

## DESARROLLO DE ESTACAS DE BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* Mart.) EN CÁMARAS DE SUB-IRRIGACIÓN

Andrea E. RAMOS-HUAPAYA<sup>1</sup>, Gilberto DOMÍNGUEZ TORREJÓN<sup>2</sup>

1 ARBORIZACIONES E.I.R.L. E-mail: andrea.e.ramos.h@gmail.com

2 Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima. E-mail: gdominguez@lamolina.edu.pe

### RESUMEN

La bolaina blanca (*Guazuma crinita*) es una especie forestal nativa de la Amazonía, de rápido crecimiento y con usos diversificados de su madera, por ello reporta un gran potencial para el desarrollo del sector forestal. La empresa Consorcio Agroforestal SAC (CAF SAC) con el financiamiento de Innóvate-Perú desarrolló un protocolo de propagación vegetativa para esta especie con enraizamiento en cámaras de sub-irrigación. El material vegetativo (estacas) se obtuvo de árboles candidatos a plus y ubicados en tres condiciones de sitio: km 43, Navidad y Shebonia, seleccionados en plantaciones (edad < 5 años), ubicados en el distrito de Puerto Inca, Huánuco. El objetivo fue evaluar el desarrollo de las estacas en condiciones microambientales en las cámaras de sub-irrigación sin la aplicación de soluciones hormonales. Evaluamos porcentaje de sobrevivencia, brotes y mortandad. Se aplicó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) con cinco bloques y tres tratamientos, además se evaluó la presencia de callo y porcentaje de enraizamiento. Al término de los 20 días, las estacas de Shebonia reportaron el valor promedio más alto en presencia de callos; las estacas de Navidad reportaron los valores promedio más altos en porcentaje de brotes y sobrevivencia. Las estacas del km 43 mostraron los valores más bajos para todas las variables.

**PALABRAS CLAVE:** Huánuco, plantaciones, índice de sobrevivencia, enraizamiento.

## DEVELOPMENT OF CUTS OF BOLAINA BLANCA (*Guazuma crinita* Mart.) IN SUB-IRRIGATION CHAMBERS

### ABSTRACT

The Bolaina blanca (*Guazuma crinita*) is a native timber species of the Amazon, fast growing and with diversified uses of its wood, therefore it has great potential for the development of the forest sector. The company Consorcio Agroforestal SAC (CAF SAC), with funding from Innóvate-Perú, developed a protocol for vegetative propagation for this species in sub-irrigation chambers. The vegetative material (cuttings) was obtained from the material was obtained from trees located in 3 site conditions: km 43, Navidad and Shebonia, selected on plantations (less than 5 year old) located in Puerto Inca district (Huánuco). The objective was to evaluate the development of the cuttings in microenvironmental conditions of the sub-irrigation chambers without the application of hormonal solutions. We evaluated percentage of survival, sprouting, mortality, presence of callus and percentage of rooting. A completely randomized block design (DBCA) was applied with five blocks and three treatments. At the end of the 20 days, the Shebonia cuttings had the highest presence of calli; cuttings of Navidad had the highest percentage of sprouting and survival. Cuttings of Km 43 showed the lowest values for all variables.

**KEYWORDS:** Huanuco, plantations, survival rate, rooting.

## INTRODUCCIÓN

La bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) es una especie forestal nativa de la amazonia peruana, de rápido crecimiento, elevada abundancia natural y de importancia económica para los pequeños productores que la están incorporando en plantaciones forestales y/o en sistemas asociados a sus cultivos. Por su rápido crecimiento y diversidad de usos de su madera, es considerada una especie maderable de gran potencial para el desarrollo del sector. Sin embargo, no es posible adquirir material genético validado: semillas, que aseguren su alta productividad, calidad y uniformidad en las plantaciones instaladas y/o en los sistemas asociados, por ello no se logra masificar su instalación con fines comerciales.

La empresa Consorcio Agroforestal SAC (CAF SAC) con el financiamiento del programa Innóvate Perú del Ministerio de la Producción, desarrolló en su centro de operaciones: Puerto Súngaro, Puerto Inca, un protocolo de propagación vegetativa de bolaina blanca, como parte de un programa de selección genética de esta especie, (Código del Proyecto: PIPEI-6-P-328-096-13). El protocolo se inició con la selección de árboles candidatos a plus para la obtención de material vegetativo para su propagación mediante estacas y finalmente lograr su enraizamiento en condición de cámaras de sub-irrigación. La propagación por estacas de bolaina blanca producirá una generación de individuos que posean el mismo genotipo que la planta que le dio origen.

