-irrigation, hand-crafted with wood, one by repetition. The variables evaluated were: rooting percentage, root length and diameter, bud budding percentage, plant survival, leaf permanence and development days (GDD), using Pearson's correlation to determine the influence between variables. As results in the first two experiments, the stakes died in less than two weeks. The third experiment with satisfactory results obtained significant statistical differences with the use of AIB, in doses of 4000 mg.l⁻¹, which generated the greatest number of roots in cocoa stakes. In the end, it is concluded that the use of AIB in the different doses used considerably favors the rooting of Creole cocoa stakes, however, it should be noted that the use of acetylsalicylic acid in all treatments, in the third experiment, improved survival of the cocoa stakes, also highlighting the high positive correlation found between the initial number of leaves, length and diameter of the stakes, as possible factors that influenced rooting.

Keywords: Indo-butyric acid, Creole Cocoa, Propagator for wood sub-irrigation, propagation by skate, rooting.

INTRODUCCIÓN

Conocer sobre los mejores métodos de propagación de plantas de cacao es importante para los cacaocultores de El Salvador que desean establecer plantaciones de variedades productivas y principalmente de calidades uniformes, con la finalidad de alcanzar los mejores precios en el mercado nacional e internacional. Dubón y Sánchez (2011), indican que la propagación vegetativa reproduce fielmente las características de los árboles; este método permite obtener las plantas más uniformes ya que no se usan las semillas. Dubón y Sánchez (2011) y Phillips *et al.* (2013) mencionan que el método más común de reproducción vegetativa es el injerto, que origina plantas denominadas cultivares o clones que conservan íntegramente el árbol reproducido.

Aldana García (s.f.), reporta que una de las limitantes del injerto es el tiempo y el costo desde la siembra del patrón hasta el momento en que la planta está lista para la siembra en campo. Aldana García (s.f.), explica que una forma de solucionar la situación planteada anteriormente es la reproducción vegetativa o asexual por medio de la "clonación por estaca o enraizamiento de ramillas". El enraizamiento de estacas, se fundamenta en cortar la parte final de una rama de cacao e inducirla a producir raíces y yemas.

El mismo autor explica el procedimiento refiriéndose a la selección de los clones que representan interés para el cacaocultor, principalmente por características como alta productividad, calidad, resistencia a plagas y enfermedades. Esta ramilla debe tener el leño verdoso o semiverdoso y sus hojas deben presentar buen vigor y excelente desarrollo fisiológico. Acondicionada la ramilla se procede a la aplicación de una hormona enraizante en la base y se siembra de inmediato en bolsas. Una vez sembradas las estacas se cubren todas las plantas ubicadas en filas, se encierran con un plástico transparente durante 45 a 60 días. El plástico debe quedar sellado por los cuatro lados para evitar la entrada de aire, agua e insectos, permitiendo generar un efecto de invernadero. Mesén (1997), propone el uso del propagador de subirrigación, descrito por Leakey *et al.* (1990), para la multiplicación de estacas foliadas, el cual parece ser más práctico y más fácil de manejar la esterilidad del sustrato para evitar podriciones de las estacas (Figura 1).

El objetivo de la presente investigación es proponer a los agricultores una técnica de propagación vegetativa más práctica, rápida y eficiente que nos genere plantas de cacao en poco tiempo y que se reproduzcan las características de interés al cacaocultor basado en la demanda del mercado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización del experimento

La investigación se ejecutó en el vivero de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador durante los meses de octubre de 2017 a octubre de 2018, con coordenadas geográficas 13°43'09.21" latitud norte y 89°12'01.08" longitud oeste, a una altitud de 695 msnm.

Trabajo de campo

Habilitación del propagador por subirrigación

Se construyeron tres propagadores de madera con una cobertura de plástico polietileno transparente considerando el diseño de 0.90 m de ancho y 1.70 m de largo y una altura de 0.75 m en la pared lateral superior y 0.50 m en la pared lateral inferior. Esta estructura permite la protección del material vegetativo contra plagas, enfermedades y contra otras especies animales. Los primeros 25 cm se rellenaron con capas sucesivas de piedra pómez grande (6-10 cm de diámetro), piedras pequeñas (3-6 cm) y los últimos 5 cm se cubrieron con la misma piedra pómez con granulometría más fina a fin de sostener las estacas. Los 25 cm basales se llenaron con agua, de manera que el sustrato de enraizamiento siempre se mantuviera húmedo por capilaridad. Para introducir el agua u observar su nivel se utilizó un tubo de PVC insertado verticalmente a través de diferentes capas de material. La caja se cubrió con una tapa articulada con bisagras de tal manera que ajustara bien, también se forró con plástico, para mantener alta la humedad interna y que en las horas de mayor temperatura el vapor se elevara a chocar con la tapa y por condensación mantener húmedas las hojas de las estacas, siendo este el principio en que se basa este sistema de enraizamiento (Figura 1).

