

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**EFFECTO DEL ÁCIDO INDOL BUTIRICO Y ÁCIDO α -NAFTALENACÉTICO
EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE *Smilax glabratus* (DC.)
H. Rob. "SHITA NEGRA", EN INVERNADERO**

T E S I S

**Para Optar el Título Profesional de:
INGENIERO FORESTAL**

**Presentado por la Bachiller:
CONSUELO ISABEL TORRES RONCAL**

**Asesor:
MSc. WALTER RONCAL BRIONES**

CAJAMARCA – PERÚ

2022



UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
"NORTE DE LA UNIVERSIDAD PERUANA"
Fundada por Ley N° 14015, del 13 de febrero de 1962
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
Secretaría Académica

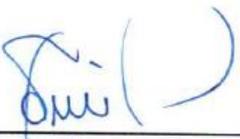


ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En la ciudad de Cajamarca, a los cinco días del mes de abril del año dos mil veintidós, se reunieron en el ambiente 2C - 211 de la Facultad de Ciencias Agrarias, los miembros del Jurado, designados según **Resolución de Consejo de Facultad N° 99-2021-FCA-UNC, de fecha 13 de abril del 2021**, con la finalidad de evaluar la sustentación de la TESIS titulada: "EFECTO DEL ÁCIDO INDOL BUTÍRICO Y DEL ÁCIDO NAFTALENOACÉTICO EN EL ENRAIZAMIENTO DE ESTACAS DE *Smilax glabratus* (DC.) H. Rob. "SHITA NEGRA" EN INVERNADERO", realizada por la Bachiller CONSUELO ISABEL TORRES RONCAL para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las seis horas y diez minutos, de acuerdo a lo establecido en el **Reglamento Interno para la Obtención de Título Profesional de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Cajamarca**, el Presidente del Jurado dio por iniciado el Acto de Sustentación, luego de concluida la exposición, los miembros del Jurado procedieron a la formulación de preguntas y posterior deliberación. Acto seguido, el Presidente del Jurado anunció la aprobación por unanimidad, con el calificativo de dieciséis (16); por tanto, la Bachiller queda expedita para proceder con los trámites que conlleven a la obtención del Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL**.

A las siete horas y treinta y cinco minutos del mismo día, el Presidente del Jurado dio por concluido el Acto de Sustentación.


Ing. Nehemías Honorio Sangay Martos
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. Luis Dávila Estela
SECRETARIO


Ing. Oscar Rogelio Sáenz Narro
VOCAL


Ing. M. Sc. Walter Ricardo Roncal Briones
ASESOR

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación lo dedico a
Mis Amados Padres, *por su apoyo incondicional en todos los ámbitos de mi vida, ya que con su trabajo y sacrificio me brindaron la oportunidad de formarme profesionalmente, y a mi **amada y hermosa hija Ivanna** por ser la fuerza que me motiva para alcanzar mis metas.*

*Muchas gracias por todo.
Con todo amor y cariño para ustedes.*

AGRADECIMIENTO

*A mis asesores: Dr. Berardo Escalante Zumaeta y
MSc. Walter Roncal Briones por el asesoramiento
y continuo apoyo para la realización de esta investigación.*

*Agradezco de manera muy especial: Msc. Manuel
Malpica Rodríguez por su incondicional apoyo, comprensión
y tiempo dedicado que tuvo para la instalación de esta
investigación.*

*A todos mis Docentes de la Escuela Académico Profesional
de Ingeniería Forestal de la Universidad Nacional de Cajamarca,
por su guía y asesoramiento en todos los momentos
de mi formación profesional.*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE TABLAS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	x
ABSTRACT.....	xi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO II.....	3
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1. Antecedentes de la investigación	3
2.2. Bases teóricas	5
2.2.1. Distribución geográfica del <i>Smallanthus glabratus</i>	5
2.2.2. Propagación vegetativa	5
2.3. Definición de términos básicos.....	13
CAPÍTULO III.....	15
MARCO METODOLÓGICO.....	15
3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación	15
3.2. Materiales	16
3.2.1. Material biológico.....	16
3.2.2. Material de campo e insumos	16
3.2.3. Equipo e insumos de laboratorio	16
3.3. Metodología	16
3.2.4. Diseño experimental.....	16
3.2.5. Fase de campo.....	17
3.2.6. Fase de laboratorio.....	19

CAPÍTULO IV.....	22
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1. Número de raíces.....	22
4.2. Longitud de raíces.....	27
4.3. Número de brotes	31
4.4. Longitud de brotes	35
4.5. Porcentaje de enraizamiento.....	38
4.6. Porcentaje de mortalidad	43
CAPÍTULO V.....	47
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	47
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48
CAPÍTULO VII.....	56
ANEXOS.....	56

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Factores, niveles y tratamientos en estudio	17
Tabla 2. ANVA para el efecto del ANA y AIB en el número promedio de raíces adventicias.	22
Tabla 3. ANVA para el efecto del ANA y AIB en la longitud promedio de raíces adventicias.	27
Tabla 4. ANVA para el efecto del ANA y AIB en el número promedio de brotes regenerados.	31
Tabla 5. ANVA para el efecto del ANA y AIB en la longitud promedio de brotes regenerados.	35
Tabla 6. ANVA para el efecto del ANA y AIB en el porcentaje de enraizamiento.	39
Tabla 7. ANVA para el efecto del ANA y AIB en el porcentaje de mortalidad. .	43

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.	Mapa de ubicación del invernadero utilizado para el enraizamiento de <i>Smallanthus glabratus</i> “shita negra”	15
Fig. 2.	Distribución de camas de enraizamiento de <i>Smallanthus glabratus</i>	18
Fig. 3.	Efecto de la concentración de AIB en el número promedio de raíces adventicias por estaca.	23
Fig. 4.	Efecto de la concentración de ANA en el número promedio de raíces adventicias por estaca.	24
Fig. 5.	Promedio del número de raíces adventicias en función de AIB y ANA	25
Fig. 6.	Efecto de la concentración de AIB en la longitud promedio de raíces adventicias por estaca.	28
Fig. 7.	Efecto de la concentración de ANA en la longitud promedio de raíces adventicias por estaca.	28
Fig. 8.	Promedio de longitud de raíces adventicias en función de AIB y ANA	29
Fig. 9.	Efecto de la concentración de AIB en el número promedio brotes regenerados por estaca.	32
Fig. 10.	Efecto de la concentración de ANA en el número promedio de brotes regenerados por estaca.	32
Fig. 11.	Promedio del número de brotes regenerados en función de AIB y ANA	33
Fig. 12.	Efecto de la concentración de AIB en la longitud promedio de brotes regenerados por estaca.	36
Fig. 13.	Efecto de la concentración de ANA en la longitud promedio de brotes regenerados por estaca.	36
Fig. 14.	Promedio de longitud de brotes regenerados en función de AIB y ANA	37
Fig. 15.	Efecto de la concentración de AIB en el promedio del porcentaje de enraizamiento.	39
Fig. 16.	Efecto de la concentración de ANA en el promedio del porcentaje de enraizamiento.	40

Fig. 17. Promedio del porcentaje de enraizamiento en función de AIB y ANA.	41
Fig. 18. Efecto de la concentración de AIB en el promedio del porcentaje de mortalidad.	44
Fig. 19. Efecto de la concentración de ANA en el promedio del porcentaje de mortalidad.	44
Fig. 20. Promedio del porcentaje de mortalidad en función de AIB y ANA.....	45

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló en condiciones de invernadero en el campus de la Universidad Nacional de Cajamarca, entre los meses de julio y octubre del 2018, con el objetivo de determinar el efecto del Ácido Indol Butírico (AIB) y Ácido α -Naftalenacético (ANA) en el enraizamiento de *Smilax glabrata* ("shita negra"). Las concentraciones utilizadas en ambos reguladores de crecimiento fueron 2000, 4000 y 8000 ppm, las mismas que se combinaron y se aplicaron a las estacas de *Smilax glabrata*. En el experimento se empleó el diseño completamente al azar (DCA) bajo arreglo factorial 4 x 4, con 16 tratamientos y 3 repeticiones. Los parámetros evaluados fueron número de raíces y longitud de raíces adventicias, número de brotes regenerados y longitud de brotes regenerados. El ANOVA determinó que en todos los parámetros evaluados los efectos fueron independientes, encontrándose significación solo para el AIB. El mayor número de raíces adventicias (9), longitud de raíces (11.57 cm) y brotes regenerados (2 brotes) se obtuvo con 4000 ppm. El mayor número de brotes (2) y mayor porcentaje de enraizamiento (43.33 %) fue obtenido con 2000 ppm, mientras que el mayor porcentaje de mortalidad (96.67) con 8000 ppm.

Palabras claves: Ácido indol butírico, ácido α -naftalenacético, propagación vegetativa, estacas, *Smilax glabrata*, "shita negra".

ABSTRACT

This research was developed under greenhouse conditions on the campus of the National University of Cajamarca, between the months of July and October 2018, with the objective of determining the effect of Indole Butyric Acid (IBA) and α -Naphthalenacetic Acid (ANA) in the rooting of *Smallanthus glabratu*s (“black shita”). The concentrations used in both growth regulators were 2000, 4000 and 8000 ppm, the same ones that were combined and applied to the *Smallanthus glabratu*s cuttings. The completely randomized design was used in the experiment (DCA) was used under a 4 x 4 factorial arrangement, with 16 treatments and 3 repetitions. The parameters evaluated were number of roots and length of adventitious roots, number of regenerated shoots and length of regenerated shoots. The ANOVA determined that in all the parameters evaluated the effects were independent, finding significance only for the AIB. The highest number of adventitious roots (9), root length (11.57 cm) and regenerated shoots (2 shoots) was obtained with 4000 ppm. The highest number of shoots (2) and the highest percentage of rooting (43.33%) was obtained with 2000 ppm, while the highest percentage of mortality (96.67) with 8000 ppm.

Key words: Indole butyric acid, α -naphthalenacetic acid, vegetative propagation, cuttings, *Smallanthus glabratu*s, “black shita”.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

En la zona andina del Perú se encuentran los bosques montanos, los cuales son formaciones vegetales importantes por presentar una alta diversidad y endemismos; estos bosques en la actualidad se van perdiendo, debido a la acción antrópica y los cambios climáticos. Los bosques montanos son ecosistemas distribuidos por encima de los 1 000 m de altitud en la vertiente occidental de los Andes del norte. En estos bosques se encuentran especies introducidas albergando gran biodiversidad vegetal, dentro de esta se encuentra *Smallanthus glabratus* “shita negra” (ONU 2016), la cual es de significativa importancia para la dinámica de esos ecosistemas tan frágiles.

En la sierra peruana existe una gran variedad de especies leñosas que proporcionan diversos beneficios a los pobladores, tanto directos como indirectos y una de ellas es el *Smallanthus glabratus* o “shita negra”, es una especie perteneciente a la familia Asteraceae y que vienen siendo propagadas, cultivadas y establecidas como cercos vivos, junto a las viviendas y como linderos de predios rurales, siendo utilizada y aprovechada como leña, tinglado, postes para cercos, cercos vivos, cortinas rompe vientos, conservación de suelos, sistemas agroforestales y en las construcciones rurales. Empíricamente se sabe que los lugareños lo propagan en forma vegetativa, pero no se ha reportado información técnica y científica sobre los resultados de su propagación y de su eficiencia. Por lo tanto, se requiere investigar el efecto de los factores externos que condicionan su propagación asexual y particularmente la acción de los reguladores auxínicos del crecimiento ácido indol butírico y ácido α -naftalenacético en la emisión de raíces adventicias.

En consecuencia, el presente trabajo de investigación está orientado evaluar el efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento auxínicos (AIB y ANA) en “shita negra”, los mismos que se probaron en tres concentraciones diferentes. Así mismo, se buscó el efecto individual y combinado de los diferentes reguladores, de tal manera que se pueda encontrar una dosis que permita

incrementar la propagación mediante estacas en el menor tiempo y con características apropiadas para la instalación de plantaciones forestales uniformes con fines de conservación de suelo y sistemas agroforestales.

CAPÍTULO II

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes de la investigación

Rafael *et al.* (2004), efectuaron una investigación para evaluar el efecto de diferentes concentraciones de auxinas en la formación de raíces adventicias en estacas basales de Caña Flecha, *Gynerium sagittatum* de tres y cuatro nudos, obtenidas del tercio inferior del tallo en la variedad "Criolla". Los tratamientos empleados para la investigación correspondieron a: 0, 400, 800, 1200, 1600 y 2000 mg.L⁻¹, para AIB, ANA y AIB+ANA. Utilizaron un diseño completamente al azar, con dieciséis tratamientos y tres repeticiones. Se evaluaron las variables número de raíces, longitud máxima de raíces, masa seca de raíces, porcentaje de enraizamiento, número de brotes, número de hojas y longitud máxima de brotes. El AIB a 2000 mg L⁻¹ propició el mayor número de raíces por estaca y cuando se utilizó ANA a 400 mg L⁻¹ y AIB + ANA a 1200 mg L⁻¹ se logró obtener un 100% de estacas enraizadas, en tanto que, con el testigo, un 75 % de enraizamiento. Así mismo, AIB + ANA a 400 mg L⁻¹, indujo resultados satisfactorios para longitud máxima de raíz y masa seca de raíz. Por consiguiente, para propagar rápida y masivamente la Caña Flecha por medio de estacas, resulta efectivo el uso de ANA a 400 mg L⁻¹ por su menor costo, colectando las estacas cuando las plantas madres estén con buen vigor vegetativo y con poco grado de lignificación.

Ruiz *et al.* (2004), realizaron otra investigación con el propósito de desarrollar un sistema operativo de propagación vegetativa para *Gmelina arborea*, una especie leñosa con amplio potencial en plantaciones comerciales en regiones tropicales, evaluándose el efecto de la concentración de Ácido Indol butírico (AIB) en la capacidad de enraizado de diferentes tipos de estacas juveniles de esta especie. En el ensayo se incluyeron tres tipos de estaca (apical, intermedia y basal) y cuatro concentraciones de AIB (0, 1.0, 1.5 y 2.0 mg g⁻¹), en un diseño factorial completo; se evaluó el contenido inicial de azúcares totales en los tres tipos de estaca, así como su capacidad de enraizado, brotación y características de las raíces formadas. Las estacas apicales mostraron mayor capacidad de enraizado

(71.8 %) y brotación (54.9 %) que las estacas basales (43.7 y 38.3 %, respectivamente), y formaron 30 % más de raíces. La aplicación de AIB inhibió la capacidad de enraizado en las estacas apicales, pero la estimuló en las estacas intermedias y basales; el mayor porcentaje de enraizado se obtuvo en las estacas apicales sin AIB (80 %) y en las intermedias con 2.0 mg g⁻¹ de AIB (83 %). No se encontraron diferencias significativas en la concentración de azúcares totales entre los tipos de estaca. Se puede entonces implementar un sistema efectivo de propagación clonal de *Gmelina arborea* (más de 80 % de enraizado) si se aplica la concentración adecuada de AIB a estacas basales e intermedias.

Sánchez *et al.* (2009), evaluaron el efecto del Ácido Indol butírico (AIB) sobre el enraizamiento de acodos aéreos en plantas de Guayabo, *Psidium guajava* en el municipio Baralt, estado Zulia, Venezuela, utilizando como sustrato espuma fenólica + viruta de coco (1:1). Se evaluaron cuatro concentraciones de AIB (0, 2000, 4000 y 6000 mg·kg⁻¹), bajo un diseño experimental totalmente al azar con arreglo de tratamientos factorial 2 x 4 con dos y cuatro repeticiones. Once semanas después de realizados los acodos se evaluó el porcentaje de acodos vivos (AV), acodos enraizados (AE) y acodos con formación de callo (AC), número de raíces por acodo (NRA) y longitud de la raíz más larga (LRL). No hubo efecto significativo para AE, NRA y LRL por efecto de la variante y de la concentración de AIB; no obstante, hubo 20,83% de AE, el NRA fue de 0,96 por acodo y la LRL fue de 8,73 mm en promedio. Los porcentajes de AV estuvieron entre 20,83 y 62,50% para 4000 mg·kg⁻¹ de AIB y el testigo, para AC entre 0,00 y 25,00% para 6000 mg·kg⁻¹ y el testigo, respectivamente, con diferencias estadísticas (P<0,04) en ambos casos. Se concluye que en las variantes de guayabo seleccionadas y las concentraciones de AIB utilizadas no promovieron adecuadamente el enraizamiento de acodos aéreos.

2.2. Bases teóricas

2.2.1. Distribución geográfica del *Smallanthus glabratus*

En el Perú, *Smallanthus glabratus* está distribuida en los departamentos de Ancash, Apurímac, Cajamarca, Huánuco, Lima y La Libertad, desde 500 a 3500 m de altitud (Brako y Zarucchi 1993).

2.2.2. Propagación vegetativa

La propagación vegetativa se refiere a la reproducción de una planta por la vía asexual. Por medio de este tipo de propagación se puede generar una planta nueva con solamente usar alguna parte vegetal (raíces, tallos, ramas, hojas) de la planta original (Rojas *et al.* 2004). Esto es posible, debido a que las células vegetales conservan la capacidad de regenerar la estructura entera de la planta; esta capacidad se debe a factores como la totipotencia, es decir, que cada célula vegetal viviente contiene en su núcleo la información genética necesaria para reconstituir todas las partes de la planta y sus funciones, a través de reproducción somática basada exclusivamente en mitosis; y la desdiferenciación o capacidad de las células maduras de volver a una condición meristemática y desarrollar un punto de crecimiento nuevo (Hartmann y Kester 1995, Rojas *et al.* 2004 y Vieira 2007). Además, Zobel y Talbert (1988) y Calzada (1993), señalan que para cada especie es necesario encontrar la forma de propagación asexual más conveniente.