La propagación por estacas consiste en cortar brotes, ramas o raíces de la planta, las cuales se colocan en una cama enraizadora, con el objetivo de lograr la emisión de raíces y brotación en la parte aérea, hasta obtener una nueva planta, (Rojas *et al.*, 2004, citado por Cervantes, 2011). Esta nueva planta deberá probar su superioridad en ensayos clonales en distintas condiciones de sitio. Gárate (2010) destaca la propagación vegetativa por estacas juveniles y la considera como un proceso de impacto tecnológico por su eficiencia en la obtención de altos porcentajes de enraizamiento, la reducción del tamaño de la estaca (que permite una mayor eficiencia del material vegetativo), gran aplicabilidad por su práctica implementación y mayor viabilidad económica para el establecimiento de plantones clonales a gran escala. Con el uso y validación de esta tecnología se pretende lograr altos rendimientos en producción de madera por hectárea, madera de calidad en menor tiempo y al menor costo posible. Zobel y Talbert (1988) citados por Soudre *et al.* (2011), sostienen que la propagación vegetativa es una alternativa valiosa para conservar la diversidad

genética de germoplasma valioso y aumentar la ganancia genética en periodos muy cortos. Sin embargo, Murillo *et al.* (2010), señalan que la propagación vegetativa no es garantía para obtener calidad de un árbol y consecuentemente en las plantaciones, es por ello que las plantas clonales generadas deberán ser probadas en ensayos para validar la superioridad mostrada, y con ello continuar con el desarrollo del programa de selección genética para la especie.

El enraizamiento de las estacas y/o formación de raíces adventicias depende de factores internos que interactúan en forma compleja y generan un amplio rango de efectos sobre el metabolismo, crecimiento y diferenciación de las células meristemáticas (Baldini, 1992 y Gutiérrez, 1995 citados por Sánchez, 2011). Gárate (2010) menciona que los factores que tienen mayor influencia para lograr un adecuado enraizamiento son: el manejo de la planta madre con el fin de obtener brotes juveniles, buen estado nutricional, época y edad apropiada, longitud y diámetro de las estacas, presencia de hojas y yemas, tratamientos hormonales y las condiciones ambientales propicias (iluminación, temperatura, humedad relativa, sustrato de enraizamiento) que induzcan al enraizado. La recopilación de Ruíz-Solsol & Mesén (2010) mencionan que el éxito del enraizamiento depende de factores relacionados con la minimización del déficit hídrico en las estacas, la optimización de la fotosíntesis durante el proceso de propagación, así como la utilización de sustratos adecuados y reguladores de crecimiento que favorezcan la iniciación y desarrollo de raíces.

Al considerar la importancia de la bolaina blanca para el desarrollo forestal del país, y el hecho que aún se desconoce de un método idóneo para su propagación vegetativa se ha utilizado, en la presente investigación, cámaras de sub-irrigación como una alternativa a ser demostrada. El objetivo fue evaluar el desarrollo de las estacas de bolaina blanca en las condiciones microambientales de la cámara, sin la aplicación de soluciones hormonales, para lo cual se midieron las variables: porcentaje de sobrevivencia, porcentaje de brotación, porcentaje de enraizamiento, presencia de callo y porcentaje de mortandad.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se desarrolló en el Vivero Agroforestal de la empresa Consorcio Agroforestal SAC, Centro Poblado de Puerto Súngaro (9°22'21" S, 75°01'51" O), distrito y provincia de Puerto Inca, Región Huánuco, Perú. Al ámbito de estudio le corresponde la zona de vida de bosque muy húmedo

pre montano (bmh - P), presentando una temperatura media anual de 23 °C, precipitación anual de 2,500 mm con 3 meses de época seca y una humedad relativa de 80%. Los suelos son franco arenoso, profundo y drenado, (ONERN, 1976; Ramos-Huapaya & Domínguez, 2016).

### OBTENCIÓN DEL MATERIAL VEGETATIVO

Las estacas fueron colectadas de brotes vigorosos de 10-35 cm de longitud y de 8-10 semanas de edad; producto de la inducción al rejuvenecimiento a árboles candidatos a plus seleccionados en plantaciones de bolaina blanca (menores a los 5 años de edad) instalados y manejados por la empresa Consorcio Agroforestal SAC, en lugares o sitios conocidos como: “km 43”, “Navidad” y “Shebonia”, en el distrito de Puerto Inca (9° 40'31" S, 75°27'01"O), Ramos-Huapaya & Domínguez (2016).