Experimentos previos

Se desarrollaron dos experimentos antes de la fase final, el primero se estableció el 26 de octubre de 2017 y el segundo el 29 de noviembre de 2017.

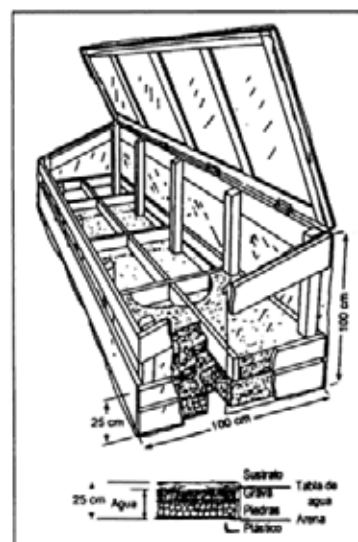


Figura 1. Diseño de propagador de subirrigación. (Fuente: Lentray et al. 1990 citado por Mesen 1997)

Experimento 1

Se evaluaron 8 tratamientos, 6 con diferentes dosis de AIB ($T_1 = 2000$ ppm, $T_2 = 3000$ ppm, $T_3 = 4000$ ppm, $T_4 = 6000$ ppm, $T_5 = 8000$ ppm, $T_6 = 12000$ ppm), T_7 = solución azucarada y el T_0 = testigo absoluto, en un diseño completamente al azar, utilizando tres propagadores por subirrigación.

Experimento 2

Se evaluaron 8 tratamientos, 6 con diferentes dosis de AIB ($T_1 = 200$ ppm, $T_2 = 400$ ppm, $T_3 = 600$ ppm, $T_4 = 800$ ppm, $T_5 = 2000$ ppm, $T_6 = 4000$ ppm), T_7 = solución azucarada y el T_0 = testigo absoluto, en un diseño completamente al azar utilizando 3 propagadores por subirrigación.

Preparación del material vegetal

Para el desarrollo del experimento se ejecutaron las actividades siguientes:

1. Selección de árboles. El material seleccionado fueron estacas de árboles de cacao criollo obtenidas del banco de germoplasma de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador (Figura 2. a).

2. Recolecta de varetas. La recolección de las estacas se realizó a partir de las 6:00 hasta las 10:00 am., tomando en cuenta características de importancia como estar libres de enfermedades y plagas, de coloración verduzca en el ápice de la estaca y café en la base (Figura 2. a).

3. Preparación de estacas. Las estacas se tomaron de la parte terminal y se cortaron con un tamaño promedio de 15 a 20 cm de largo y 0.5-0.8 cm de diámetro dejando cuatro hojas por estaca (Figura 2. b).

4. Preparación de las concentraciones hormonales. Un día antes del montaje del experimento se prepararon seis concentraciones de ácido indol butírico (AIB) a 200 mg.l⁻¹, 400 mg.l⁻¹, 600 mg.l⁻¹, 800 mg.l⁻¹, 2000 mg.l⁻¹ y 4000 mg.l⁻¹. Además se preparó una solución azucarada al 25% de concentración y un testigo o control sin ningún tratamiento (Figura 2. e y f).

5. Preparación de estacas para la siembra. Se realizó limpieza y desinfección de las estacas mediante la inmersión en una solución desinfectante y dos soluciones de agua destilada. La solución desinfectante fue hipoclorito de sodio al 10%, colocándolos en una bandeja donde se mantuvieron inmersas durante 10-15 segundos enjuagándose en una segunda y tercera bandeja con agua destilada, con la finalidad de desinfectar el material vegetal y evitar muerte por contaminación por patógenos (Figura 2. g y h).