2.2.2.1. Razones para emplear la propagación vegetativa

Hartmann y Kester (1995), menciona 5 razones para emplear la propagación vegetativa: (1) El mantenimiento de clones, importante porque la mayoría de cultivares de plantas y frutales tienen un genotipo altamente heterocigoto cuyas características únicas se pierden de inmediato al propagarlas por semillas; (2) Propagación de plantas sin semilla, necesaria para mantener cultivares que no produzcan semillas viables; (3) Evita los periodos juveniles prolongados de las plantas que se cultivan a partir de semillas pues, por el contrario, la propagación

vegetativa retiene esa capacidad de floración y con ella se evita la fase juvenil; (4) Durante el periodo juvenil, las plantas originarias de semillas pueden mostrar caracteres muy inconvenientes, que se pueden evitar propagando la forma adulta por métodos vegetativos, además que facilita la propagación de especies difíciles de enraizar ya que las estacas tomadas de material juvenil enraízan con mayor facilidad que las de material adulto; y (5) La propagación vegetativa es económicamente ventajosa en tanto elimina la fase juvenil y acorta del tiempo necesario para llegar a la madurez reproductiva.

2.2.2.2. Propagación vegetativa por estacas

Existen nueve formas de propagación vegetativa: por estacas, por injerto, por yema, por acodo, por estolones, por hijuelos, por separación, por división y por sistema de cultivo *in vitro* (Hartmann y Kester 1995).

De todas las formas de propagación antes mencionadas, el presente estudio de investigación ha tomado la propagación por estacas, a la cual, Rodríguez (2000) la define como la separación de una rama de la planta madre y que, plantada en condiciones adecuadas, emite raíces y brotes dando lugar a una nueva planta igual a aquella de la que proviene. Así mismo, Facundo (2010) manifiesta que la estaca es un fragmento de rama que, sacada en el periodo invernal y enterrado parcialmente, es capaz de producir una planta perfectamente igual a aquella de la cual procede.

a. Ventajas de la propagación por estacas: Entre las ventajas de la propagación por estacas tenemos que de unas cuantas plantas madres es posible iniciar, muchas nuevas plantas en un espacio limitado. Además, es económica, rápida, simple y no requiere las técnicas especiales de injerto. Se obtiene una mayor uniformidad por la ausencia de variaciones que en ocasiones aparecen en las plantas injertadas, resultantes de la variación en los patrones provenientes de semilla. La planta madre, por lo general se reproduce exactamente sin cambio genético (Hartmann y Kester 1995 y Calzada 1993).

- b. Tipos de estacas:** Las estacas pueden ser clasificadas de acuerdo con la parte de la planta de la que proceden. Por ejemplo, tenemos estacas de tallo, estacas de hoja, estacas de hoja y yema y estacas de raíz. Las estacas de tallo son el tipo más importante, se pueden dividir en cuatro grupos de acuerdo con la naturaleza de la madera que se use: madera dura, madera semidura, madera suave y herbácea (Hartmann y Kester 1995).

Las estacas de madera semidura, son obtenidas de especies leñosas, siempre verdes, de hoja ancha, pero las estacas foliosas de verano tomadas de madera parcialmente maduras de plantas deciduas también pueden considerarse como de madera semidura. Las estacas siempre verdes, de hoja ancha, por lo general, se toman en verano de ramas nuevas, justo después de que ha habido un periodo de crecimiento y la madera está parcialmente madura (Hartmann y Kester 1995).

Las estacas tienen de 7.5 a 15 cm de largo, reteniendo hojas en la parte superior. Si las hojas son muy grandes deben reducirse en tamaño para disminuir la pérdida de agua y permitir un menor espaciamiento en las camas de cultivo. Con frecuencia se usan puntas de ramas para hacer estacas, pero las partes basales del tallo también enraízan. El corte basal de ordinario se hace justamente debajo de un nudo. La madera para estacas debe obtenerse en las primeras horas de la mañana, cuando los tallos estén turgentes y mantenerse envueltos en tela de manila húmeda, limpia, o colocarse en bolsas de polietileno grandes. Se deben proteger del sol todo el tiempo. Es necesario que las estacas con hojas se hagan enraizar en condiciones que mantengan al mínimo las pérdidas de agua en las hojas (Hartmann y Kester 1995).

- c. Época del año en que se corta la estaca:** Es posible extraer estacas en cualquier época del año. En la propagación de especies deciduas, se pueden tomar estacas de madera dura, durante la estación de reposo o bien durante la temporada de crecimiento, se puede preparar estacas foliosas de madera suave o de madera semidura usando madera succulenta o parcialmente madura. Las especies siempre verdes de hoja angosta y de hoja ancha

tienen durante todo el año uno o más periodos de crecimiento y se pueden obtener estacas en varias épocas, relacionadas con dicho periodo (Hartmann y Kester 1995).

- d. Selección del material vegetativo:** Castañeda (2004), manifiesta que para obtener el material hay que seleccionar la planta madre fijándose en las características fenotípicas. La época más recomendable es poco después de haber empezado la época invernal ya que esto estimula a las yemas para que emitan las protuberancias o raíces adventicias preformadas, y las plantas madres de las cuales se obtengan dicho material deben poseer las siguientes características:
- 1) Estar libres de enfermedades y plagas.
 - 2) Ser fieles al nombre y tipo.
 - 3) Mostrar un crecimiento vegetativo activo y una alta capacidad regenerativa.
- e.** No se debe extraer las estacas de plantas en floración, pues se corre el riesgo que después del trasplante, las plantas presenten floración prematura, la cual influye negativamente en el normal desarrollo y productividad del cultivo (Valderrama 2005).
- f. Extracción de estacas:** Para propagar una planta por medio de estacas, se corta una porción de tallo, raíz u hoja de la planta madre, se coloca en condiciones favorables y se induce a la formación de raíces y brotes (Hartmann y Kester 1995). Es indispensable que la rama contenga la consistencia semileñosa antes que la médula se retraiga o el centro quede hueco y haya pérdida de su color gris. De los árboles ubicados en terrenos húmedos o cerca al agua, se puede recolectar estacas en cualquier época del año, mientras que de los árboles ubicados en terrenos secos o lejos del agua, solo en meses de lluvia. Las estacas deben tener cortes limpios y haber sido obtenidas en cortes a bisel, no deben almacenarse, pero mientras dure el proceso de recolección es conveniente tenerlas bajo sombra o envolverlas con una manta húmeda. Es necesario realizar el repicado o plantado una vez recolectado el material vegetativo (MINAG 2003).

Seleccionadas las plantas madres, se cortan desde la base, tallos maduros y se les quita las hojas. Luego se cortan las estacas, cada uno con dos o más nudos. El corte inferior es transversal y debajo del nudo y el superior se hace en forma de bisel. No se recomienda obtener estacas muy delgadas, que presentan magulladuras y daños por fitófagos o con entrenudos excesivamente largos. Seleccionar aquellas cuya distancia entre sus nudos no sea mayor a 15 cm. Las estacas, se desinfectan sumergiéndolas en una solución preparada a base de un cojín de lejía en 30 litros de agua, durante 3 minutos. Luego se sacan, extienden y olean (Valderrama 2005).

Castañeda (2004), indica que las estacas semi-leñosas deben tener un diámetro mayor a 1 cm y una longitud de 15 a 20 cm; cortadas en forma de bisel y por lo menos dos o tres yemas; luego estas se plantan ubicándolas en forma inclinada, introduciendo aproximadamente 1/3 de la estaca. Por otro lado, Urbano (2001) manifiesta que las estacas se ponen a enraizar generalmente llevando alguna hoja. El procedimiento comúnmente empleado para obtener estacas consiste en aislar ramas del año y fraccionarlas en trozos de 4 a 5 hojas, conservando los dos superiores. Antes de plantarlas, son tratadas con hormonas de crecimiento para facilitar la emisión de raíces, en la base se efectúan incisiones longitudinales con la punta de la navaja en una longitud de 2 a 3 cm.

La cicatrización y el enraizamiento se llevan a cabo de forma regular sobre todo la parte del cambium puesta al descubierto. Sin embargo, en muchos casos es preferible actuar de otra forma. En aquellas especies en que aparecen fácilmente sus raíces en el entrenudo, no es necesario preocuparse del lugar exacto del corte por economía del tiempo y para obtener estaquillas de longitud uniforme (Gil *et al.* 1981).

2.2.2.3. Tipos de reguladores de crecimiento

Los cinco grupos principales de hormonas y reguladores de crecimiento son: las auxinas, citoquininas, giberelinas, ácido abscísico y etileno; no obstante, los dos primeros son los más usados en la práctica de propagación por estacas (Rojas *et al.* 2004).

Las Auxinas fueron las primeras hormonas que se descubrieron en las plantas (Taíz y Zeiger 1996), éstas se sintetizan en las hojas y meristemos apicales (Strasburger 1994). El objetivo de tratar estacas con sustancias reguladoras del crecimiento de tipo auxina, es aumentar el porcentaje de estacas que forman raíces, acelerar la iniciación de ellas, aumentar el número y la calidad de las raíces producidas por estacas y aumentar la uniformidad del enraizamiento (Hartmann y Kester 1995).

Dentro de los reguladores de crecimiento del tipo auxina que influyen en el enraizamiento tenemos: el Ácido Indol Acético (AIA), el Ácido Indol Butírico (AIB) y el Ácido α -naftalenacético (ANA); sin embargo, la combinación de las dos últimas a menudo es más eficaz que cualquiera de ambas utilizadas por separado (Weaver 1985). De igual manera Hartmann y Kester (1995) indican que con la mezcla de partes iguales de AIB y ANA, se induce un mayor porcentaje de enraizamiento en las estacas y la producción de más raíces por estaca que cada material por separado.

A continuación, se describe los reguladores de crecimiento del tipo auxina materia de la presente investigación y que son:

- a. **Ácido Indol Butírico (AIB):** El AIB es probablemente el mejor material para uso masivo, debido a que no es tóxico para las plantas en una amplia gama de concentraciones y es efectivo para estimular el enraizamiento de un gran número de especies de plantas (Hartmann y Kester 1997). Los sistemas de enzimas destructores de auxinas, la destruyen en forma relativamente lenta, además se desplaza muy poco, se retiene cerca del sitio de aplicación (Weaver 1985) y es foto estable (Hartmann y Kester 1995). La mayoría de las especies forestales enraízan bien con dosis de 0,2% a 0.3% de AIB, aunque algunas pueden requerir dosis mayores o menores dosis (Soudre *et al.* 2008 y Mesen 1998).
- b. **Ácido α -Naftalenacético (ANA):** Es obtenido por síntesis, tiene una gran actividad auxínica general y rizógena. Es bastante estable y es ligeramente más tóxico para la planta que el AIB. Beaulieu, citado por Leví (1987) indica

que su uso es más delicado porque el margen entre el umbral de su actividad y el umbral de su toxicidad es más pequeño.

Hartmann y Kester (1995), indican que el AIB y el ANA, aunque no son de ocurrencia natural, son más efectivos para la estimulación de formación de raíces en las estacas. Se ha confirmado muchas veces que la auxina natural o aplicada artificialmente, es un requerimiento para la iniciación de raíces adventicias en tallos y hasta se ha demostrado que la división de las primeras células iniciales depende de la presencia de auxina. Así mismo, estos recomiendan sumergir en solución concentrada de auxinas, la base de la estaca por aproximadamente 5 segundos en soluciones de 500 a 10 000 ppm. Mientras que Urbano (2001) manifiesta que se obtiene una mejora en el porcentaje de arraigos con un tratamiento en soluciones de Ácido Indol Butírico, en concentraciones de 500, 1000 y 2000 ppm.

2.2.2.4. Método de aplicación de reguladores de crecimiento

Hartmann y Kester (1995), mencionan dos métodos de aplicación: Método de remojo en solución diluida y método de inmersión en solución concentrada. Sin embargo, Primo (1977) y Hartmann y Kester (1995) indican que para la aplicación de estos fitorreguladores se recomienda el método por inmersión de las estacas en soluciones concentradas. Este método tiene ventajas, ya que elimina la necesidad de disponer de equipo para remojar las estacas y después volverlas a manejar para insertarlas en el medio de enraíce. Además, es muy probable que se obtenga 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 métodos.

El método antes citado consiste en la preparación de una solución concentrada de la sustancia estimuladora del enraizamiento, que puede variar de 500 a 10 000 ppm (de 0.05 a 1.0) en alcohol al 50% y se sumerge en ella por un tiempo corto (unos 5 segundos) de 0.5 a 1.0 cm de la porción basal de las estacas, que luego se insertan en el medio de enraizamiento, tratando las estacas en manojos y no individualmente (Primo 1977, Hartmann y Kester 1995, Sisaro y Hagiwara 2016, Hartmann *et al.* 2002). Así mismo Urbina (2009) menciona que el

tratamiento hormonal por inmersión rápida es en alcohol etílico al 95% y para concentraciones que van desde 1 000 a 5 000 ppm durante un tiempo corto de 5 a 10 seg.

Para la preparación de 100 ml de solución concentrada de una sustancia reguladora del enraizamiento de 4 000 ppm, se pesa 400 mg de la sustancia y se disuelve en 100 ml de alcohol (etílico, metílico o isopropílico) al 50%. Una solución de 4 000 ppm de ácido indol butírico puede prepararse disolviendo una cuarta parte de una cucharadita rasa de cristales puros en 100 ml de alcohol al 50% (Hartmann y Kester 1995).

2.2.2.5. Condiciones ambientales favorables para el enraizamiento

Según Sisaro y Hagiwara (2016), el ambiente de enraizamiento debe cumplir con las siguientes características:

- 1) Alta humedad relativa para evitar la transpiración de las estacas y evitar la deshidratación de las mismas.
- 2) Temperatura adecuada para permitir la actividad metabólica en las estacas, especialmente en la zona basal de las mismas donde surgen las raíces adventicias (15 a 25°C sería lo ideal).
- 3) Suficiente luminosidad para permitir que las estacas fotosinteticen y produzcan energía (hidratos de carbono).

Urbano (2001) además afirma que la temperatura ambiental adecuada para el enraizamiento de estacas debe oscilar entre 25 a 30 °C evitando las insolaciones; mientras que Hartmann y Kester (1975) refiere que la temperatura ambiental adecuada para el enraizamiento de estacas debe oscilar entre 21 a 27°C, durante el día y 15 °C durante la noche, y la temperatura del sustrato comprendidas entre 21 a 26 °C.

2.2.2.6. Sustrato

El sustrato debe ser suficientemente aireado y húmedo. Un suelo demasiado compacto (bien por finura de granulación o por saturación excesiva de agua) difícilmente deja penetrar el aire que necesitan los tejidos para realizar su

actividad; si es excesivamente poroso, deja circular fácilmente el aire, pero se deseca rápidamente, por lo tanto éste debe ser denso y firme para servir de anclaje a las estacas, tener suficiente capacidad de retención hídrica y ser lo suficientemente porosos para eliminar el exceso de agua y permitir el intercambio gaseoso; deben ser sanitariamente limpios, no poseer semillas de malezas ni ser fuente de plagas ni de patógenos (Gil et al. 1981, Sisaro y Hagiwara 2016).

El medio de enraizamiento puede afectar al tipo de sistema radical que se origina 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 de arena y musgo turboso, o de perlita y musgo turboso, desarrollan raíces bien ramificadas, delgadas y flexibles, de un tipo más apropiado para extraerse y volverse a plantar (Hartmann y Kester 1995).

Córdova (2008) indica que utilizar aserrín como sustrato es económico, tiene mejor porosidad. El aserrín de pino puede cuando se usa crudo puede traer algunos problemas de fitotoxicidad, pero se corrige con el lavado o con el proceso de descomposición.

2.3. Definición de términos básicos

- **Auxinas:** Elemento de gran importancia para las plantas. Se trata de un tipo de hormona vegetal que ayuda al crecimiento y desarrollo de la planta.
- **Hormona vegetal o fitohormona:** Compuestos naturales producidos internamente por una planta, son las que definen en buena medida el desarrollo.
- **Rizogénesis:** Es un proceso que condiciona la formación y desarrollo de raíces en las plantas, que puede ser promovida por la aplicación de auxina.
- **Estaca:** Fragmento de tallo con yemas (o esqueje) de consistencia leñosa que se separa de un árbol o de un arbusto y se introduce en el suelo o en

un sustrato para que arraigue en él y forme una nueva planta. Las estacas, por consiguiente, son un medio para la propagación vegetativa o asexual de muchas variedades y especies arbóreas y arbustivas.

- **Raíces adventicias:** Aquella raíz que crece a partir de otro órgano que no es la raíz primaria, puede salir de otras partes de una planta como los tallos, hojas o raíces viejas.
- **Turgencia:** (*turgens- turgentis*; hinchar) al fenómeno que ocurre cuando una célula se dilata debido a la presión ejercida por los fluidos y por el contenido celular sobre las paredes de la célula. Este fenómeno está íntimamente relacionado con la ósmosis.
- **Basipétala:** Que se desarrolla desde el ápice hacia la base.
- **División celular:** Proceso por el cual el material celular se divide entre dos nuevas células hijas. Procedimiento en virtud del cual crece el organismo, partiendo de una sola célula, y también son reemplazados y reparados los tejidos estropeados.
- **Propágulo:** Parte o estructura de un organismo producido sexual o asexualmente, capaz de desarrollarse de manera separada para dar lugar a un nuevo organismo idéntico al que lo formó originándose nuevas plantas.
- **Camas de enraizamiento o platabandas:** Son de dos tipos: bajas y aéreas. Las bajas son estructuras armadas encima de la grava de 20 cm de alto y 80 cm de ancho, las camas aéreas son estructuras que van elevadas del suelo a 1m de altitud.