En la obtención de estacas se realizaron cortes para eliminar el entrenudo terminal y los entrenudos basales, también se eliminaron las estructuras que se encontraron demasiado lignificadas. Cada brote generó en promedio de 1 - 3 estacas (longitud: 3-15 cm, diámetros centrales: 2-8 mm); la estaca conservó 2/3 de su área foliar, para disminuir el estrés fisiológico ya que esta es fuente de asimilados, auxinas y otras sustancias vitales para el enraizamiento. Las estacas se sumergieron en la solución de oxiclورو de cobre (0,3%) según las recomendaciones de Paredes *et al.* (2010) y IIAP (2010), finalmente fueron expuestas a corrientes de aire por 5 minutos. Según la experiencia de Saldaña (2014) citado por Ramos (2015), la aplicación de soluciones hormonales no mejora el enraizamiento en estacas de bolaina blanca, puesto que influye negativamente en su sobrevivencia; menciona que se genera una reacción de oxidación, quemando la base de la estaca y causando su muerte. Por lo tanto, en la presente investigación no se aplicó ningún tipo de solución hormonal.

### SIEMBRA DE LAS ESTACAS

Las estacas fueron sembradas en las cámaras de sub-irrigación a un distanciamiento de 10 cm, considerándose su procedencia. A cada procedencia le correspondió una cámara de sub-irrigación, a las cuales se le realizó similar manejo y control de condiciones microambientales.

### CÁMARA DE SUB-IRRIGACIÓN

Es un invernadero en miniatura, el cual tiene la función de proveer agua por capilaridad a los diferentes sustratos y evitar su evaporación (Leakey *et al.* 1990), dotando de las condiciones microambientales para inducir el enraizamiento, evitando que estas sufran de estrés hídrico. Es una estructura de madera (pre-dimensionada) y polietileno, de dimensiones: 2,50 m de largo, 1 m de ancho, 0,5 m de la parte anterior y 1 m de la parte posterior. El medio de enraizamiento utilizado fue arena fina (previamente desinfectada) y las cámaras fueron protegidas por una malla negra (rachell) colocada a 2,20 m de altura sobre el nivel del suelo. En el interior de las cámaras se colocaron termómetros digitales (con termohigrómetro incorporado) lo que permitió el registro de la temperatura interna (°C) y la humedad relativa (%). Los datos ambientales fueron tomados diariamente cada 2 horas, el registro se inició a las 7:30 horas y finalizó a las 19:30 horas. Las evaluaciones se iniciaron inmediatamente después de la siembra y finalizó a los 20 días.

### MONITOREO DE ESTACAS

La temperatura interna se mantuvo por debajo de los 35 °C y la humedad relativa por encima de 60% para las 3 procedencias; los valores se encontraron dentro de los rangos óptimos para propiciar el enraizamiento. Henríquez (2004) menciona que la temperatura interna debe mantenerse entre 27 - 29 °C y no exceder los 30 °C y la humedad relativa debe

**Tabla 1.** Condiciones microambientales internas en las cámaras de sub-irrigación utilizadas en el desarrollo de estaca de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Sitio	T °C (media)	T °C (rango)	HR (%)
km 43	28,3	22,7-36,1	78
Navidad	27,4	22,9-31,5	84,6
Shebonia	27,9	22,7-36,1	83

Leyenda: T °C: Temperatura °C, HR (%): Humedad Relativa

mantenerse entre 60-80% para evitar la deshidratación del material vegetativo, especialmente en el caso de estacas verdes o herbáceas. Durante las evaluaciones se observó la presencia de hongos y algas en el sustrato de enraizamiento, lo cual fue un indicador de la alta humedad relativa interna, (Tabla 1).

Para las 5 variables evaluadas se consideraron como tratamientos las procedencias de las estacas (sitios: km 43, Navidad y Shebonia), cada estaca fue considerada como una unidad experimental, el nivel de confiabilidad fue de 95%. Para el análisis de datos se utilizó el software InfoStat (versión 2014). Para las variables: porcentaje de sobrevivencia, porcentaje de mortandad y porcentaje de brotación, se empleó el diseño de bloques completamente al azar (DBCA) y para la aplicación de esta prueba las observaciones de porcentaje fueron transformados mediante la fórmula  $\sqrt{\%}$  según recomendación de Ruíz-Solsol & Mesén (2010) y Soudre *et al.* (2010b). Sin embargo, para su interpretación los valores fueron convertidos a sus unidades originales, se consideró como bloques: el número de evaluaciones (5 evaluaciones realizadas en 20 días). Las variables: porcentaje de enraizamiento y presencia de callo, fueron analizadas de manera descriptiva, al finalizar los 20 días.