6. Montaje del experimento. Se procedió al corte de tres tercios de la hoja presentes en la estaca dejando el área foliar necesaria para realizar los procesos fotosintéticos. En la parte inferior de la estaca se le realizó un corte transversal y de tres a cuatro heridas longitudinales profundizando levemente la corteza del tallo, sumergiendo 2 cm de la estaca en las diferentes soluciones AIB y la solución azucarada según los tratamientos correspondientes. Se tomaron datos por cada estaca: del número de fracción de hojas, longitud y diámetro; correlacionando los promedios generados con el resto de variables evaluadas durante el proceso del experimento (Cuadro 1). Al finalizar

esta etapa se procedió a la siembra de las estacas en el sustrato de piedra pómez (Figura 2. i y j).

7. Aplicación de Ácido Acetil Salicílico (ASS). En el tercer experimento se decidió aplicar ASS conocido popularmente como Aspirina® ya que se ha reportado que regulan la biosíntesis de metabolitos secundarios (Bennet y Wallsgrove, 1994). También se reporta que la ASS tiene un papel importante en dos fenómenos fisiológicos, en la resistencia de plantas y en la producción de calor en las inflorescencias de las familias *Araceae* y *Palmaceae* (Raskin, 1992 citado por Villanueva-Couoh *et al.* 2009). Por lo tanto se aplicó una pastilla de 500 mg.l⁻¹ de agua, cada 15 días por cada repetición es decir por cada propagador por subirrigación.

Análisis de datos

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con ocho tratamientos, cada unidad experimental conformada por 35 estacas, haciendo un total de 210 estacas y tres repeticiones, distribuidos como se muestra en el cuadro 1.

Variables evaluadas

Las variables que se evaluaron fueron: longitud y diámetro de estacas (cm), porcentaje de enraizamiento (%), número de raíces, longitud de raíces (cm), diámetro de raíz (mm), porcentaje de brotación (%), porcentaje de sobrevivencia (%), número de hojas, días a enraizamiento, unidades de calor expresado en grados días de desarrollo [GDD= $\sum(T_i - T_b)$].

Para cada variable se realizó el análisis de varianza utilizando el programa InfoStat con su respectiva prueba de Tukey para comparación de medias, así como la determinación de la influencia de una variable con otra a través de la determinación de la correlación de Pearson.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos con Ácido Indolbutírico (AIB)

Tratamiento	Descripción	Estacas iniciales	Datos tomados al inicio		
			No. de hojas	Longitud de estacas	Diámetro de estacas
T ₀	Testigo sin nada	35	5.00	18.50	0.58
T ₁	200 mg.l ⁻¹ de AIB	35	4.67	18.71	0.58
T ₂	400 mg.l ⁻¹ de AIB	35	4.67	14.54	0.56
T ₃	600 mg.l ⁻¹ de AIB	35	4.67	17.77	0.61
T ₄	800 mg.l ⁻¹ de AIB	35	4.00	18.56	0.62
T ₅	2000 mg.l ⁻¹ de AIB	35	5.00	17.58	0.55
T ₆	4000 mg.l ⁻¹ de AIB	35	4.33	18.84	0.55
T ₇	Solución azucarada 25%	35	4.67	14.61	0.46

Toma de datos

La toma de datos se realizó al inicio del experimento, contando el número de fracción de hoja que se le dejó a las estacas, longitud y diámetro de estacas. A partir de los 20 días se comenzó a monitorear cinco estacas

de cada tratamiento para evidenciar la presencia de callo o raíces, el resto de información se recolectó al final del experimento, seguido del trasplante de las estacas enraizadas en bolsas de polietileno negro de 6" x 9".



Figura 2. Pasos y procesos para el enraizamiento de estacas de cacao en polipropagadores por irrigación **a y b)** Selección de árboles y preparación de estacas de cacao. **c y d)** desinfección de sustrato en propagadores por subirrigación. **e y f)** preparación de soluciones de ácido indol butírico (AIB) en sus diferentes concentraciones. **g y h)** toma de datos inicial y preparación de estacas para colocarlos en los propagadores. **i y j)** siembra de estacas en los propagadores. **k y l)** cosecha de estacas enraizadas después de 30 días de siembra y **m)** estacas desarrolladas dos meses después de cosechadas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ante la problemática que presenta para el sector productivo de cacao la propagación vegetativa masiva de plantas con alto potencial genético, se procedió a evaluar seis dosis de AIB y una solución azucarada y su incidencia en el enraizamiento de estacas de cacao, bajo la técnica del propagador por subirrigación de madera, para determinar que dosis son capaces de generar la rizogénesis. A continuación se presentan los resultados:

Experimento 1

Como resultados después de 30 días de establecidas las estacas, no hubo presencia de callo por lo tanto no se pudo analizar estadísticamente. Sin embargo tratamientos como el testigo (T_0) presentó un porcentaje de sobrevivencia de las estacas del 5.70% y enraizamiento de un 2.85%, de igual forma el tratamiento con 4000 ppm (T_4) reporta los mismos resultados, en el resto de dosis de AIB, las estacas murieron en las primeras dos semanas. Probablemente hubo toxicidad, por las dosis de AIB demasiado elevadas.

Experimento 2

Después de 36 días de establecido el experimento se presentaron resultados similares al experimento 1, con la variante que fue el tratamiento con 200 ppm el que presentó el 2.85% de enraizamiento y una sobrevivencia de las estacas del 43.33% a los 33 días de establecido el ensayo.

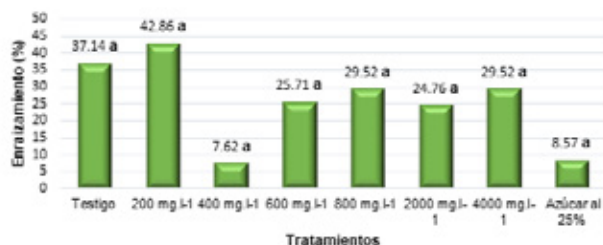
Resultados experimento 3

Porcentaje de enraizamiento (%), días a enraizamiento y grados días de desarrollo (GDD).

El análisis de varianza para las tres variables no registró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, no obstante al analizar los promedios variable por variable, se puede observar que, en el porcentaje de enraizamiento la dosis de

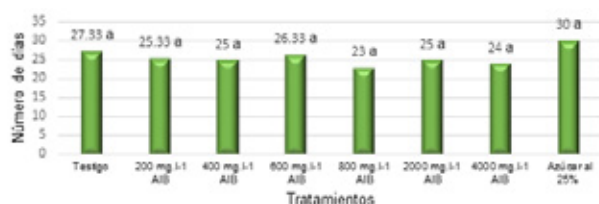
200 mg.l⁻¹ fue la que presentó el mayor valor con un 42.86% y la de menor valor 400 mg.l⁻¹ (Figura 3). Mientras que al revisar los días a enraizamiento todos los tratamientos presentaron un intervalo entre los 23 y 30 días necesarios para que ocurriera dicho evento fisiológico estimulado por el factor evaluado, siendo la dosis de 800 mg.l⁻¹, que promovió el enraizamiento de las estacas a los 23 días y la solución azucarada a los 30 días (Figura 4). De igual manera durante el experimento se registraron las temperaturas máximas y mínimas dentro de las cajas a fin de obtener unidades de calor expresadas en grados días de desarrollo (GDD) que según Snyder (1985), está demostrado que el crecimiento vegetativo u otra actividad fenológica o fisiológica está influenciada por la temperatura del medio; se asume que a una temperatura determinada un organismo requiere de un número de días para completar un evento en su desarrollo y que a una temperatura más baja que la temperatura base (12°C para cultivos tropicales), deja de haber crecimiento, con ello se obtiene la constante térmica GDD (Figura 5). El tratamiento que requirió menos unidades calor fue 800 mg.l⁻¹, mientras que la solución azucarada fue la que requirió mayores unidades calor (GDD), sin embargo podemos inferir que para esos 23 a 30 días que tarda el enraizamiento se demanda de un intervalo de unidades calor entre los 342 y 441 GDD para los cacaos criollos. Por otra parte Mata (2006) determinó que existe diferencia entre los clones de cacao criollo de acuerdo a su facilidad de propagación, por lo que se considera que la aplicación de AIB probablemente no tiene influencia en el porcentaje de enraizamiento. Son condiciones de temperatura y de humedad relativa dentro del propagador por subirrigación los que podrían proporcionarle las condiciones adecuadas para el enraizamiento de las estacas, situación evidenciada, por los valores mostrados por el testigo.