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1. Ubicación geográfica del trabajo de investigación

La investigación se realizó en el Invernadero de la Facultad de Ciencias Agrarias – EAP de Ingeniería Forestal, perteneciente a la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicado en la Av. Atahualpa N° 1050, carretera a Baños del Inca; a una altitud de 2,536 msnm. Geográficamente está localizado en las coordenadas 07° 10' 03" de Latitud Sur y 78° 29' 35" de Longitud (Estación Meteorológica Augusto Weberbauer).

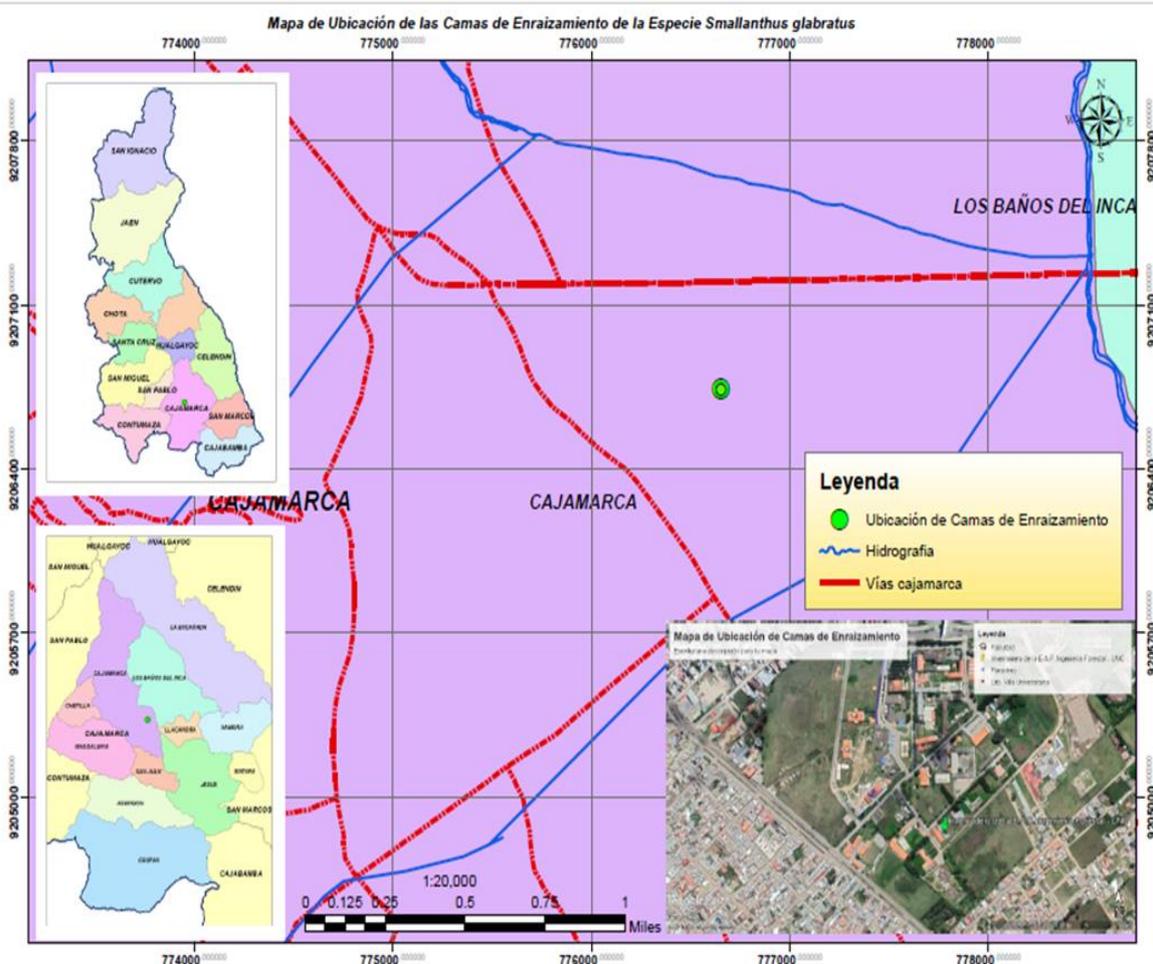


Fig. 1. Ubicación del invernadero utilizado para el enraizamiento de *Smallanthus glabratus* “shita negra”.

3.2. Materiales

3.2.1. Material biológico

- Estacas de la especie *Smallanthus glabratus* (shita negra)

3.2.2. Material de campo e insumos

- Tijeras de podar
- Papel periódico
- Bolsas de polietileno
- Regaderas
- Mangueras
- Wincha
- Gravilla
- Aserrín de pino
- Carretilla
- Ladrillos
- Tablas
- Malla raschel
- Baldes
- Rastrillo
- Regla milimetrada
- Libreta de campo

3.2.3. Equipo e insumos de laboratorio

- Reguladores del crecimiento vegetal: Ácido Indol Butírico (AIB) y Ácido α -Naftalenacético (ANA)
- Hidróxido de sodio 0.1 N
- Alcohol etílico al 96%
- Balanza analítica
- Pipeta graduada
- Probeta
- Cocina eléctrica
- Vasos de precipitación de 250 ml.

3.3. Metodología

El trabajo desarrollado es de carácter experimental. La investigación se realizó entre los meses de julio a octubre de 2018, bajo las siguientes consideraciones:

3.2.4. Diseño experimental

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), bajo arreglo Factorial 4AIB x 4ANA, con 16 tratamientos (Tabla 1) y 3 repeticiones por tratamiento, disponiendo 10 sub-unidades (estacas) para cada tratamiento. La unidad experimental estuvo representada por una estaca de *Smallanthus glabratus* "shita negra".

Tabla 1. Factores, niveles y tratamientos en estudio

Factores	Niveles	Tratamientos	Clave
AIB (ppm)	0	0 ppm de AIB más 0 ppm de ANA	T1
		0 ppm de AIB más 2000 ppm de ANA	T2
		0 ppm de AIB más 4000ppm de ANA	T3
		0 ppm de AIB más 8000ppm de ANA	T4
		2000 ppm de AIB más 0 ppm de ANA	T5
		2000 ppm de AIB más 2000 ppm de ANA	T6
		2000 ppm de AIB más 4000 ppm de ANA	T7
		2000 ppm de AIB más 8000 ppm de ANA	T8
		4000 ppm de AIB más 0 ppm de ANA	T9
		4000ppm de AIB más 2000 ppm de ANA	T10
ANA (ppm)	0	4000 ppm de AIB más 4000 ppm de ANA	T11
		4000 ppm de AIB más 8000 ppm de ANA	T12
		8000 ppm de AIB más 0 ppm de ANA	T13
		8000 ppm de AIB más 2000 ppm de ANA	T14
		8000 ppm de AIB más 4000 ppm de ANA	T15
		8000 ppm de AIB más 8000 ppm de ANA	T16

3.2.5. Fase de campo

3.2.5.1. Habilitación de camas en el invernadero

Se habilitó 3 camas (Fig. 2), de 3.20 m de largo x 1 m de ancho y 20 cm de profundidad cada una. Cada cama constaba de 16 tratamientos y cada uno de ellos separados por un triplay de 1 m de ancho x 20 cm de altura x 6 milímetros de espesor.

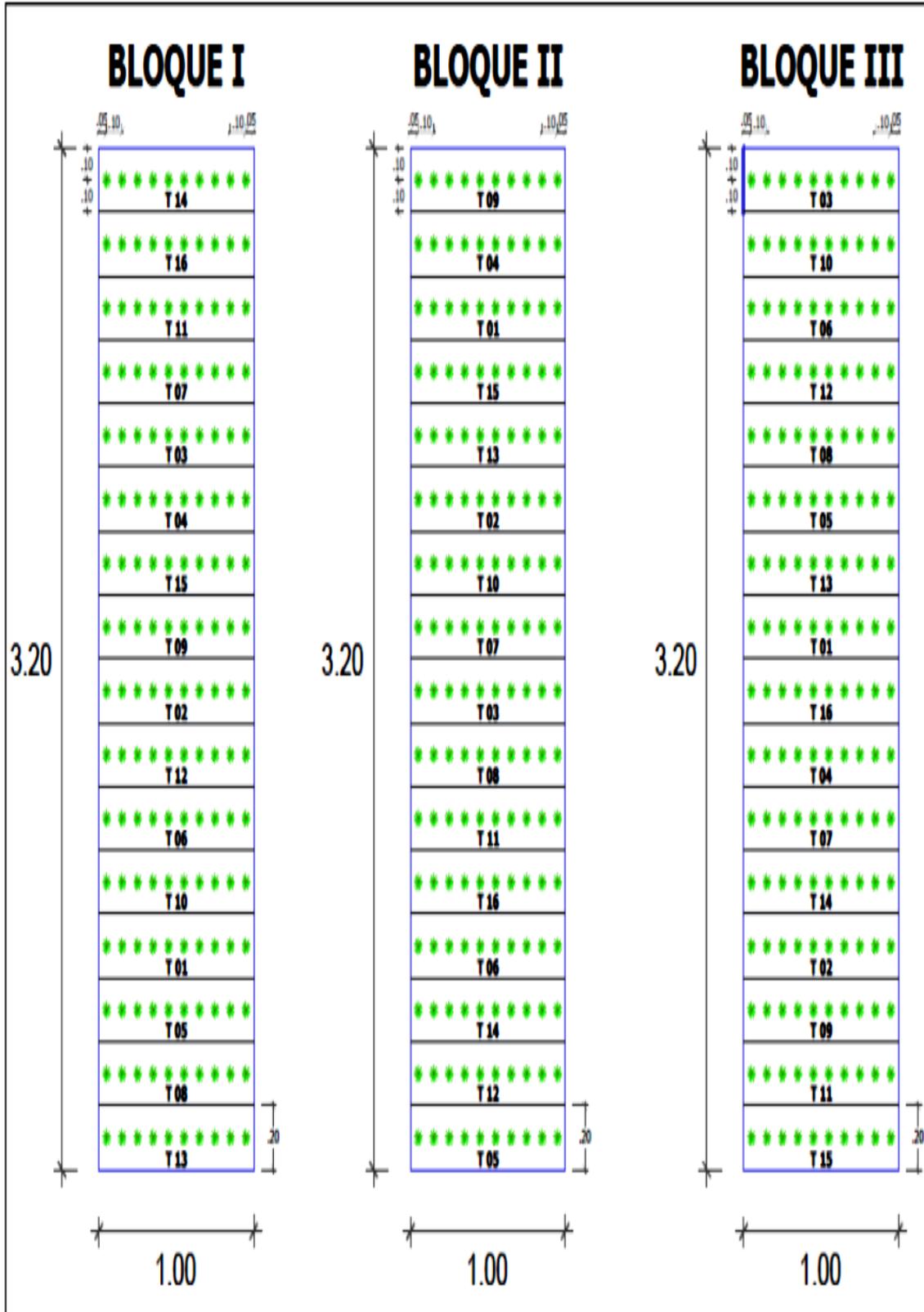


Fig. 2. Distribución de camas de enraizamiento de *Smilax glabrata*.

3.2.5.2. Preparación del sustrato de enraizamiento

Se utilizó aserrín de pino como único sustrato para todos los tratamientos, el cual fue desinfectado con agua hervida para evitar daños posteriores a las estacas. En la base de las camas se colocó gravilla a 2 cm de altura para facilitar el drenaje, luego se cubrió con malla raschel para evitar que se mezcle con el sustrato y finalmente se colocó el aserrín de pino hasta los 17 cm de altura.

3.2.5.3. Recolección de las estacas

Las estacas fueron recolectadas del Caserío Cuadratura – Distrito y Provincia de Hualgayoc – Departamento de Cajamarca. Se recolectaron estacas de plantas maduras, con una altura aproximada de 5 a 8 metros, de porte homogéneo, fuste cilíndrico y recto, con poca ramificación. Las estacas se extrajeron de las partes apicales e intermedias de las ramas. La extracción se realizó en las primeras horas de la mañana, de tallos maduros y turgentes. El corte se hizo con tijeras de podar, desde la base, quitándoles las hojas, el corte fue inferior y transversal debajo del nudo, y el superior en forma de bisel.

Las estacas se cortaron de 25 cm con 3 nudos como mínimo y 9 nudos como máximo, con un diámetro de 1 a 1.5 cm. Las estacas extraídas se envolvieron en papel periódico húmedo a fin de evitar su deshidratación y se colocaron en bolsas negras de polietileno para su respectivo traslado.

3.2.6. Fase de laboratorio

3.2.6.1. Tratamiento e instalación de las estacas en las camas de enraizamiento

Para preparar las soluciones de reguladores del crecimiento vegetal, se pesó 0.2, 0.4 y 0.8 g. de AIB y ANA, que al ser diluidas en el solvente permitieron obtener las concentraciones de 2000, 4000 y 8000 ppm, respectivamente. Antes de agregar el solvente (agua destilada estéril),

cada peso de AIB y ANA fue pre disuelto en una alícuota de alcohol etílico al 96% e hidróxido de sodio al 0.1 N, la cual fue calentada hasta lograr su dilución total. Posteriormente, estas soluciones fueron combinadas entre sí hasta lograr las soluciones (100 mL) que caracterizan a cada tratamiento.

Se realizaron 4 incisiones longitudinales en los cuatro lados de la base de la estaca (3 a 5 cm basales), luego fueron sumergidas en manojos en cada una de las soluciones preparadas para cada tratamiento por espacio de 10 segundos. Luego, las estacas se invirtieron y su parte distal fue introducida en agua destilada, por 24 horas para distribuir uniformemente la auxina en toda la estaca y evitar su deshidratación. Durante este tiempo, las estacas permanecieron cubiertas por bolsas negras de polietileno para evitar la pérdida de humedad. Transcurrido este tiempo, las estacas fueron plantadas a 10 x 10 cm de distancia en las camas de enraizamiento, en posición inclinada (45°) y con los 2/3 de su base (10 cm) introducida en el sustrato húmedo.

3.2.6.2. Manejo de estacas

Riego: El riego se realizó por las mañanas entre las 7:00 y 10:00 a.m o por las tardes entre las 5:00 y 6:00 p.m, cada cierto periodo evaluando que el sustrato se mantenga húmedo.

Deshierbo: Se realizó mensualmente, debido a la escasa presencia de hierbas en las camas de enraizamiento.

3.2.6.3. Evaluación

Hasta los tres primeros meses, las estacas fueron evaluadas de forma visual con el propósito de cuantificar la sobrevivencia, así como el número de brotes y presencia de hojas en cada una de ellas.

Finalizado el experimento (cuarto mes), se extrajeron todas las estacas del sustrato para evaluar el número y longitud de raíces, número y longitud de brotes, porcentaje enraizamiento y porcentaje de mortalidad.

3.2.7. Fase de gabinete

Los datos correspondientes a las evaluaciones antes indicadas fueron registrados en una hoja de cálculo (Excel) y luego ordenados para ser procesados mediante el análisis de varianza (ANVA). En los casos en donde se encontraron diferencias significativas entre tratamientos, se realizó la prueba de rango múltiple de Tukey al 5%, para determinar cuál de los tratamientos es el más eficiente. Los resultados fueron expresados en tablas y gráficos según sea los casos requeridos.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Número de raíces

Los resultados del ANVA para el parámetro número de raíces (Tabla 2), revelaron significación estadística al 5 % de probabilidad para los efectos independientes del AIB influyendo en el número de raíces, dado que el valor de significación (p-valor = 0.001) es menor al 0.05. Así mismo, no se encontró significación estadística para la interacción de los factores (ANA x AIB) del mismo modo para el testigo. Estos resultados indican que al no haber una significancia estadística para la interacción de los factores AIB X ANA, se han generado reacciones distintas para cada uno de los niveles actuado de manera independiente cada uno, permitiendo obtener resultados diferentes con cada concentración aplicada.

El coeficiente de variación obtenido (CV = 39.9 %), indica la alta variabilidad del material experimental en cuanto al número de raíces por unidad básica de estudio, esto seguramente se debe a las características morfo-fisiológicas del material experimental (estacas) utilizado (*Smallanthus glabratus*), asociado a otros factores.

Tabla 2. ANVA para el efecto del ANA y AIB en el número promedio de raíces.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
AIB	3	37.95	12.650	21.56 **	<0.0001
ANA	3	1.34	0.450	0.76 NS	0.5254
AIB*ANA	9	5.04	0.560	0.95 NS	0.4943
Error	32	18.77	0.590		
Total	47	63.09			

CV = 39.9 %

La prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de las diferentes concentraciones de AIB en el número de raíces (Fig. 3) indica que los mejores resultados se encontraron con 4000 y 2000 ppm, cuyos valores promedio fueron de nueve y siete raíces por estaca, respectivamente, estos resultados son estadísticamente superiores al resto. Los menores resultados se obtuvieron con 0 y 8000 ppm, cuyos valores promedio fueron de dos raíces por estaca, respectivamente. Los niveles de concentración obtenidos para el número de raíces fueron el resultado del factor AIB actuando de manera independiente.