## RESULTADOS

### OBTENCIÓN DE ESTACAS

Se obtuvieron un total de 147 estacas provenientes de árboles candidatos a plus ubicados en los 3 sitios evaluados: Km 43 (60), Navidad (30) y Shebonia (57).

### PORCENTAJE DE SOBREVIVENCIA

La última evaluación alcanzó los valores de: 13,3%, 46,7% y 56,1%, para las estacas de los sitios km 43, Navidad y Shebonia respectivamente. Esta

variable está relacionada en un sentido lineal negativo con el incremento de días de permanencia de las estacas en las cámaras (Figura 1). Se reporta 76,7% para el sitio Navidad, entre los días 15-17, mayor al reportado en los días 12-14 (73,3%), esta variación señaló que las estacas en los días 12-14 mostraron signos de necrosis, por ello fueron consideradas como estacas muertas. Sin embargo, en la evaluación posterior mostraron signos de vitalidad.

El análisis de varianza y la prueba de rango múltiple de Tukey (Tabla 3), mostró diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre los sitios km 43 - Shebonia y km 43 - Navidad. No se reportó diferencia estadística significativa entre Shebonia - Navidad; sin embargo la media del porcentaje de sobrevivencia de las estacas de Navidad fue numéricamente superior al de las estacas de los sitios restantes. Al final de la evaluación (20 días), se contabilizaron 8 estacas vivas para el sitio km 43, 14 estacas vivas para el sitio Navidad y 32 estacas vivas para el sitio Shebonia.

### PORCENTAJE DE MORTANDAD

En la última evaluación alcanzó los valores de 43,9%, 53,4% y 86,7%, para las estacas de los sitios Shebonia, Navidad y km 43 respectivamente. Esta variable está relacionada en un sentido lineal positivo con el número de días; el mayor coeficiente de determinación lo reportó las estacas del sitio km 43 (97,6%), (Figura 2).

El análisis de varianza y la prueba de rango múltiple de Tukey (Tabla 2) mostró diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre Navidad - km 43 y Shebonia - km 43. No se reportó diferencia estadística significativa entre las estacas de Shebonia - Navidad; sin embargo la media del porcentaje de mortandad de las estacas del sitio km 43 fue numéricamente superior al de las estacas de los sitios restantes.

**Tabla 2.** Prueba de rango múltiple Tukey por tratamiento para las variables evaluadas en el desarrollo de estaca de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.)

Sitio	Sobrevivencia (%)	Mortandad (%)	Brotación (%)
km 43	14 a	43,9 b	13,4 a
Navidad	46,7 b	53,4 a	22,8 b
Shebonia	56,1 b	91,2 a	30 a b

Valores registrados en la última evaluación seguido por diferentes letras que indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre ellas.

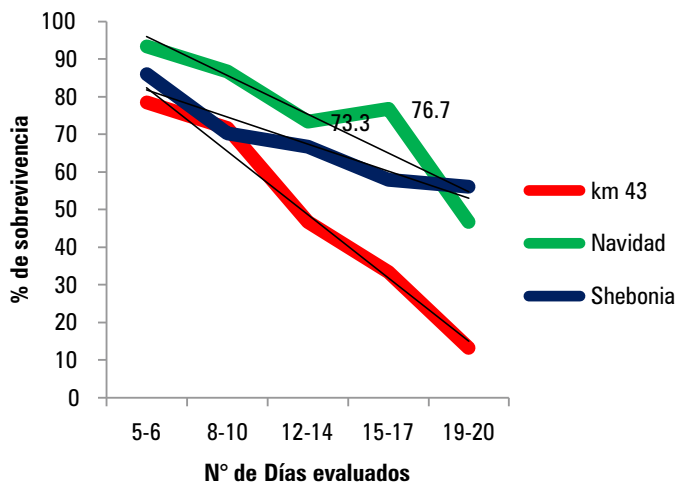


Figura 1. Comportamiento del porcentaje de sobrevivencia de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en cámaras de sub-irrigación.