Al comparar el experimento 3 con el experimento 1, donde las dosis de AIB eran más elevadas Álvarez Argudín (1997), señala que es típico de la auxina, actuar conforme a una curva, que, en todos los meristemas presenta un óptimo, y si sigue elevando la concentración, decae por debajo del testigo. En



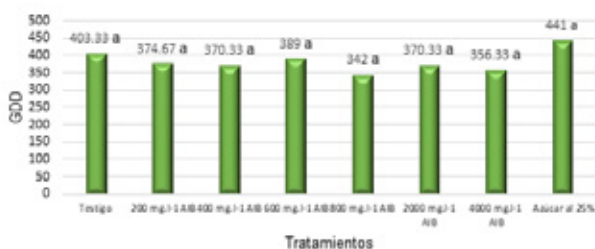
(Barras con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia).

Figura 3. Efecto de las concentraciones de AIB en el enraizamiento de estacas de cacao criollo.



(Barras con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia).

Figura 4. Efecto de las concentraciones de AIB en los días a enraizamiento de estacas de cacao criollo.



(Barras con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia).

Figura 5. Efecto de las concentraciones de AIB en los grados días de desarrollo (GDD) necesarios para el enraizamiento de estacas de cacao criollo.

el experimento 1 y 2 la sobrevivencia de las estacas no fue mayor a dos semanas Rojas Garcidueñas, (1979) citado por Alvarez Argudín (1997), explica que la acción de las auxinas se ejerce en dos etapas: en el primero se estimula el crecimiento ya que se acelera el metabolismo, en las bajas concentraciones, pero al aumentar las concentraciones el estímulo se acorta provocando inhibición y es lo que caracteriza

a la segunda etapa. Tizio (1980) citado por Alvarez Argudín (1997), explica que el causante de la muerte de las estacas sería el etileno, cuya síntesis es estimulada cuando la concentración de la auxina aumenta, lo que se demuestra con el amarillamiento de las hojas casi de manera fulminante, y solamente el testigo y la solución azucarada sobrevivieron por más tiempo.

En el experimento 3 con la aplicación de ASS en todos los tratamientos se logra mantener la sobrevivencia de las estacas por más tiempo, el necesario, para lograr el enraizamiento en diferentes porcentajes según las concentraciones de AIB usadas y el testigo, San Miguel *et al.* (2003) citado por Villanueva-Couoh *et al.* (2009) el ASS aplicado en diferentes formas se ha reportado que provoca el cierre de estomas y reduce la transpiración, aumenta la biomasa en las plantas e incrementa la embriogénesis somática en cultivos de tejidos. El ácido salicílico producido internamente tiene un papel importante en dos fenómenos fisiológicos, en la resistencia de plantas y en la producción de calor en las inflorescencias de las familias Araceae y Palmaceae. Por tal motivo en esta investigación se considera que todos los tratamientos más la aplicación de ASS (Aspirina®), incrementó el enraizamiento al evitar la caída de las hojas de manera prematura lo que se demuestra con una correlación de Pearson de $r = 0.99$ entre el porcentaje de enraizamiento y las estacas sobrevivientes.

Número de raíces, longitud de raíz, diámetro de raíz

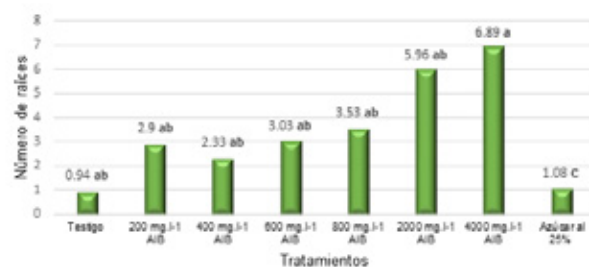
Con relación a la variable número de raíces, en la figura 6, se puede observar, que solo ésta variable presentó diferencias estadísticas altamente significativas, mientras que las otras dos variables se considera que los tratamientos son estadísticamente iguales. Al respecto la variable número de raíces se vuelve de alta relevancia porque todos los tratamientos evaluados resultaron efectivos en el enraizamiento, sin embargo, no todos fueron eficientes, lográndose determinar que la dosis de 2000 y 4000 mg.l⁻¹, generaron 5.95 y 6.89 raíces respectivamente, mientras que la longitud de las raíces, de estos mismos