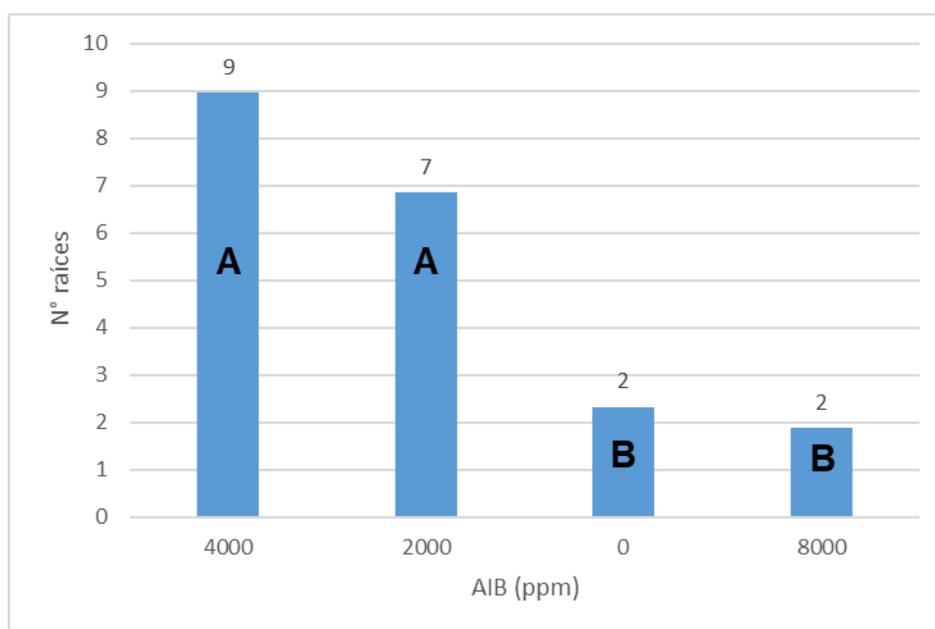


Fig. 3. Efecto de la concentración de AIB en el número promedio de raíces por estaca.

En la Fig. 4 se observa los resultados de número de raíces. Con ANA a 0 ppm se encontraron seis raíces, con 2000 y 4000 ppm se encontró cinco raíces y con 8000 ppm solo 4 raíces.

Esto es concordante con lo encontrado por Vargas *et al.* (1999), Ramírez Villalobos *et al.* (2004) y Oliva *et al.* (2005) citado por Langé (2013) que demuestran que la aplicación de reguladores de crecimiento del tipo auxinas es una práctica viable y decisiva para la formación de raíces, debido a que promueve la iniciación de raíces, permite adelantar la iniciación radical, incrementar el número y la calidad de raíces, aumenta la uniformidad y reduce el tiempo para el proceso de enraizamiento.

Los niveles de concentración obtenidos para el número de raíces fueron el resultado del factor ANA actuando de manera independiente.

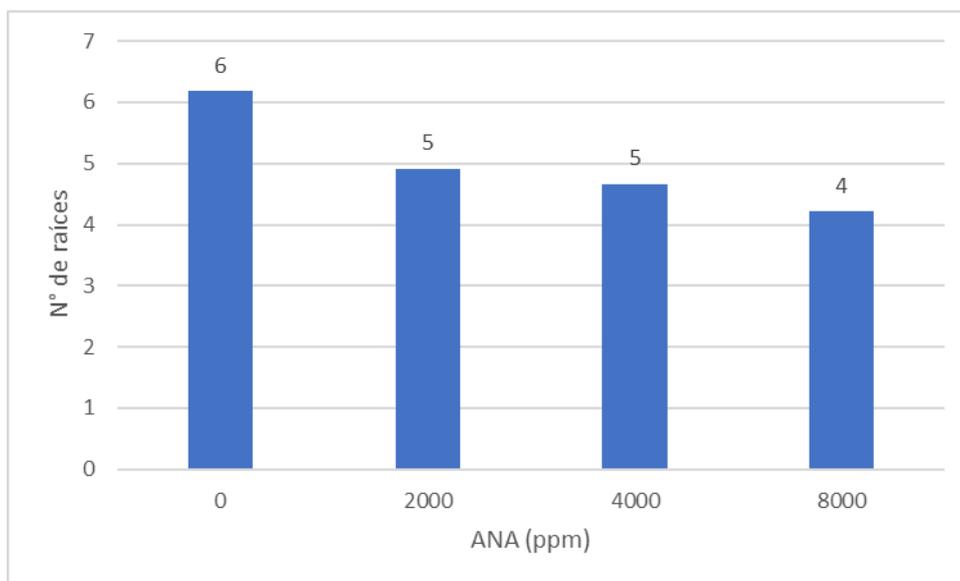


Fig. 4. Efecto de la concentración de ANA en el número promedio de raíces por estaca.

En la Fig. 5 se observa el promedio de raíces que se obtuvo con el AIB y ANA. Con el AIB a 0 ppm se obtuvo en promedio dos raíces, aumentando este resultado con 2000 y 4000 ppm a siete y nueve raíces respectivamente, y disminuyendo con 8000 ppm a tan solo dos raíces. Estos resultados nos indican que con concentraciones de AIB mayores a 4000 ppm, afectado el desarrollo de raíces. Por otro lado, con el ANA a 0 ppm se encontraron seis raíces en promedio, mientras que con 2000 y 4000 ppm este valor disminuyó a cinco raíces, obteniéndose por último con 8000 ppm solamente cuatro raíces. Este resultado indica que a mayores concentraciones de ANA (4000 ppm) el promedio de raíces disminuye, es decir, que su aplicación tiene efectos inversamente proporcionales.

Sumando a lo anteriormente expuesto, Para promover el enraizamiento, en forma comercial las auxinas sintéticas más utilizadas son el ácido indolbutírico (IBA) y el ácido naftalen acético (ANA) en forma de polvo fino mezclado con talco inerte o en forma de solución diluida (Cuisance1988, Vargas et al. 1999, Azcón Bieto & Talón 2000) y Bortoloni et al. 2008 citado por Langé 2013).

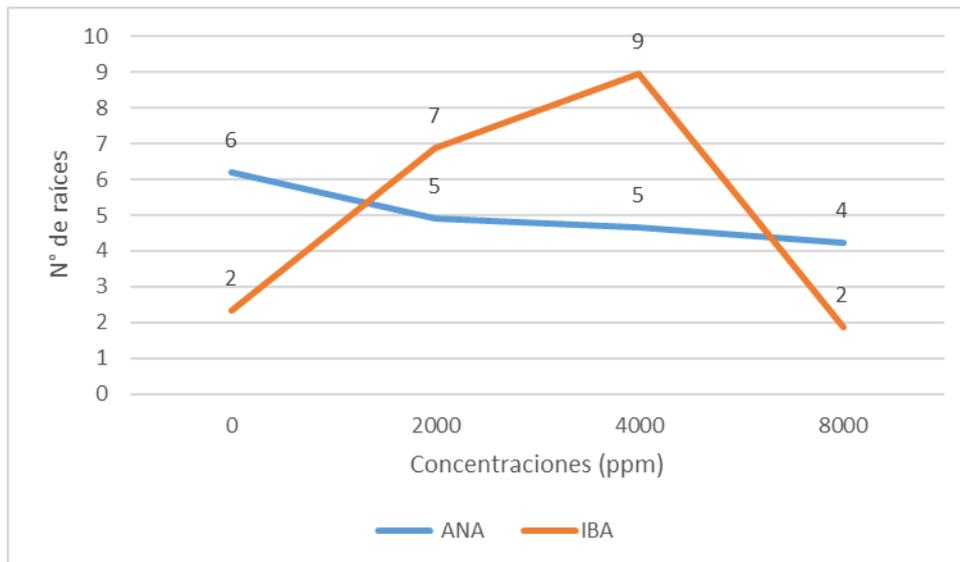


Fig. 5. Promedio del número de raíces en función de AIB y ANA

De acuerdo a los resultados con respecto al número de raíces (Tabla 2), los valores más altos se obtuvieron con el AIB a 4000 ppm (9 raíces/estaca), y el valor más bajo fue con el AIB de 8000 ppm (2 raíces/estaca). Estos resultados se asemejan a la investigación hecha en estacas de morera (*Morus spp*), donde se obtuvo el mayor número de raíces a dosis de 4000 mg Kg⁻¹ de AIB (16 raíces/estaca) (Rios 2013), del mismo modo a la investigación hecha en brotes de pino colorado (*Pinus oocarpa* Schiede), donde se obtuvo el mayor número de raíces al aplicar AIB a 1000 ppm con un valor de 13 raíces/planta (Peralta 2011), de igual forma a la investigación hecha en estacas de *Lonchocarpus utilis* (Barbasco), donde se obtuvo el mayor número de raíces con la dosis de 2000 ppm de AIB (14 raíces/estaca) (Silva 2015).

Tang (2014) reportó que con dosis 6000 ppm de AIB obtuvo el mayor número de raíces, cuyo valor en promedio fue de 2.11 raíces/estaca aplicadas en estacas de *Tabebuia serratifolia*. Por su parte Zorrilla (2012) indicó que con la dosis 1500 mg Kg⁻¹ de AIB obtuvo el mayor número de raíces, cuyo valor en promedio fue de 0.54 raíces/estaca a diferencia del testigo, que en promedio fue 0.14 raíces/estaca en estacas de *Cordia alliodora* (laurel).

Lo antes mencionado, permite afirmar que el número de raíces está influenciado por la aplicación de dosis adecuadas de AIB, ya que permite movilización de carbohidratos de hojas y de tallo a la base de las estacas; y según Román (2014) una de las funciones de los carbohidratos en algunas especies forestales es la de producir un incremento en el número de raíces por estaca, esto es corroborado por Rojas *et al.* (2018), quienes sostuvieron que la hormona AIB es más eficaz y promueven el origen y desarrollo de las raíces, e incrementan la capacidad de enraizado, por su parte Román (2014) refiere que la mayoría de especies forestales producen una buena cantidad de raíces cuando se aplica las dosis que van de 1000 a 4000 ppm. Además, en nuestra investigación se observó que una alta dosis de AIB (8000 ppm) provocó un descenso en el número de raíces y según Román (2014) esto sucede debido a la acumulación excesiva de auxinas en la base de las estacas, el cual inhibe la rizogénesis, impidiendo el crecimiento de raíces.

En nuestra investigación, el incremento en el número de raíces puede estar relacionado con la función del AIB que promueve la movilización de carbohidratos de hojas y de tallo a la base de las estacas (una de las funciones de los carbohidratos en algunas especies es la de producir un incremento en el número de raíces por estaca.

La mayoría de las especies forestales enraízan adecuadamente más con AIB, que, con ANA, aumentando su área radicular, esto probablemente es porque el AIB promueve una mayor división y crecimiento celular, mayor absorción de nutrientes, buena relación hídrica y una apropiada fotosíntesis de las estacas (Peña 2019). Ya que, según Solís (2014) las auxinas estimulan la síntesis de ADN y promueven el transporte de carbohidratos, originando una mayor división celular, lo que resulta un mayor efecto en la iniciación y aumento de raíces en tallos forestales.

Del mismo modo Aponte (2009) y Zorrilla (2012) sostienen que la auxina es transportada por medio de un mecanismo dependiente de energía, denominado sistema de transporte polar, alejándose en forma basipétala desde el punto apical de la planta hacia su base, es decir se dirige a la zona

más oscura de la planta, provocando que las células de esta zona aumenten su crecimiento; específicamente el AIB (Ácido Indolbutírico), es más estable y menos soluble, se mueve a través de los tejidos estrictamente en dirección basal, sin importar orientación, influencia externa de luz y gravedad, su acción es muy localizada, y actúa de forma inmediata en el crecimiento de raíces, siendo por lo tanto muy eficaz en el enraizamiento de estacas leñosas.

4.2. Longitud de raíces

Para longitud de raíces (Tabla 3), se encontró significación al 5 % para los efectos independientes del AIB. Así mismo, no se encontró significación estadística para la interacción de los factores (ANA x AIB) del mismo modo para el testigo. Estos resultados indican que al no haber una significancia estadística para la interacción de los factores AIB X ANA, se han generado reacciones distintas para cada uno de los niveles actuado de manera independiente cada uno, permitiendo obtener resultados diferentes con cada concentración aplicada.

Tabla 3. ANVA para el efecto del ANA y AIB en la longitud promedio de raíces.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
AIB	3	570.09	190.030	16.020 **	0.0001
ANA	3	29.43	9.810	0.830 SN	0.4889
AIB*ANA	9	116.35	12.930	1.090 SN	0.3973
Error	32	379.64	11.860		
Total	47	1095.50			

CV = 40.89 %

La prueba de Tukey al 5 % para el efecto de las diferentes concentraciones de AIB en la longitud de raíces (Fig. 6), muestra los mejores resultados los cuales se obtuvieron con 4000, 2000 y 0 ppm, cuyos valores promedios fueron de 11.57, 10.02 y 9.51 cm por estaca, respectivamente. Estos resultados son estadísticamente superiores al resto. Así mismo, el menor promedio se obtuvo con la concentración de 8000 ppm, cuyo valor fue de

2.6 cm. Los niveles de concentración obtenidos para la longitud de raíces fueron el resultado del factor AIB actuando de manera independiente.

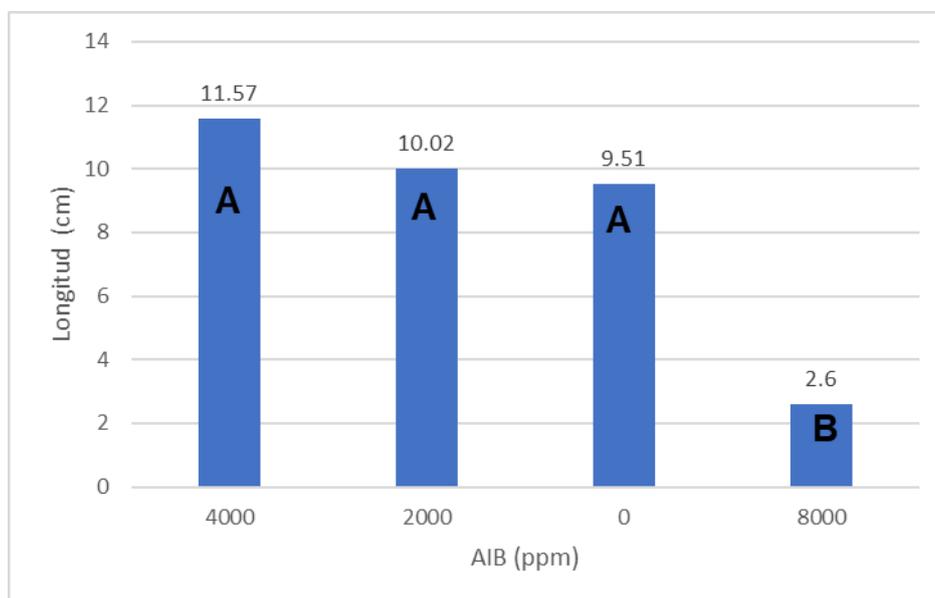


Fig. 6. Efecto de la concentración de AIB en la longitud promedio de raíces por estaca.

En la Fig. 7 se observa el promedio de longitudes de las raíces obtenidas, siendo estas de 9.44, 8.93, 7.72 y 7.61 cm, con la aplicación de concentraciones de ANA a 4000, 8000, 2000 y 0 ppm, respectivamente. Los niveles de concentración obtenidos para la longitud de raíces fueron el resultado del factor ANA actuando de manera independiente.

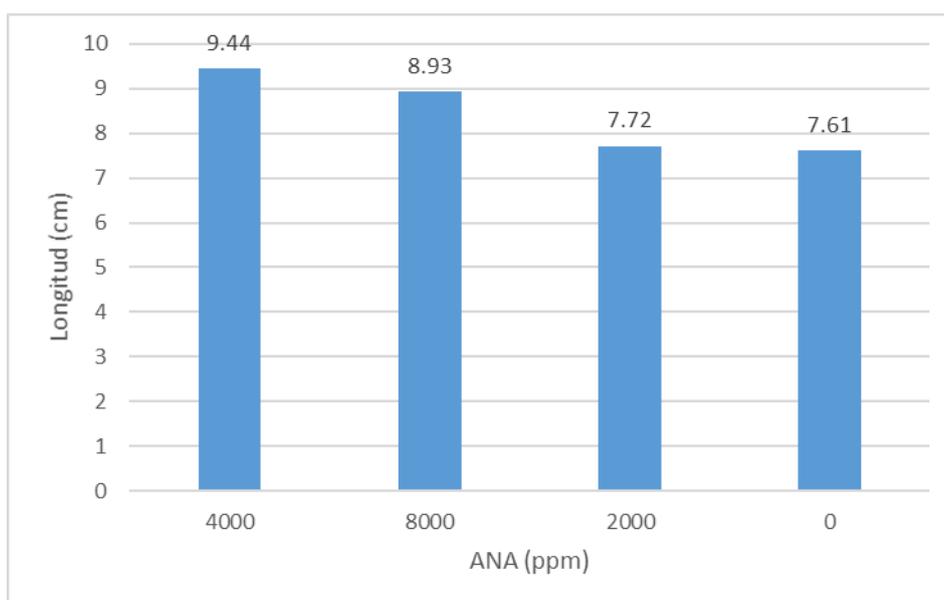


Fig. 7. Efecto de la concentración de ANA en la longitud promedio de raíces por estaca.

En cuanto a la Fig. 8 observamos el promedio de longitud de raíces que se obtuvo con el AIB y ANA. Con una concentración de AIB a 0 ppm se obtuvo en promedio 9.51 cm de longitud, aumentando el resultado a 10.02 y 11.57 cm con la aplicación de concentraciones de 2000 y 4000 ppm respectivamente, pero disminuyendo considerablemente a 2.6 cm de longitud con 8000 ppm, pudiéndose deducir que el AIB a concentraciones mayores de 4000 ppm, afecta el desarrollo de longitud de raíces. Por otro lado, con el ANA a 0 ppm se consiguió 7.61 cm en promedio de longitud, aumentando el resultado a 7.72 y 9.44 cm con la aplicación de 2000 y 4000 ppm respectivamente, y disminuyendo a 8.93 cm de longitud promedio con 8000 ppm. Estos resultados indican que el ANA a concentraciones mayores de 4000 ppm de igual forma afecta la longitud de raíces, pero en menor proporción a las logradas con concentraciones superiores a 4000 ppm de AIB.