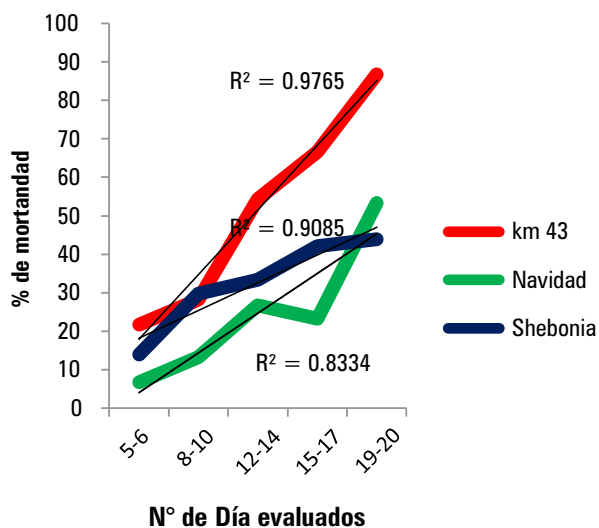


Figura 2. Comportamiento del porcentaje de mortandad de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en cámaras de sub-irrigación.

### PORCENTAJE DE BROTAÇÃO

Es la relación porcentual entre el número de estacas que reportaron brotes (hojas tiernas sin importar la cantidad de las mismas) y el número total de estacas sembradas, independientemente del número de brotes por estacas. En la última evaluación alcanzó los valores de: 13,3%, 22,8% y 30%, para las estacas de los sitios km 43, Shebonia y Navidad respectivamente. No es posible determinar una relación entre el porcentaje de brotación y el tiempo de permanencia (días) de las estacas en las cámaras. Sin embargo, la variable alcanzó sus valores más altos entre los días 8-10 (km 43) y entre los días 15-17 (Shebonia y Navidad), a partir de allí sus valores descienden, lo cual puede entenderse como la caída de los brotes lo que puede desencadenar en la muerte de las estacas, (Figura 3).

El análisis de varianza y la prueba de rango múltiple de Tukey (Tabla 3) mostró diferencias estadísticas significativas ( $p < 0,05$ ) entre los sitios km 43 - Navidad; no se reportó diferencia estadística significativa entre las estacas de los sitios km 43 - Shebonia y Shebonia - Navidad. Sin embargo, la media del porcentaje de brotación en las estacas de Navidad fue numéricamente superior a las estacas de los sitios restantes. Al final de la evaluación se reportó 8 estacas con presencia de brotes de sitio km 43, 9 estacas con presencia de brotes de Navidad y 13 estacas con presencia de brotes de Shebonia.

### PORCENTAJE DE ENRAIZAMIENTO

Las estacas provenientes del sitio Shebonia reportaron 14% de enraizamiento, las estacas provenientes del sitio Navidad reportaron 3,3% y las estacas del sitio km 43 reportaron 0% de enraizamiento.

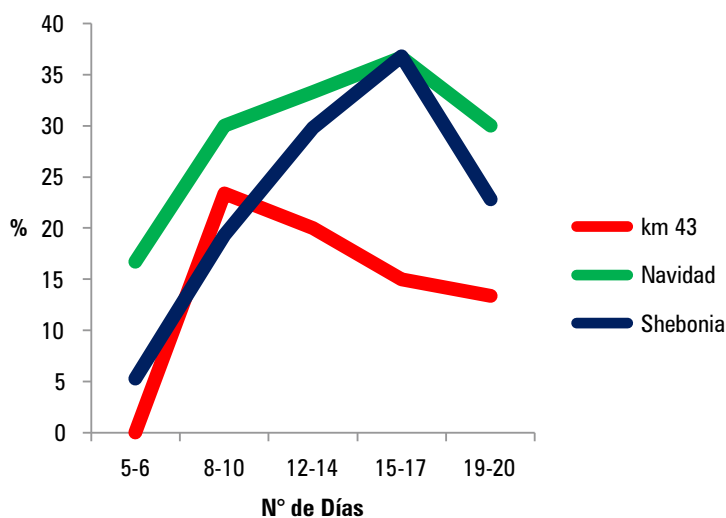
Al término de la investigación se reportó para el sitio km 43: 8 estacas vivas, sin embargo estas no presentaron raíces.

Situación similar se reportó para las estacas del sitio Navidad: 14 estacas vivas (1 estaca reportó la presencia de raíces adventicias), 32 estacas vivas para el sitio Shebonia (8 estacas con presencia de raíces adventicias).