tratamientos al analizar los promedios (Figura 7), se observan valores satisfactorios de 6.71 y 6.96 respectivamente, aunque vale la pena mencionar que la mayor longitud se obtuvo con 800 mg.l⁻¹ (7.54 cm). Asimismo, al analizar el diámetro de las raíces en la figura 8, el tratamiento con 2000 mg.l⁻¹, presentó el mayor valor (0.12 cm). Es importante destacar que el uso de AIB en las diferentes concentraciones se logra obtener un rendimiento favorable de raíces con 2000 y 4000 mg.l⁻¹, aunque el mayor porcentaje de enraizamiento se logre con 200 mg.l⁻¹ y el testigo, sin embargo la calidad de raíces obtenidas es inferior.

Álvarez Argudín (1997), describe la influencia de factores externos en la formación y desarrollo de raíces adventicias, entre estas las heridas ya que desde épocas antiguas se conoce, empíricamente que, al efectuar heridas en la base de las estacas, se favorece el enraizado, menciona que, en estacas de manzana cuatro incisiones longitudinales hechas en la base aumentaron el enraizamiento y el número de raíces de manera significativa frente al testigo. En la figura 2. k y l, se observa que las raíces emergen donde inicia la herida de arriba hacia abajo al respecto Álvarez Argudín (1997), menciona que las raíces emergen desde el callo formado en la herida, pareciendo que ello está asociado al cambium desarrollado en el propio callo, además recalca, que como tantas prácticas culturales, el efecto de la herida en el enraizado, no ha sido bien explicado; y tan solo, se han emitido hipótesis.

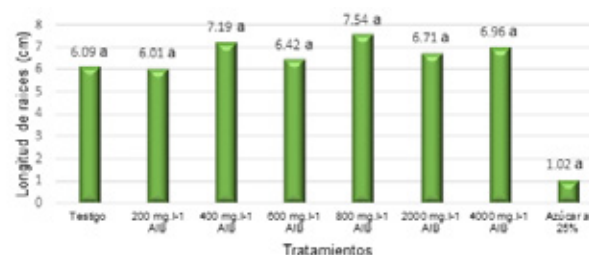
Howard (1968) citado por Alvarez Argudín (1997), describe una hormona de herida específica, liberada como consecuencia del daño provocado en los tejidos, que, aparte de incidir en la formación de callo cicatrizal favorece el enraizado, sin embargo Fiorino y Vitagliano (1968) también hacen referencia a una hormona de herida y a cofactores, considerando la posibilidad de que en la zona de las heridas se produzca una mayor absorción del AIB, intensificándose el proceso de inducción de la rizogénesis.

Asimismo, Hartman y Kester (1991) opina que, el efecto benéfico de las heridas, puede deberse a una



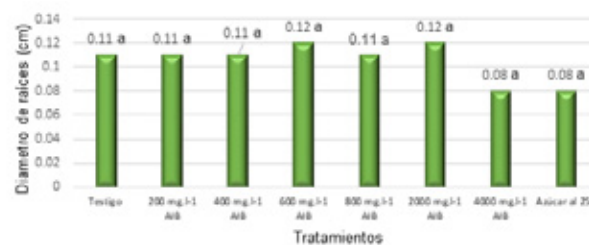
(Barras con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia).

Figura 6. Efecto de las concentraciones de AIB en la emisión del número de raíces en estacas de cacao criollo.



(Barras con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia).

Figura 7. Efecto de las concentraciones de AIB en la longitud de las raíces emitidas en estacas de cacao criollo.



(Barras con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia).

Figura 8. Efecto de las concentraciones de AIB en el diámetro de las raíces emitidas en las estacas de cacao criollo.

acumulación natural de auxinas y de carbohidratos en el área lesionada y a un incremento en la tasa de respiración, pudiéndose corroborar esta aseveración ya que se presentó una $r = 0.76$ entre el número inicial de hojas y el número de raíces; $r = 0.76$ entre el diámetro del tallo y el número de raíces; asimismo, se presenta una correlación positiva entre el número

inicial de hojas con la longitud de raíz de $r = 0.92$ y con el diámetro de raíz una $r = 0.97$, considerando que ambas estructuras (hojas y tallo) generan y almacenan respectivamente carbohidratos. Además, los tejidos lesionados por las heridas, se estimulan para que produzcan etileno, promoviendo la formación de raíces.