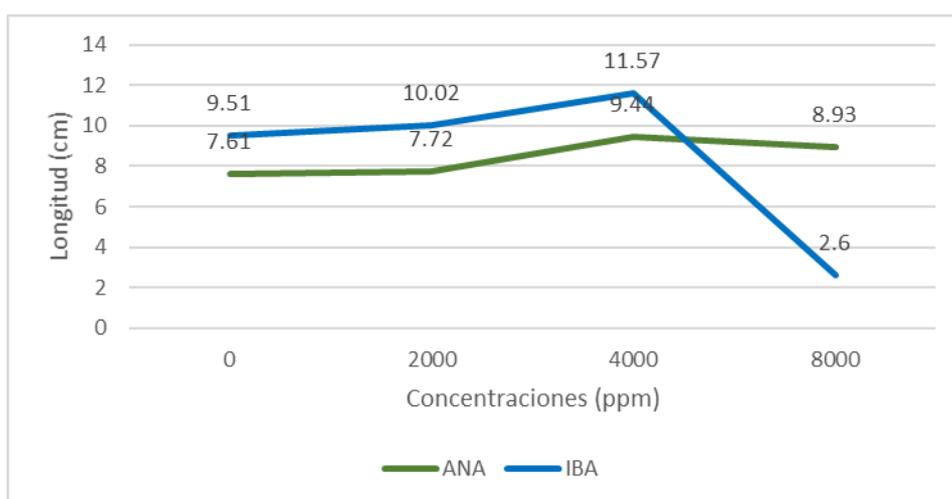


Fig. 8. Promedio de longitud de raíces en función de AIB y ANA

La mayor longitud de raíces se obtuvo con el AIB a 4000 ppm, cuyo valor fue 11.57 cm, y la longitud más baja fue con el AIB a 8000 ppm de (2.6 raíces/estaca). Estos resultados se asemejan a la investigación hecha en estacas de *Lonchocarpus utilis* (Barbasco), donde se obtuvo la mayor longitud de raíces con dosis de 2000 ppm de AIB (31.25 cm) (Silva 2015). De igual forma a la investigación hecha en estacas de *Prumnopitys montana*, donde se obtuvo la mayor longitud de raíces con dosis de 1.25 gL⁻¹ de AIB (2.40 cm) (Castillo y Cueva 2006).

Tang (2014) reportó que con dosis 6000 ppm de AIB obtuvo una mayor longitud de raíces, cuyo valor en promedio fue de 12.88 mm/estaca aplicadas en estacas de *Tabebuia serratifolia*. Por su parte Zorrilla (2012) indicó que con la dosis 1500 mg Kg⁻¹ de AIB obtuvo la mayor longitud de raíces, cuyo valor en promedio fue de 0.58 cm/estaca a diferencia del testigo, que en promedio fue 0.17 cm/estaca en estacas de *Cordia alliodora* (laurel).

Lo antes mencionado, permite afirmar que la longitud de raíces está influenciada por la aplicación de dosis adecuadas de AIB, ya que según Román (2014) existen factores que favorecen al desarrollo de la longitud de las raíces en las estacas como la presencia de carbohidratos, que es una fuente de energía necesaria para la producción de nuevos productos metabólicos como el almidón, además, indica que el nivel total de carbohidratos en las estacas está más relacionado con el desarrollo de raíces que con el inicio del enraizamiento, según Rojas *et al.* (2018) esto ocurre debido a que la hormona AIB influye positivamente en el origen y desarrollo de las raíces, sin embargo, Solís (2014) manifiesta que se da además debido a que la elongación de las raíces está influenciada por los factores ambientales, tales como temperatura, humedad, luminosidad, entre otros. En nuestra investigación se observó que una alta dosis de AIB (8000 ppm) provocó un descenso en la longitud de raíces y según Román (2014) esto sucede debido a la acumulación excesiva de auxinas en la base de las estacas, el cual inhibe la rizogénesis, impidiendo el crecimiento de raíces.

Además, Peña (2019) refiere que la mayoría de las especies forestales enraízan aumentando su longitud más adecuadamente con AIB que con ANA, esto es probablemente porque promueve una mayor división y crecimiento celular, mayor absorción de nutrientes, buena relación hídrica y una apropiada fotosíntesis de las estacas. Ya que, según Solís (2014) las auxinas estimulan la síntesis de ADN y promueven el transporte de carbohidratos, ocasionando una mayor división celular, lo que resulta un mayor efecto en el crecimiento de raíces en tallos y estacas forestales.

Del mismo modo Aponte (2009) y Zorrilla (2012) sostienen que la auxina es transportada por medio de un mecanismo dependiente de energía, denominado sistema de transporte polar, alejándose en forma basipétala desde el punto apical de la planta hacia su base, es decir se dirige a la zona más oscura de la planta, provocando que las células de esta zona aumenten su crecimiento; específicamente el AIB (Ácido Indolbutírico), es más estable y menos soluble, se mueve a través de los tejidos estrictamente en dirección basal, sin importar orientación, influencia externa de luz y gravedad, su acción es muy localizada, y actúa de forma inmediata en el crecimiento de raíces, siendo por lo tanto muy eficaz en el enraizamiento de estacas leñosas.

4.3. Número de brotes

Para el número de brotes (Tabla 4), se observa la existencia de significación al 5 % para los efectos independientes del AIB. Además, no se encontró significación estadística para la interacción de los factores (ANA x AIB). Según estos resultados muestra que el AIB influye en el número de brotes de manera independiente, permitiendo obtener resultados diferentes por efecto de este factor.

Tabla 4. ANVA para el efecto del ANA y AIB en el número promedio de brotes.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
AIB	3	6.77	2.260	19.950 **	0.0001
ANA	3	0.23	0.080	0.690 NS	0.5677
AIB*ANA	9	1.91	0.210	1.880 NS	0.0922
Error	32	3.62	0.110		
Total	47	12.54			

CV = 31.86 %

La prueba de Tukey al 5 % para el efecto de las diferentes concentraciones de AIB en el número promedio de brotes (Fig. 9) indicaron que los mejores resultados se lograron con 2000, 4000 y 0 ppm cuyo valor en promedio fue de dos brotes para las tres concentraciones. Estos resultados son iguales y superiores al resto. Sin embargo, el menor resultado se obtuvo con 8000 ppm, cuyo valor promedio fue de solo un brote. Los niveles de

concentración obtenidos para el número de brotes fueron el resultado del factor AIB actuando de manera independiente.

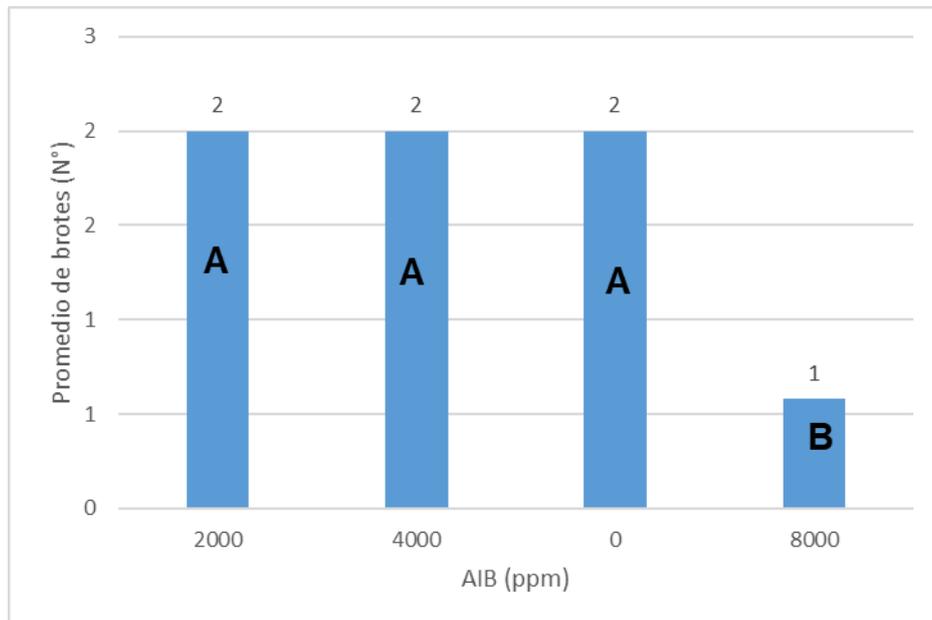


Fig. 9. Efecto de la concentración de AIB en el número promedio brotes por estaca.

Por otro lado, en la Fig. 10 observamos que el número promedio de brotes alcanzó hasta dos brotes con cualquiera de las concentraciones aplicadas de ANA (8000, 2000, 4000 y 0 ppm). Los niveles de concentración obtenidos para el número de brotes fueron el resultado del factor ANA actuando de manera independiente.

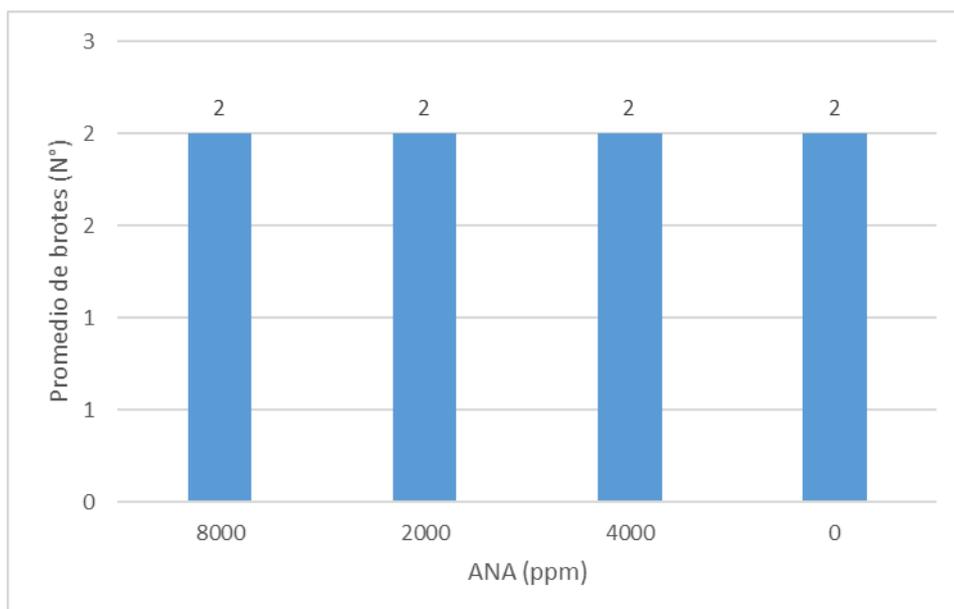


Fig. 10. Efecto de la concentración de ANA en el número promedio de brotes por estaca.

En la Fig. 11 podemos apreciar el número promedio de brotes que se obtuvo con el AIB y ANA. Utilizando concentraciones de AIB a 0, 2000 y 4000 ppm se encontró dos brotes en promedio. En cuanto al tratamiento con una concentración de 8000 ppm solo se encontró un brote. Estos resultados indican que el AIB aplicado a concentraciones mayores a 4000 ppm, afecta el desarrollo de brotes. En tanto, la aplicación de ANA en concentraciones de 0, 2000, 4000 y 8000 ppm dio como promedio 2 brotes en cada una de concentraciones aplicadas.

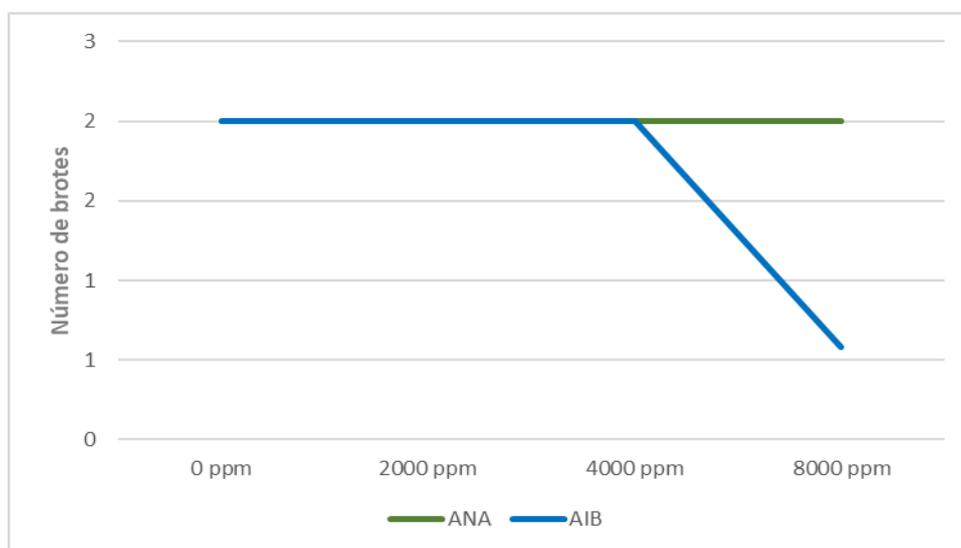


Fig. 11. Promedio del número de brotes en función de AIB y ANA

De acuerdo a los resultados con respecto al número de brotes, los valores más altos se obtuvieron con el AIB a 2000 ppm (2 brotes/estaca), el valor más bajo fue con el AIB a 8000 ppm (1 brote/estaca). Estos resultados se asemejan a la investigación hecha en estacas de *Croton lechleri*, donde obtuvo 1 rebrote/estaca con dosis 2000 ppm de AIB (Roman 2014). De igual forma a la investigación hecha en estacas de *Lonchocarpus utilis* (Barbasco), donde obtuvo el mayor número de brotes con dosis de 1000 ppm de AIB (9 brotes/estaca) (Silva 2015). Del mismo modo a la investigación hecha en estacas de *Smallanthus jelskii* (Shita blanca), donde obtuvo el mayor número de brotes (2 brotes/estaca), al enraizar en sustrato húmico (Alvarado 2017).

Oropeza (2016) reportó que con dosis 2250 ppm de AIB obtuvo el mayor número de raíces, cuyo valor en promedio fue de 25.9 brotes/estaca aplicadas en estacas de queñua (*Polylepis besseri*) en invernadero, a diferencia del testigo, que en promedio obtuvo 8.8 brotes/estaca. Por su parte Zorrilla (2012) indicó que con la dosis 1500 mg Kg⁻¹ de AIB obtuvo el mayor número de brotes, cuyo valor en promedio fue de 1.92 brotes/estaca, a diferencia del testigo, que en promedio obtuvo 1.15 brotes/estaca en estacas de *Cordia alliodora* (laurel).

Lo antes mencionado, permite afirmar que el aumento de la formación de brotes está influenciado por la aplicación de la hormona AIB, ya que según Guizado (2011) a mayor absorción de nutrientes por las raíces mayor crecimiento de brotes, producto de la aplicación de AIB, además agrega que para un determinado crecimiento y desarrollo de brotes y de toda la parte aérea, es necesario un determinado y adecuado crecimiento y desarrollo del sistema radicular y viceversa. Según Ríos (2013), esto probablemente ocurra debido a que el AIB no es degradada fácilmente por la luz ni por los microorganismos e insoluble en agua, el cual provoca que la sustancia permanezca por más tiempo en el lugar de aplicación y en la estaca. Puesto que según Zorrilla (2012) el AIB (Ácido Indolbutírico), es más estable y menos soluble, se mueve a través de los tejidos estrictamente en dirección basal, sin importar orientación, influencia externa de luz y gravedad, su acción es muy localizada.

Huisa (2015) indicó que la aparición y la longitud de brotes, probablemente se debe a que las estacas más juveniles (apicales) contienen mayor cantidad de reserva de carbohidratos, el cual favorecen la aparición de brotes, mejor aún si son inducidos por la acción de las auxinas (AIB).

Sin embargo, Román (2014) manifiesta que, si la estaca no cuenta con un adecuado sistema radicular, no es deseable que presenten abundantes brotes, ya que provocaría un desequilibrio entre la fotosíntesis y la brotación, de ser así las sustancias nutricionales de la estaca se emplearían para la formación de nuevos rebrotes y no de raíces, produciendo la muerte de la estaca.

4.4. Longitud de brotes

Según los resultados obtenidos en la Tabla 5, la longitud de brotes se encuentra afectado por el AIB, dado que este factor es significativo. Según este resultado, este factor permite obtener resultados diferentes en la longitud de brotes.

Tabla 5. ANVA para el efecto del ANA y AIB en la longitud promedio de brotes.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
AIB	3	751.50	250.500	19.690 **	0.0001
ANA	3	85.79	28.600	2.250 SN	0.1017
AIB*ANA	9	145.68	16.190	1.270 SN	0.2893
Error	32	407.07	12.720		
Total	47	1390.04			

CV = 44.08 %

La prueba de Tukey al 5 % para el efecto de las diferentes concentraciones de AIB en la longitud promedio de brotes (Fig. 12), muestra que los mejores resultados se obtienen con 4000 y 2000 ppm, con cuyas concentraciones los brotes llegaron a medir 12.04 y 11.85 cm de longitud, respectivamente, estos resultados son estadísticamente superiores al resto. Los menores resultados se encontraron con 0 ppm y 8000 ppm, cuyos valores promedios fueron 5.5 y 2.98 cm. Los niveles de concentración obtenidos para la longitud de brotes fueron el resultado del factor AIB actuando de manera independiente.