Porcentaje de brotación, sobrevivencia de estaca y plantas producidas

Estas variables también no presentaron diferencias estadísticas significativas, sin embargo al observar el cuadro 2 y la figura 9, la mayor brotación ocurrió con las dosis 200, 400, 600 y 800 mg.l^{-1} . Asimismo, se observa que tanto el testigo como las dosis de 200, 800 y 4000 mg.l^{-1} , mostraron los porcentajes más altos de sobrevivencia y las dosis de 200, 600 y 2000 mg.l^{-1} , el mayor porcentaje de plantas producidas. La correlación de Pearson entre las variables porcentaje de brotación y sobrevivencia de estacas fue de $r = 0.71$ y una $r = 0.70$ entre el número inicial de hojas con la brotación, pero también se registró una $r = 0.94$, entre el porcentaje de enraizamiento y la sobrevivencia de las estacas, deduciendo sobre la importancia de la presencia de las hojas desde el inicio del experimento y su influencia en el enraizamiento y por ende en la sobrevivencia de las estacas y producción de plantas. Al respecto Luini y Sturma (1973) sostienen

que si bien la yema no sería la responsable en determinar la emisión de raíces o rizogénesis, influye en el proceso como orientadora, no actuando como individuo autónomo, sino, más bien, como un órgano que conserva y manifiesta el estado fisiológico del individuo-planta. Los mismos autores mencionan que las hojas ejercen en general, un estímulo que puede traducirse en mejores resultados a nivel del número de estacas enraizadas, de la cinética de aparición de raíces adventicias y de su número, peso y longitud de raíces, ésta última variable presentó una $r = 0.92$ entre el número inicial de hojas con la longitud de raíces demostrando la importancia de las hojas en la reproducción de plantas por estacas con hojas. Fontanazza y Ruggini (1980) citado por Alvarez Argudin (1997), menciona que en ciruelo se necesita la presencia de la hoja para que pueda verificarse un buen enraizamiento; y que, ni la yema, aún activa, ni los tratamientos con AIB, sustituyen íntegramente la acción de las hojas, ya que la función de ellas es fundamental, en la activación de la rizogénesis, por ser responsable en la síntesis de metabolitos que participan en dicho proceso y esa acción resulta determinante en los primeros 15 días, lo que hace presagiar que a los 25 días ha tenido la formación de iniciadores radicales, en esta investigación el intervalo de inicio de enraizamiento ocurrió entre los 23 y 30 días, periodo en el que se estimó un acumulado entre 342 y 441 GDD.

Cuadro 2. Efecto de las concentraciones de AIB en las Variables de adaptación y crecimiento de las nuevas plantas.

Tratamiento	Tratamiento	% de brotación		% sobrevivencia		% de Plantas producidas	
T ₀	Testigo	3.81	a*	50.48	a*	22.86	a*
T ₁	200 mg.l^{-1} AIB	13.33	a	51.43	a	26.67	A
T ₂	400 mg.l^{-1} AIB	17.14	a	20.95	a	4.76	A
T ₃	600 mg.l^{-1} AIB	12.38	a	34.29	a	13.33	A
T ₄	800 mg.l^{-1} AIB	11.43	a	41.90	a	14.29	A
T ₅	2000 mg.l^{-1} AIB	5.71	a	28.57	a	16.19	A
T ₆	4000 mg.l^{-1} AIB	5.72	a	40.00	a	17.14	A
T ₇	Azúcar al 25%	1.91	a	21.90	a	7.62	A

*Columnas con la misma letra son estadísticamente iguales al 5% de significancia.

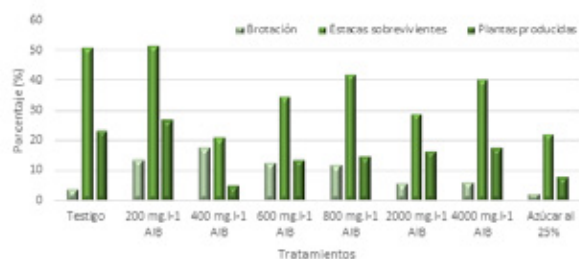


Figura 9. Efecto de las concentraciones de AIB en las variables de adaptación y producción final de plantas.