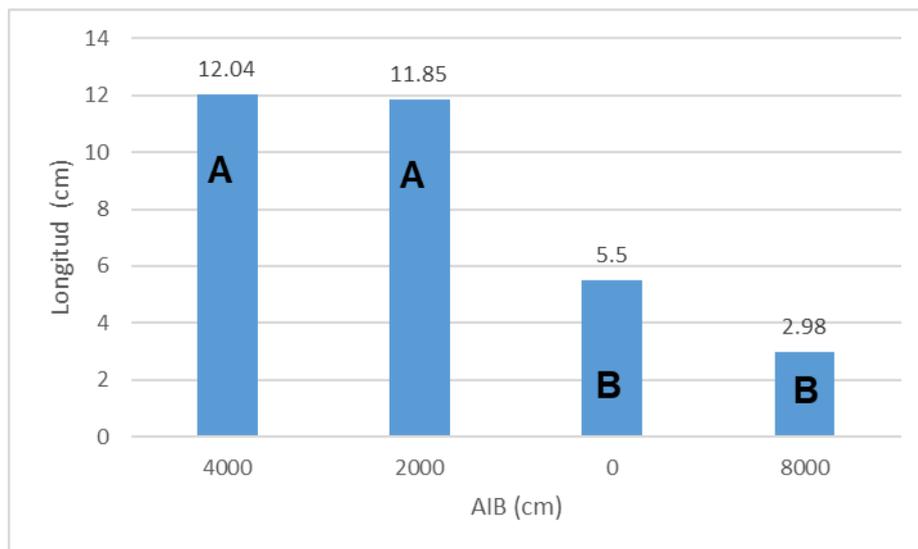


Fig. 12. Efecto de la concentración de AIB en la longitud promedio de brotes por estaca.

En la Fig. 13 observamos la longitud promedio de brotes, con la aplicación de ANA a 4000, 2000, 8000 y 0 ppm, lográndose longitudes de 10.35, 7.62, 7.54 y 6.86 cm, respectivamente. Los niveles de concentración obtenidos para la longitud de brotes fueron el resultado del factor ANA actuando de manera independiente.

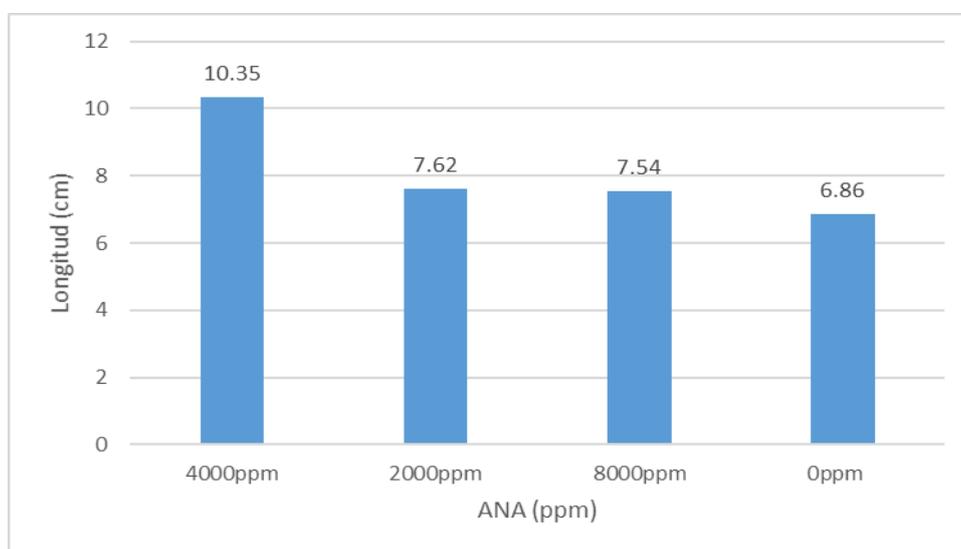


Fig. 13. Efecto de la concentración de ANA en la longitud promedio de brotes por estaca.

Por otro lado, en la Fig. 14 se puede apreciar la longitud promedio de brotes que se obtuvo con el AIB y ANA. En cuanto al tratamiento con AIB a 0 ppm se obtuvo 5.5 cm de longitud promedio, aumenta estos resultados con 2000 y 4000 ppm hasta 11.85 y 12.04 cm, respectivamente, para luego disminuir

este resultado a 2.98 cm con el tratamiento a 8000 ppm; concluyéndose que en concentraciones de AIB mayores a 4000 ppm se ve afectado los resultados referentes a la longitud promedio de brotes. Por otro lado, con la aplicación de ANA a 0 ppm se logró 6.86 cm de longitud, aumentando los resultados con 2000 y 4000 ppm a 7.62 y 10.35 cm, y disminuyendo a 7.54 cm de longitud con 8000 ppm. De igual manera, los resultados indican que el ANA a concentraciones mayores de 4000 ppm, afecta en la longitud de los brotes.

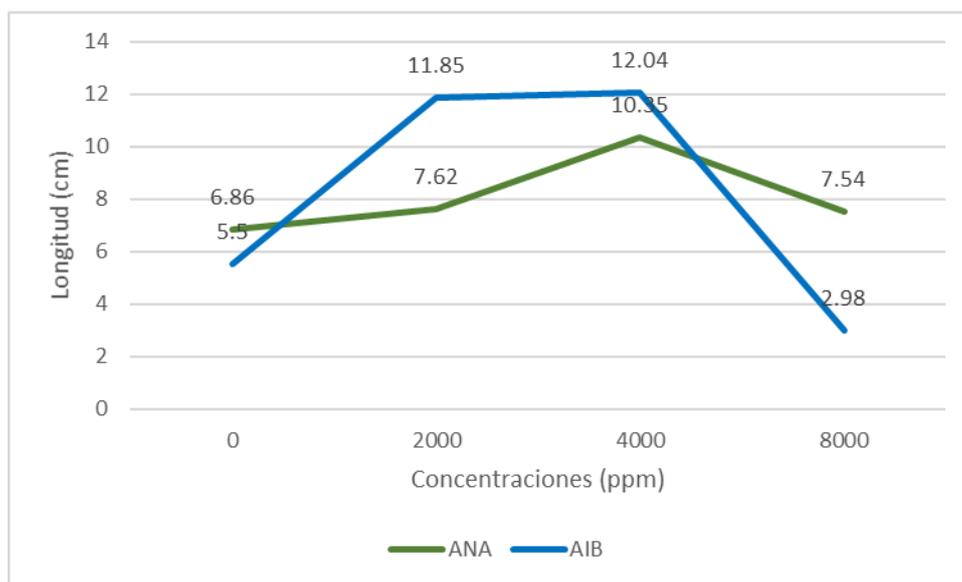


Fig. 14. Promedio de longitud de brotes en función de AIB y ANA

La mayor longitud de brotes se obtuvo con el AIB a 4000 ppm (12.04 cm), y la longitud más baja fue con el AIB a 8000 ppm (2.98 cm), estos resultados se asemejan a la investigación hecha en estacas de *Gmelina arborea*, cuyo resultado fue que con una dosis de 1.0 mgg⁻¹ de AIB obtuvo 4.2 cm de longitud de brotes (Ruíz *et al.* 2005).

Oropeza (2016) reportó que con dosis 2250 ppm de AIB obtuvo la mayor longitud de raíz, cuyo valor en promedio fue de 45.4 cm/estaca aplicadas en estacas de queñua (*Polylepis besseri*) en invernadero, a diferencia del testigo, que en promedio obtuvo 20.4 cm/estaca. Por su parte Valenzuela (2011) reportó que con dosis 1000 mg Kg⁻¹ de AIB obtuvo una longitud de raíz de 2.91 cm/estaca aplicadas en estacas de *Centrolobium ochroxylum* (Amarillo de Guayaquil).

Lo antes mencionado, permite afirmar que el aumento de la longitud de los brotes está influenciado por la dosis de aplicación de la hormona AIB. Esta diferencia probablemente ocurre debido a las distintas cantidades de dosis de AIB aplicadas en cada investigación, ya que, según Hernández *et al.* (2005), la dosis de AIB es efectiva en estimular la longitud de los brotes en estacas o esquejes de forestales, es decir la corta longitud de los brotes puede ser atribuido a una escasa cantidad de auxinas o a la falta de cofactores de crecimiento. Por su parte Guizado (2011) a mayor absorción de nutrientes por las raíces, hay mayor crecimiento en longitud de los brotes, ya que la aplicación de AIB, permite la multiplicación celular y generar raíces, que a través de la fotosíntesis. Además, según Zorrilla (2012) el AIB (Ácido Indolbutírico), es más estable y menos soluble, se mueve a través de los tejidos estrictamente en dirección basal y apical, sin importar orientación, influencia externa de luz y gravedad, su acción es muy localizada.

Huisa (2015) indicó que la aparición y la longitud de brotes, probablemente se debe a que las estacas más juveniles (apicales) contienen mayor cantidad de reserva de carbohidratos, el cual favorecen la aparición de brotes, mejor aún si son inducidos por la acción de las auxinas (AIB).

4.5. Porcentaje de enraizamiento

Para el enraizamiento, se encontró que el AIB presenta significación estadística, esto indica que, por efecto de las concentraciones del AIB se han obtenido diferentes resultados en el porcentaje de enraizamiento, con CV de 25.6 %. Esta variabilidad posiblemente se atribuya al material vegetal utilizado asociado a otros factores.

Tabla 6. ANVA para el efecto del ANA y AIB en el porcentaje de enraizamiento.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
AIB	3	245.73	81.91	51.01 **	0.0001
ANA	3	1.88	0.63	0.39 NS	0.7607
AIB*ANA	9	14.95	1.66	1.03 NS	0.435
Error	32	51.38	1.61		
Total	47	313.94			

La prueba de Tukey al 5 % para el efecto del AIB en el parámetro porcentaje de enraizamiento (Fig. 15), expresa que los porcentajes más altos de enraizamiento se encontraron con la aplicación de concentraciones de 2000, 4000 y 0 ppm, cuyos resultados promedios fueron de 43.33, 42.5 y 35 %, respectivamente, siendo estos resultados estadísticamente superiores al encontrado con el tratamiento de 8000 ppm, con el cual se obtuvo un enraizamiento promedio de 3.33 %. Los niveles de concentración obtenidos en el porcentaje de enraizamiento fueron el resultado del factor AIB actuando de manera independiente.

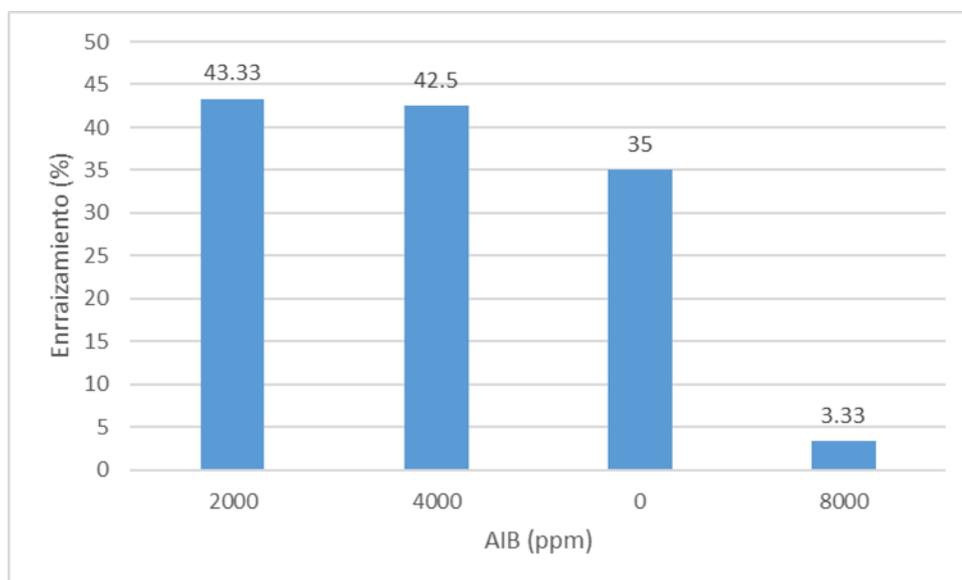


Fig. 15. Efecto de la concentración de AIB en el promedio del porcentaje de enraizamiento.

En la Fig. 16 podemos apreciar el porcentaje de enraizamiento obtenido con cada concentración del ANA. Se obtuvo en promedio 26.67 % de enraizamiento con un tratamiento de 0 ppm, siendo este resultado el menor

porcentaje logrado. Mientras que con 2000, 4000 y 8000 ppm se logró en promedio 29.17, 33.33 y 35 % de enraizamiento, respectivamente. Según el ANVA no existen diferencias significativas entre estos resultados. Los niveles de concentración obtenidos en el porcentaje de enraizamiento fueron el resultado del factor ANA actuando de manera independiente.

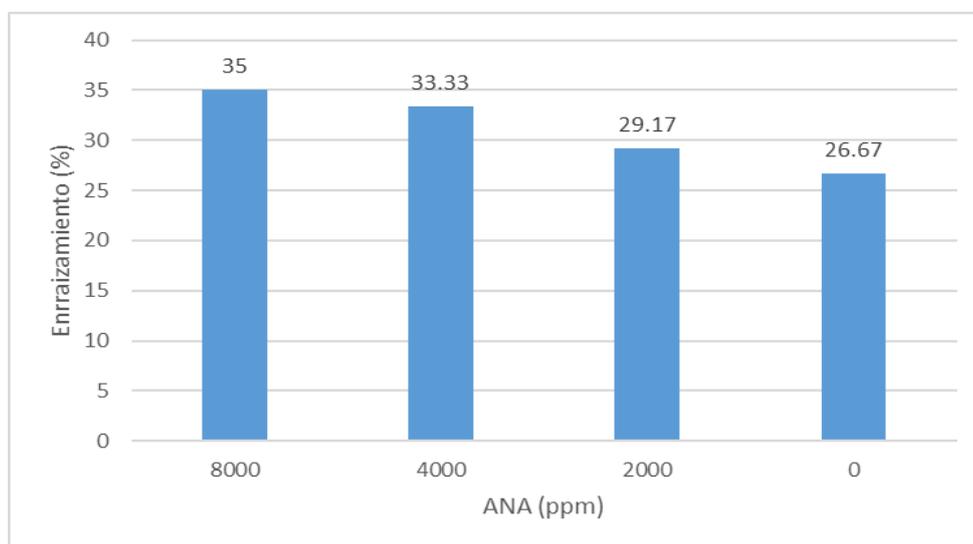


Fig. 16. Efecto de la concentración de ANA en el promedio del porcentaje de enraizamiento.

El porcentaje de enraizamiento que se obtuvo con el AIB y ANA lo observamos en la Fig. 17. La aplicación de AIB a concentraciones de 0 y 2000 ppm, logró un enraizamiento del 35 y 43.3 % respectivamente, disminuyendo ligeramente con 4000 ppm a 42.5 %, y con 8000 ppm hasta 3.33 %. De igual manera, como ya se ha evidenciado en el análisis de los resultados de la mayoría de parámetros evaluados, el AIB a concentraciones mayores de 4000 ppm afecta negativamente en los resultados esperados, no siendo en el caso del porcentaje de enraizamiento la excepción. En cuanto a la aplicación del ANA con 0, 2000, 4000 y 8000 ppm los resultados fueron ascendiendo de 26.67 % a 29.17 % luego a 33.33 % y por último a 35 % de enraizamiento, indicando que para el parámetro evaluado la tendencia es creciente en función a las dosis del ANA.

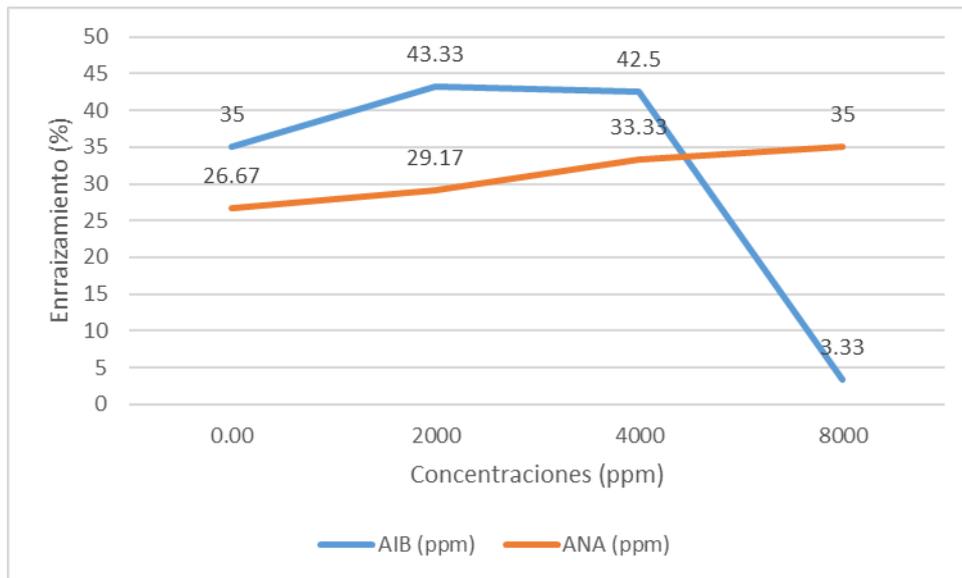


Fig. 17. Promedio del porcentaje de enraizamiento en función de AIB y ANA.

El mayor porcentaje de enraizamiento se obtuvo con el AIB a 2000 ppm (43.33 %) y el porcentaje más bajo fue con el AIB a de 8000 ppm (3.33 %), estos resultados se asemejan a la investigación hecha en estacas de *Croton lechleri*, donde obtuvo 96.67 % de enraizamiento con dosis 2000 ppm de AIB (Roman 2014). De igual forma a la investigación hecha en estacas de morera (*Morus spp*), donde se obtuvo 85.60 % de enraizamiento con dosis 4000 mg Kg⁻¹ de AIB (Ríos 2013). También a la investigación hecha en estacas de *Prumnopitys montana*, donde obtuvo el mayor porcentaje de enraizamiento con dosis de 0.625 gL⁻¹ de AIB (14 %) (Castillo y Cueva 2006).

Tang (2014) reportó que con dosis 6000 ppm de AIB obtuvo el promedio de 56.3 % de enraizamiento de estacas de *Tabebuia serratifolia*. Por su parte Zorrilla (2012) indicó que con la dosis 1500 mg Kg⁻¹ de AIB obtuvo el mejor efecto en el porcentaje de enraizamiento (21 %) a diferencia del testigo con (5 %) en estacas de *Cordia alliodora* (laurel).

El bajo porcentaje de enraizamiento obtenido probablemente se deba a que el aserrín de pino puede tener algunos problemas de fitotoxicidad cuando se usa crudo ya que este debe compostarse porque en estado fresco su tasa de descomposición y demanda de nitrógeno es alta y puede contener

sustancias tóxicas como resina, taninos, pero el problema se corrige con el lavado del mismo o con el proceso de descomposición (Córdoba 2008). Por su parte Arguijo (2006) refiere que el bajo porcentaje de enraizamiento en los forestales leñosos se debe probablemente a la avanzada edad de la planta, insuficiente exposición a la luz (fotoperiodo), a la humedad relativa inadecuada y a la elevada temperatura, así mismo Sisaro (2016) menciona que es frecuente que ocurra un bajo porcentaje de enraizamiento, debido que las estacas provienen de un ambiente con poca demanda de transpiración, sus estructuras para regular la transpiración (estomas) no están. Por lo tanto, no tienen la capacidad de frenar la pérdida de agua ante un ambiente más seco y bajo una insolación mayor.

Ríos y Ríos (2000), señalaron que las causas probables para que una estaca de planta leñosa produzca un bajo porcentaje de enraizamiento son: ausencia o deficiencia de auxinas endógenas, falta de una concentración adecuada de los factores de crecimiento, presencia de inhibidores, deficiencia en el contenido de nutrientes inorgánicos y del estado hídrico de las estacas.

Por su parte García (2008) afirma que el enraizamiento probablemente está más relacionado con la fase de estaca lignificada que con la edad de la planta donante, es decir que la capacidad de enraizamiento varía con la posición de la estaca en el árbol.

Además, Peña (2019) refiere que la mayoría de las especies forestales enraízan más adecuadamente con AIB que, con ANA, esto es probablemente porque promueve una mayor división y crecimiento celular, mayor absorción de nutrientes, buena relación hídrica y una apropiada fotosíntesis de las estacas. Del mismo modo Román (2014) refiere que el AIB puede proporcionar mayor porcentaje, velocidad, calidad y uniformidad de enraizamiento.

Es importante señalar que el AIB es probablemente el mejor material para uso de enraizamiento de estacas o esquejes debido a que no es tóxico para las plantas en una amplia gama de concentraciones y es efectivo para la activación de las células de crecimiento de un gran número de especies de plantas (Hartmann y Kester 1995).

4.6. Porcentaje de mortalidad

Según el ANVA para el *Porcentaje de Mortalidad* (Tabla 7), solo se evidencia significación estadística para el AIB. Esto indica, que estadísticamente la estacas con un porcentaje de mortalidad significativo se presentó con la aplicación de AIB, permitiendo obtener resultados diferentes con cada concentración. Así mismo, el CV = 10.46 % indica la variabilidad del material experimental respecto al porcentaje de mortalidad.

Tabla 7. ANVA para el efecto del ANA y AIB en el porcentaje de mortalidad.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F calculado	p-valor
AIB	3	44.64	14.88	20.17 **	0.0001
ANA	3	2.66	0.89	1.2 NS	0.3256
AIB*ANA	9	5.66	0.63	0.85 NS	0.5747
Error	32	23.61	0.74		
Total	47	76.57			

CV = 10.46 %

La prueba de Tukey al 5 % de probabilidad para el efecto de las diferentes concentraciones de AIB en el porcentaje de mortalidad (Fig. 18), indica que el promedio del porcentaje más alto de mortalidad fue con el tratamiento a 8000 ppm (96.67 %), siendo este resultado estadísticamente superior al resto. Además, con 0, 4000 y 2000 ppm, se obtuvieron porcentajes de mortalidad más bajos, de 65, 57.5 y 56.67 % respectivamente. Los niveles de concentración obtenidos en el porcentaje de mortalidad fueron el resultado del factor AIB actuando de manera independiente.

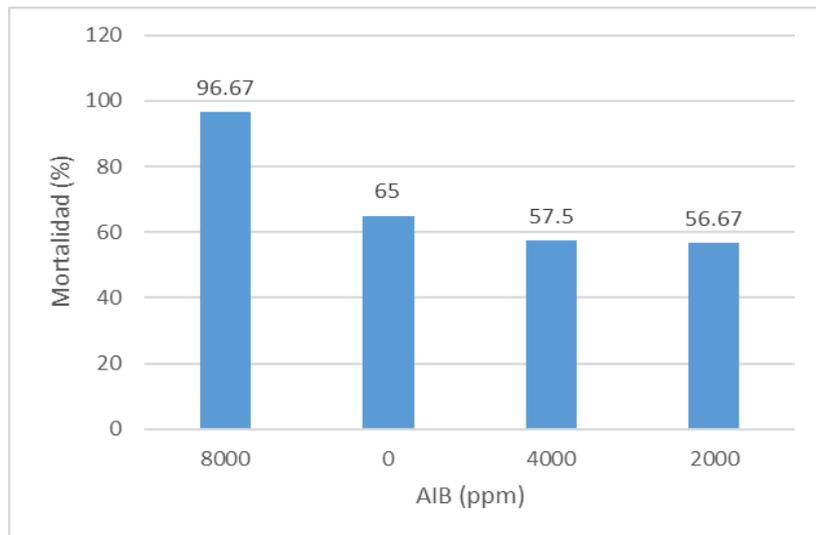


Fig. 18. Efecto de la concentración de AIB en el promedio del porcentaje de mortalidad.

En la Fig. 19 observamos el porcentaje de mortalidad registrado con cada concentración del ANA. En este caso, el mayor promedio del porcentaje de mortalidad (73.33 %) se presentó con el tratamiento de 0 ppm, es decir sin la aplicación del ácido. Mientras que, con concentraciones de 2000, 4000 y 8000 ppm el promedio del porcentaje de mortalidad disminuyó de 70.83 a 66.67 %, y luego hasta 65 %, respectivamente. Según el ANVA no existe diferencias estadísticas entre estos resultados. Los niveles de concentración obtenidos en el porcentaje de mortalidad fueron el resultado del factor ANA actuando de manera independiente.

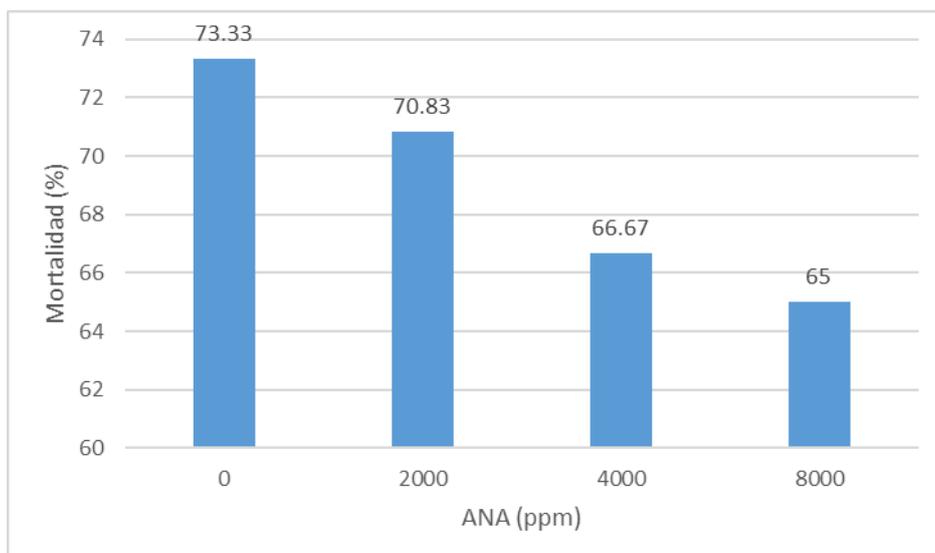


Fig. 19. Efecto de la concentración de ANA en el promedio del porcentaje de mortalidad.

En la Fig. 20 se aprecia el porcentaje de mortalidad que se presentó con el AIB y ANA. Con la aplicación de AIB a 0 ppm el promedio del porcentaje de mortalidad es de 65 % y bajo a 56.67 % con 2000 ppm manteniéndose casi estable en 57.5 % con 4000 ppm y teniendo un repunte significativo de 96.67 % con 8000 ppm. Por otro lado, con el ANA el promedio del porcentaje de mortalidad disminuye de 73.33 % a 70.83 %, para luego bajar a 66.67 % y por último hasta 65 % con concentraciones de 0, 2000, 4000 y 8000 ppm respectivamente. En tal sentido, respecto al AIB, a mayores concentraciones se obtiene mayores porcentajes de mortalidad, mientras que, con ANA, el porcentaje de mortalidad presenta una relación inversamente proporcional, es decir, que a mayor concentración se obtiene menor porcentaje de mortalidad, pero el rango de disminución porcentual es menor (una diferencia de 8.33 % entre los extremos).

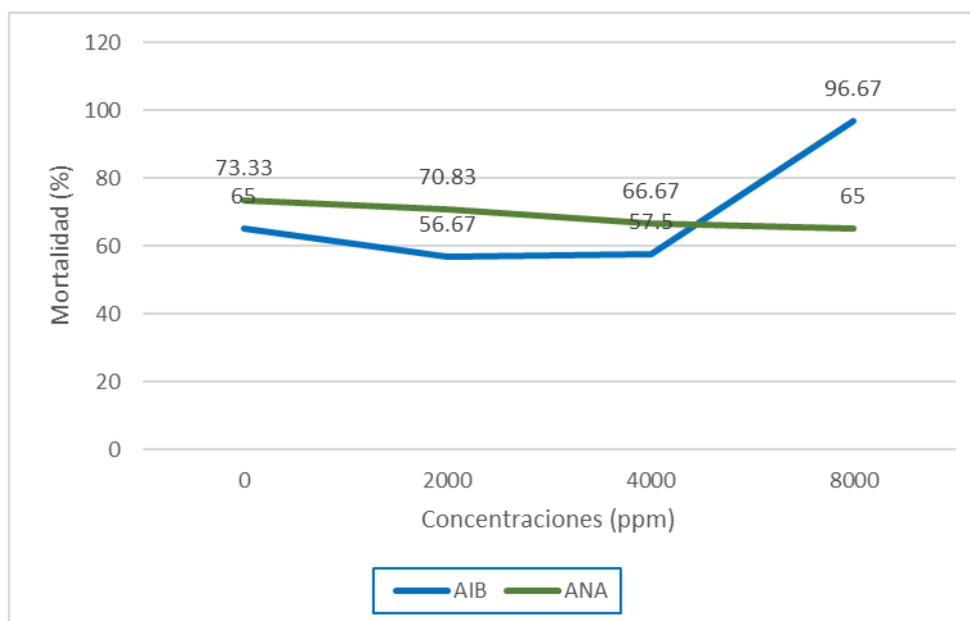


Fig. 20. Promedio del porcentaje de mortalidad en función de AIB y ANA

El porcentaje de mortalidad observado con el AIB a 8000 ppm fue de 96.67 % y con el AIB a 2000 ppm fue de 56.67 %, este comportamiento es explicado por Bastos et al. (2004) citado por Iracema et al. (2016), que estudiaron el enraizamiento de las estacas de la fruta de estrella (*Averrhoa carambola*) sugieren que hubo fitotoxicidad con concentraciones altas de AIB y que la capacidad de supervivencia de las estacas en ausencia de

regulador del crecimiento fue mayor que las expuestas a AIB, esto permite afirmar que el porcentaje de enraizamiento está influenciado por la aplicación de dosis adecuadas de AIB, y que el aumento de la mortalidad en las estacas se da al aumentar las concentraciones de AIB, el cual ocasiona efectos tóxicos de sobredosis, porque tienden a producir pérdida por turgencia celular, además, si las concentraciones de auxinas son altas pueden causar la muerte celular de las estacas (Román 2014). Este patrón de respuesta ha sido encontrado en gran cantidad de otras especies donde normalmente se da un aumento en la capacidad de enraizamiento al aumentar la dosis de auxina hasta alcanzar un óptimo, a partir del cual, cualquier aumento en dosis de auxina resulta por el contrario en una disminución en el enraizamiento debido a los efectos tóxicos de la sobredosis (Hartmann & Kester, 1995; Mesén, 1998).

Según Huisa (2015), la mortalidad de las estacas puede atribuirse probablemente a la temperatura (altas temperaturas), a la baja humedad relativa de una determinada zona y al agotamiento de las reservas de las estacas, por el brotamiento de yemas.

Sousa (2007) citado por Abanto *et al.* (2015), menciona que el porcentaje de mortalidad está influenciado por diversos factores ambientales y fisiológicos, entre ellos la madurez de los segmentos, los más desarrollados tienen bajo contenido de reservas y poseen mayores células lignificadas lo que se traduce en un menor porcentaje de enraizamiento y mayor porcentaje de mortalidad.

Hartmann y Kester (1992), refieren que, el aumento en la mortalidad de las estacas puede deberse a la pérdida por turgencia celular, o quizá se deba a que las concentraciones de auxinas son más altas de las que deben encontrarse en los tejidos (exceso de auxinas), esto ocasiona la muerte de las células, y muerte del propágulo vegetal.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Según el análisis de varianza el uso de AIB estimuló el crecimiento para el número de raíces, longitud de raíces, número de brotes y longitud de brotes, pero no se encontró significación estadística en la aplicación de ANA y en la interacción de los factores (ANA x AIB), evidenciando que solo el AIB influye en los diversos parámetros evaluados de manera independiente, permitiendo obtener resultados significativamente diferentes en las diversas concentraciones aplicadas para cada estaca.
- Los mejores resultados en el número de raíces (9), longitud de raíces (11.57 cm), número de brotes (2 brotes) y longitud de brotes (12.04 cm), se obtuvieron con la aplicación de Ácido Indol Butírico (AIB) en concentración de 4000 ppm. Asimismo, para el porcentaje de enraizamiento, el mayor resultado (43.33%) se obtuvo con la aplicación de AIB a una concentración de 2000 ppm; y por último, referente al parámetro de porcentaje de mortalidad, aplicando AIB a 2000ppm se registró (56.67%), y aplicando AIB a una concentración de 8000 ppm se observó (96.67%).
- Se recomienda realizar experimentos incluyendo otros ecotipos o especies de *Smallanthus*, del mismo modo utilizar material vegetal extraído de diferente ubicación de la planta y de esta manera ampliar la información reportada en esta investigación sobre el comportamiento de la propagación frente al uso de reguladores de crecimiento. Asimismo, se recomienda realizar nuevos estudios utilizando otros sustratos y propagarla en su hábitat natural de la especie.

CAPÍTULO VI

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abanto, C; Cardoso, P; Alves, E; Rengifo, C; Pérez, M; Rosello, E; Villacorta, L; Jaymes, M. 2015. Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estacas en el enraizamiento de copoazú en cámaras de subirrigación. Universidad Científica del Perú - Ciencia amazónica, Iquitos. Consultado 20 de jun.2021. Disponible en <http://dx.doi.org/10.22386/ca.v5i2.95>

Alvarado R, SM. 2017. Efecto del ácido húmico en la propagación de *Smallanthus jelskii* (Hieron.) H. Rob. "shita blanca" por estacas, en el caserío el Usnio, La Encañada – Cajamarca. Tesis Ing. Forestal. UNC, Cajamarca, Perú. 58 p.

Arguijo, GP. 2006. Contribución al desarrollo del uso de los tintes naturales en la comunidad de Pozo Seco, municipio de Chisec, Alta Verapaz (en línea). USAC, Guatemala. 182 p. Consultado 22 set. 2020. Disponible en http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2264.pdf

Aponte S, FP. 2009. Efecto de 2 auxinas, ácido indol acético (AIA), y ácido Naftalen acético (ANA), en la propagación de micrestacas de *Guazuma crinita*, Mart (Bolaina blanca) (en línea). Informe final, INIA, Ucayali, Perú. 69 p. Consultado el 29 de junio de 2021. Disponible en https://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/322/1/Efecto_de_2_auxinas.pdf

Brako, L. y Zarucchi, J. 1993. Catálogo de las Angiospermas y Gimnospermas del Perú. Monographs in Systematic Botany from the Missouri Botanical Garden 45:1-11:1-1286p.

Calzada, J. 1993. Frutales Nativos. Lima, Perú, Edic. UNALM. 366 p.

Castañeda, A. 2004. Propagación comparativa de *Polylepis racemosa* con nutrientes tomadas a tres niveles de ramas. Huancayo, Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú. 27-29 p.

Castillo S, ML y Cueva V, DM. 2006. Propagación a nivel de invernadero y estudio de regeneración natural de dos especies de Podocarpacea en su hábitat natural (en línea). Tesis Ing. For. UNL, Loja, Ecuador. 175 p. Consultado el 25 de set de 2020. Disponible en: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/5190/1/PROPAGACION%20A%20NIVEL%20DE%20INVERNADERO%20Y%20ESTUDIO%20DE%20REGENERACION%20NATURAL%20DE%20DOS%20ESPECIES%20DE%20PODOCARPACEAS.pdf>

Córdova, T. 2008. Características de medios de crecimientos compuestos por corteza de pino y aserrín. (en línea). Colima, MX. Consultado el 15 de enero del 2019. Disponible en: <http://www.google.com.ec/url?sa=t&rct=j&q=propiedades%20de%20aserrin%20como%20sustrato%20&>

Facundo, M. 2010. Enraizamiento de esquejes y estacas de Yagual (*Polylepis racemosa*) sometidos a cinco tipos de sustratos en la zona la Libertad Provincia del Carchi. La Libertad, Perú, Consultado 25 Mar. 2020. Disponible en <http://www.polylepis.cl/pdf/quenoa-arbol-enraizamiento-fvr.pdf>.