Hartman y Kester (1991), basándose en una serie de experimentos, sostienen que las hojas en las estacas, ejercen una fuerte acción estimulante sobre la rizogénesis, manifestando que los carbohidratos contribuyen a la formación de raíces, y es probable que, el fuerte efecto promotor que ejercen las hojas y las yema, se deba a otros factores, como las auxinas, producidas por dichos órganos y transportada desde el ápice a la base.

CONCLUSIONES

En la mayoría de variables evaluadas no hubo diferencia estadísticas significativas, excepto en el número de raíces formadas, siendo la dosis de 4000 mg.l⁻¹ de AIB, la que generó la mayor cantidad de raíces, no obstante vale la pena mencionar que el mayor porcentaje de enraizamiento lo generó el tratamiento con 200 mg.l⁻¹ de AIB y el tratamiento testigo con un 42 y 37% respectivamente, considerando que el uso de AIB en dosis bajas, mejora el enraizamiento y el número de raíces producidas.

Es importante destacar que la aplicación de ácido acetil salicílico (Aspirina®), en todos los tratamientos retardó la caída de las hojas en el tercer experimento, lo que probablemente favoreció en incrementar la sobrevivencia de las estacas y por ende un aumento del enraizamiento.

El uso de propagadores por subirrigación artesanales son efectivos en la producción de plantas por enraizamiento de estacas de cacao siempre que se cuente con el sustrato adecuado y un programa de

riego efectivo y materiales que regulen de manera uniforme la entrada de luz, para mantener la temperatura, humedad relativa y luminosidad en condiciones adecuadas.

Las correlaciones entre variables demuestran que el número inicial de hojas, longitud y diámetro de las estacas utilizadas estimuló de manera directa al crecimiento y desarrollo de raíces adventicias.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el apoyo financiero del Proyecto de Educación Superior para el Crecimiento Económico, según acuerdo de cooperación número 0214405-62018-003-00 entre el Proyecto de USAID y la Universidad de El Salvador, Centro América.

BIBLIOGRAFÍA

- Aldana García, M. s.f. La multiplicación por estaca o enraizamiento de ramilla. Departamento de comunicaciones y relaciones externas. Programa MIDAS de USAID.
- Alvarez Argudín, J. 1997. Propagación vegetativa de los árboles frutales. Editorial Agropecuaria Hemisferio Sur S R.L. Montevideo, Uruguay. 217 p.
- Bennet, RN; Wallsgrove, RM. 1994. Secondary metabolites in plant defence mechanisms. New Phytol, 127: 617-633.
- Dubón, A; Sánchez, J. 2012. Manual de Producción de Cacao. 1 ed. La Lima, Cortés: FHIA. 208 p.
- Fiorino, P; Vitagiano, C. 1968. Nuove technique per ottenere babatelle di pesce. Ulteriori ricerche sulla nebulizzazione. Rivista della Ortoflorofrutticoltura italiana, 52(6):779-795.
- Hartman, HT; Kester, DE. 1991. Propagación de plantas; principios y prácticas. Trad. Antonio-

Marino “, Ambrosio. 3 ed. México, Continental. 809 p.

Luini, CS; Sturma, MC. 1973. Considerazioni sulla moltiplicazione vegetativa della vite. Istituto Sperimentale per la Viticoltura Conegliano. Estratto della Rivista di Viticoltura Conegliano. Estratto della Rivista de Viticoltura e di Enologia di Conegliano. (5):8.

Mata, A. 2006. Establecimiento de un sistema de propagación vegetativa de genotipos superiores de cacao (*Theobroma cacao* L.) por medio de ramillas en el CATIE. Informe de Trabajo Final de Graduación. Escuela de Biología. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. 104 p.

Mesén, F. 1997. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de subirrigación/ Turrialba, C.R.; CATIE. Proyecto semillas Forestales. 36 p.

Phillips, W; Echeverri, J; Say E. 2013. Tecnología moderna en la producción de cacao. Programa Sixaola, CATIE. Costa Rica. 57 p.

Snyder, RL. 1985. Hand Calculating degree days. Agricultural and Forest Meteorology, (35): 353-358.

Villanueva-Couoh, E; Sánchez-García, P; Soria-Fregoso, M; Larqué-Saavedra. A. 2009. Efecto del ácido salicílico y dimetil sulfóxido en la floración del Chrysantemo en Yucatán, México. Revista Chapingo serie Horticultura, 15 (2): 25-31.