García, T. 2008. Empleo de fitohormonas ANA y AIB para la propagación vegetativa de *Cedrela odorata* L. (cedro) bajo tres sustratos en la zona de Quevedo. Tesis Ing. For. UTEQ, Los Ríos, Ecuador. 84 p.

Gil-Albert Velarde, F; Iglesias Gonzales, J; Boix Aristu, E. 1981. El estaquillado guía práctica de multiplicación de plantas. ed. rev. Madrid, Edit. MUNDI-PRENSA.

Guizado O, CD. 2015. Enraizamiento de estaca basal de los clones de cacao (*Theobroma cacao* L), ICS- 95, CCN-51, ICS-1, CMP-15 y porcelana; utilizando ácido indol butírico (AIB) en el centro poblado de valle esmeraldario ENE. Tesis Ing. Agr. UNCP, Satipo, Perú. 61 p. Consultado el 29 de junio de 2021. Disponible en: <http://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/UNCP/4019/Guizado%20Ovando.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Haissig, BE. 1986. Metabolic processes in adventitious rooting of cuttings. In: Jackson, MB. New root formation in cuttings. Dordrecht, NE. Martinus Nijhoff, p. 141 – 189.

Hartman, H; Kester, J. 1975. Propagación de plantas, principios y prácticas. México, Editorial Continental. 810 p.

Hartman, H; Kester, J. 1987. Plant propagation. Principles and practices.

Hartmann, H; Kester, J. 1995. Propagación de plantas, Principios y prácticas. 4 ed. México, Editorial Continental. 319-760 p.

Hartmann, H. & Kester, D. 1992. Plant propagation. Principles and practices. Filth.

Hartmann, H; Kester, J; Davies, F; Geneve, R. 1997. Plant propagation. Principles and practices. 6 ed. New Jersey, Prentice Hall.

Hartmann, H; Kester, J; Davies, F; Geneve, R. 2002. Plant propagation. Principles and practices. 7 ed. New Jersey, Prentice Hall. 710p.

Hernández, E. 1992. Estructura y composición química del tubérculo de papa. Curso Internacional de papa, Pamplona, Colombia, FEDEPAPA. 73 – 79p.

Hernández H, J; Aramendiz, H; y Cardona, CE. 2005. Influencia del ácido indolbutírico y ácido naftalenoacético sobre el enraizamiento de esquejes de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Revista temas agrarios, 10(1):5-13p.

Huisa M, H. 2015. Ensayo de propagación vegetativa de *Bertholletia excelsa* H.B.K. "castaña" mediante enraizamiento de estaquillas en cámaras de subirrigación en la provincia de Tambopata, Madre de Dios- Perú (en línea). Tesis Ing. For. y Amb. Madre de Dios, Perú. 105 p. Consultado el 8 de febrero de 2021. Disponible en <http://repositorio.unamad.edu.pe/bitstream/handle/UNAMAD/109/004-2-3-033.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Iracema, M; Coimbra, C; Alves, O; Oliveira, F; Wendling, I. 2016. Enraizamiento de estacas juveniles de *Bertholletia excelsa* con diferentes concentraciones de ácido indol-butírico. *Agrociencia* 50: 227-238. Consultado 01 de jul.2021. Disponible en <https://mail.google.com/mail/u/2/?pli=1#inbox/FMfcgzGkZQHdNwcLXTJGhnwFBwBqpwhM?projector=1&messagePartId=0.2>

Langé, P. 2013. Efecto de auxinas en el enraizamiento de estaquillas de *Cuxus sempervirens* L. en distintas épocas del año. Tesis Magister Scientiae en Cultivos Intensivos Universidad Nacional del Litoral. Facultad de Ciencias Agrarias, Argentina.

Leví, Y. 1987. Propagación de estacas de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* Ducke) con aplicación de estimulantes del enraizamiento bajo condiciones de Tingo María. Tesis Ing. Recursos naturales renovables. Huánuco, Perú, Universidad Nacional Agraria de la Selva. 113 p.

Loach, K. 1988. Water relations and adventitious rooting. In *Adventitious root formation in cuttings*. Ed. By T.D. Davis; B.E. Haissig; N.B. Sankhla. Portland, Or. EE.UU., Disocorides Press. 102-116 p.

Mesen, F. 1998. Enraizamiento de estacas juveniles de especies forestales: uso de propagadores de sub-irrigación. Manual técnico N° 30. CATIE, Proyecto PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica.

MINAG (Ministerio de Agricultura, Perú). 2003. Propagación Vegetal de especies forestales en la sierra Peruana. Lima, Perú.

MINAG (Ministerio de agricultura, Perú). 2006. Aprueban categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre D.S. N° 043-2006-AG. Boletín oficial de normas legales de El Peruano. El Peruano 23(9526): 323517 - 323608.

ONU (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma). 2016. Los bosques y el cambio climático en el Perú. Consultado el 3 diciembre 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5184s.pdf>

Oropeza R, YC. 2016. Propagación vegetativa de queñua (*Polylepis besseri*) utilizando fitohormona enraizador en diferentes dosis, en el invernadero de la ciudad universitaria de Shancayán – Huaraz – Ancash (en línea). Tesis Ing. Agr. UNASAM, Huaraz, Perú. 82 p. Consultado el 8 de febrero de 2021. Disponible en <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/2410>

Peralta R, JE. 2011. Efecto del ácido indolbutírico en el enraizamiento en brotes de pino colorado (*Pinus oocarpa* Schiede). Tesis Ing. Agr. Universidad de San Carlos De Guatemala, Guatemala. 97 p.

Peña P, AR. 2019. Empleo de una técnica de propagación asexual para la conservación de la especie *Cedrela odorata* L. (cedro) (en línea). Tesis Ing. For. UTEQ, Los Ríos, Ecuador. 84 p. Consultado el 2 de feb de 2021. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/bitstream/43000/4092/1/T-UTEQ-0120.pdf>

Primo, E. 1977. "Química Agrícola". 1 ed. Madrid, España, Edit. Alhambra. 639 p.

Puri, S. y Khara, A. 1992. Influence of maturity and physiological status of woody cutting: limits and promises to ensure successful cloning. *Indian Forester (India)*. 118(8):560-572.

Rafael, J.; Aramendiz, H.; y Enrique, C. 2004. Influencia del ácido indolbutírico y ácido naftalenoacético sobre el enraizamiento de esquejes de caña flecha (*Gynerium sagittatum* Aubl.). Grupo de Investigación en Cultivos Tropicales de Clima Cálido. Universidad de Córdoba de Montería – Colombia. *Rev. Temas Agrarios - Vol. 10:(1), Enero - Junio 2005 (5 - 13)*.

Rodriguez, D; Chang La Rosa M; Hoyos R; Falcon G. 2000. Manual práctico de Hidroponía. Universidad Nacional Agraria La Molina Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral. Lima, Perú 43 p.

Rojas I, C; Cuzquén C, C; y Delgado P, GE. 2018. Propagación clonal *in vitro* y enraizamiento de estacas de algodón nativo (*Gossypium barbadense* L.)

(en línea). Consultado el 7 de set. de 2020. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/acag/v62n4/v62n4a04.pdf>

Rojas, S; Garcia, J; Alarcon M. 2004. Propagación asexual de plantas: conceptos básicos y experiencias con especies amazónicas. Colombia, Ed. Produmedios. 56p.

Román C, GE. 2014. Efecto de la hormona AIB en el enraizamiento de estacas juveniles de *Croton lechleri* Muell. Arg (en línea). Tesis Ing. For. UNALM, Lima, Perú. Consultado el 7 de set. de 2020. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2360/K10-R758-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Ríos G, CR. 2013. Efecto de cinco dosis de ácido indol-3-butírico en el enraizamiento en estacas de morera (*Morus spp*). Tesis Ing. Agrop. Quevedo, Los Ríos, Ecuador. 78 p.

Ríos, A y Ríos A. 2000. Fenología y propagación de tres especies de Podocarpaceae, por semillas y por estacas. Tesis Ing. For. Loja, Ecuador. 106 p.

Ruíz G, R; Vargas H, J; Cetina A, VM; y Villegas M, A. 2005. Efecto del ácido indolbutírico (AIB) y tipo de estaca en el enraizado de *Gmelina arbórea* Roxb. Revista Fitotecnia Mexicana, 28 (4):319-326.

Ruiz, S. 2009. Efecto de cuatro dosis de ácido indolbutírico y tres tipos de estacas en el enraizamiento de Sacha inchi (*Plukenetia volubilis* L.) en San Martín. Tesis para optar el título de ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional de la Selva. 30- 75p.

Sánchez Urdaneta, A.; Suárez, E; Razzela, M.; Amaya, Y.; Colmenares, C.; y Ortega, J. 2009. Efecto del ácido indolbutírico sobre el enraizamiento de acodos aéreos de guayabo (*Psidium guajava* L.) en el municipio Baralt, Venezuela. Evaluación preliminar. Departamentos de Botánica, Agronomía y Estadística, Facultad de Agronomía, La Universidad del Zulia. Maracaibo, estado Zulia, Venezuela y Ingeniero Agrónomo, Asistente de Investigación.

Recibido: 08/05/2008 Fin de primer arbitraje: 24/06/2008 Primera revisión recibida: 16/02/2009. Fin de segundo arbitraje: 17/03/2009 Segunda revisión recibida: 28/03/2009 Aceptado: 19/04/2009.

Silva T, GG. 2015. Efecto de diferentes dosis de ácido indolbutírico en el enraizamiento de estacas de *Lonchocarpus utilis* (Barbasco) (en línea). Tesis Ing. Agr. For. Ac. Yarinacocha, Perú. Consultado el 7 de set. de 2020. Disponible en: <http://repositorio.unia.edu.pe/bitstream/unia/88/1/tesis.pdf>

Sisaro, D; Hagiwara, J. 2016. Propagación vegetativa por medio de estacas de tallos. 1ed. Argentina, Ediciones INTA. Consultado 10 Ene. 2017. Disponible en http://inta.gob.ar/sites/default/files/inta_propagacion_vegetativa_por_medio_de_estacas_de_tallo.pdf.

Solís G, CA. 2014. Propagación asexual de azul mata (*Justicia tinctoria* Oerst. D, N. Gibson, Fam. Acanthaceae) por medio de estacas (en línea). Tesis Ing. Agr. UCR, Costa Rica. Consultado el 5 de set. de 2020. Disponible en: <http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/bitstream/123456789/2510/1/36941.pdf>

Soudre, M; Mesen, F; Del Castillo, D; Guerrero, H. 2008. IIAP (Instituto de investigación de la Amazonia Peruana). "Bases técnicas para la propagación vegetativa de árboles tropicales mediante enraizamiento de estaquillas". Memoria. Curso internacional. Pucallpa, Perú, 100 p.

Strasburger, E. 1994. Tratado de botánica. Barcelona, Omega. 1068 p.

Tang R, HL. 2014. Efecto de dos tipos de sustrato y cuatro dosis de ácido indolbutírico en el enraizamiento de estacas juveniles de *Tabebuia serratifolia* (Vahl) en propagadores de sub-irrigación, en Pucallpa-Ucayali, Perú (en línea). 85 p. Consultado el 25 de enero de 2021. Disponible en <http://repositorio.unu.edu.pe/bitstream/handle/UNU/1522/000001943T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Taiz, L; Zeiger, E. 1996. Fisiología Vegetal. 3 ed. s.l., Universitat Jaume.
- Urbano, T. 2001. Tratado de fitotecnia general. 2 ed. España, 896 p.
- Urbina, V. 2009. Propagación de los frutales, monografías de fruticultura - N°7 proyección para clases capítulo 3 Estaquillado. Consultado 15 mayo 2018. Disponible en <http://ocw.udl.cat/enginyeria-i-arquitectura/fruticultura/continguts-1/l-7/n.o-7-monografias-de-fruticultura-v.-urbina-web-udl>.
- Valderrama, M. 2005. Manual del cultivo de Yacón: experiencias de introducción y manejo técnico en el Valle Condebamba. Cajamarca, Perú, PYMAGROS. 47 p.
- Valenzuela A, NM. 2011. Evaluación de dos hormonas de enraizamiento en la multiplicación vegetativa de *Centrolobium ochroxylum* (Amarillo de Guayaquil) (en línea). Tesis Ing. Agr. UTB, Los Ríos, Ecuador. 57 p. Consultado el 8 de febrero de 2021. Disponible en <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/85/T-UTB-FACIAG-AGR-000015.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Vieira de Souza, J. 2007. Propagación vegetativa de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem) por miniestaquia. Tesis Magister en Producción Vegetal. s.l., Universidad del estado del Norte de Fluminense. 54 p.
- Weaver, R. 1985. Reguladores de crecimiento de las plantas en la agricultura. México, 622 p.
- Zobel, B; Talbert, J. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. 1 ed. México, Edit. LIMUSA. 545 p.
- Zorrilla M, SM. 2012. Inducción y enraizamiento de brotes epicórmicos de árboles seleccionados de *Cordia alliodora* (Ruiz et Pavon), Oken (laurel) utilizando reguladores de crecimiento (en línea). Tesis Ing. For. UTEQ, Los Rios, Ecuador. 85 p. Consultado el 28 de enero de 2021. Disponible en <https://repositorio.uteq.edu.ec/jspui/bitstream/43000/2322/1/T-UTEQ-0038.pdf>

CAPÍTULO VII

ANEXOS

Anexo 1. Panel Fotográfico de las Actividades Desarrolladas en la Investigación



Habilitación de camas en el Invernadero



Acondicionamiento de camas



Preparación del sustrato de enraizamiento



Recolección de las estacas en el Distrito de Cuadratura



Traslado de las estacas al invernadero



Preparación de las soluciones de AIB, ANA y AIB*ANA



Incisiones longitudinales en la base de las estacas



Inmersión de las estacas en cada solución



Estacas invertidas introducidas en agua destilada en su parte distal



Siembra de las estacas en el invernadero



Aplicación de riego a las estacas en el invernadero



Primera evaluación



Segunda evaluación



Tercera evaluación





Evaluación Final



Repique de estacas

**PRUEBA DE SIGNIFICACIÓN DE TUKEY AL 5% DE
PROBABILIDADES, PARA EL EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE AIB
PARA CADA PARÁMETRO EVALUADO**

Número de raíces

Prueba de significación de Tukey al 5% de probabilidades, para el efecto de la concentración de AIB en el número promedio de raíces por estaca.

AIB (ppm)	Promedio	Significación
4000	9	A
2000	7	A
0	2	B
8000	2	B

Longitud de raíces

Prueba de significación de Tukey al 5% de probabilidades, para el efecto de la concentración de AIB en la longitud promedio de raíces.

AIB (ppm)	Longitud (cm)	Significación
4000	11.57	A
2000	10.02	A
0	9.51	A
8000	2.6	B

Número de brotes

Prueba de significación de Tukey al 5% de probabilidades, para el efecto de las diferentes concentraciones de AIB en el número promedio de brotes.

AIB (ppm)	N° de brotes	Significación
2000	2	A
4000	2	A
0	2	A
8000	1	B

Longitud de brotes

Prueba de significación de Tukey al 5% de probabilidades, para el efecto de concentración de AIB en la longitud promedio de brotes.

AIB (ppm)	Longitud de brote (cm)	Significación
4000	12.04	A
2000	11.85	A
0	5.5	B
8000	2.98	B

Porcentaje de enraizamiento

Prueba de significación de Tukey al 5% de probabilidades, para el efecto de la concentración de AIB en el porcentaje de enraizamiento.

AIB (ppm)	Enraizamiento (%)	Significación
2000	43.33	A
4000	42.50	A
0	35.00	A
8000	3.33	B

Porcentaje de mortalidad

Prueba de significación de Tukey al 5% de probabilidades, para el efecto de la concentración de AIB en el porcentaje de mortalidad.

AIB (ppm)	Mortalidad (%)	Significación
8000	96.67	A
0	65.00	B
4000	57.50	B
2000	56.67	B

Promedio de resultados de los parámetros evaluados Concerniente al Efecto del Ácido Indol Butírico (AIB) y α - Naftalenoacético (ANA), en el Enraizamiento de Estacas de *Smallanthus glabratus*.

Tabla 14. Promedio número de raíces

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
AIB (ppm)	0				2000				4000				8000			
ANA (ppm)	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000
PROMEDIO	2.6	2.3	1.7	2.7	8.5	8.8	4.2	5.9	11.7	5.2	10.6	8.3	1.9	3.3	2.2	0

Tabla 15. Promedio longitud de raíces

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
AIB	0				2000				4000				8000			
ANA	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000
PROMEDIO	6.4	9.5	9.9	12.2	10.2	9.2	9.9	10.8	12.2	8.2	13.2	12.7	1.7	3.9	4.8	0

Tabla 16. Promedio número de brotes

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
AIB	0				2000				4000				8000			
ANA	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000
PROMEDIO	1.1	1.4	1.5	1.5	1.7	1.8	1.8	2.4	1.3	1.1	1.6	2.4	0.3	1.7	0.3	0

Tabla 17. Promedio longitud de brotes

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
AIB	0				2000				4000				8000			
ANA	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000
PROMEDIO	5	4.1	5.8	7.1	8.7	10.8	14.3	13.6	12.9	10	15.8	9.5	0.8	5.6	5.5	0

Tabla 18. Promedio porcentaje de enraizamiento

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
AIB	0				2000				4000				8000			
ANA	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000
%	30	36.7	33.3	40	40	43.3	43.3	46.7	33.3	30	53.3	53.3	3.3	6.7	3.3	0

Tabla 19. Promedio porcentaje de mortalidad

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12	T13	T14	T15	T16
AIB	0				2000				4000				8000			
ANA	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000	0	2000	4000	8000
%	70	63.3	66.6	60	60	56.6	56.6	53.3	66.6	70	46.6	46.6	96.6	93.3	96.6	100