### PRESENCIA DE CALLO

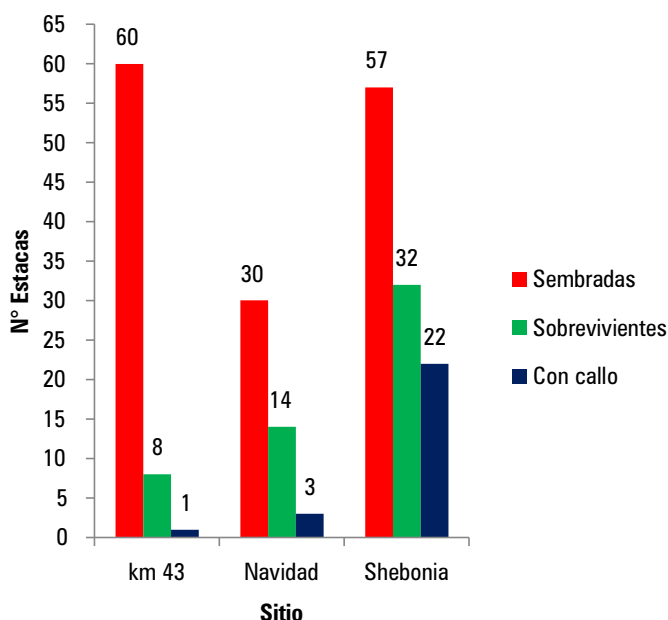
El callo es un tejido cicatrizal, cuya presencia es útil al impedir el acceso de patógenos al interior de la estaca; sin embargo no ejerce influencia en la formación de raíces ya que no participa directa ni activamente, (Baldini, 1992, citado por Berner, 2004).

La formación de raíces como la formación de callos, requieren de similares condiciones para su ocurrencia. Las estacas provenientes de los 3 sitios, reportan la presencia de callos. Sin embargo, este no se reportó en la totalidad de estacas sobrevivientes (Figura 4).



**Figura 3.** Comportamiento del porcentaje de brotes de la bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en cámaras de sub-irrigación.





**Figura 4.** Estacas con presencia de callos por sitio de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) en cámaras de sub-irrigación.

## DISCUSIÓN

### SOBREVIVENCIA Y MORTANDAD

La presencia de hongos en el sustrato, puede interpretarse como un indicador de la alta humedad relativa interna que lo perjudicó, al disminuir la disponibilidad de oxígeno. Flores (2010) evidencia la relación positiva entre los excesos de humedad y la mortalidad de estacas, menciona que el agua en el sustrato llega a desplazar el aire de los poros no capilares del sustrato y produce una deficiencia de oxígeno, la cual puede desencadenar en la muerte de las mismas.

Erstad y Gislerod (1994) citados por Flores (2010) señalan que la reducción del nivel de oxígeno en el medio de enraizamiento provoca el cierre de estomas lo cual influye en el enraizamiento, al reducir la toma de CO<sub>2</sub> limitando la fotosíntesis y con ello condiciona la sobrevivencia de las estacas. En la recopilación de Egüez (2010) se menciona que el medio de enraizamiento debe presentar condiciones equilibradas de humedad y aireación para permitir que todo el cambium en la parte basal de la estaca se hinche y aparezcan en esta los esbozos de las raíces. El medio de enraizamiento utilizado fue arena fina, siguiendo la recomendación de Mesén *et al.* (1996).

Sin embargo, distintos investigadores han logrado el enraizamiento de estacas de especies tropicales en cámara de sub-irrigación en sustratos como arena fina, arena gruesa, perlita agrícola y cascarilla de arroz carbonizada en condiciones anaeróbicas y con la aplicación de soluciones hormonales: ácido indol-3-butírico (AIB) en diferentes concentraciones.

Por lo tanto se afirma que la alta humedad relativa interna perjudicó el sustrato de enraizamiento y además esta tendría una influencia negativa sobre la sobrevivencia e influencia positiva sobre la mortandad de las estacas de bolaina blanca en las cámaras. Además, se sostiene que el medio de enraizamiento utilizado en las cámaras de sub-irrigación influyó en la sobrevivencia y capacidad de enraizamiento de las estacas, por ello es difícil generalizar el uso de un sustrato específico.

### BROTACIÓN

Hartmann & Kester (1999) señalan que las temperaturas excesivas del aire tienden a estimular el desarrollo de las yemas con anticipación al desarrollo de raíces y aumentar la pérdida de agua en las hojas. Las temperaturas registradas debieron

incentivar la formación de yemas y consecuentemente estos se transformaron en brotes. Núñez & Mesén (2005) mencionan que la producción de carbohidratos vía fotosíntesis, es la función principal de las hojas en cuanto a su efecto sobre el enraizamiento. La presencia de hojas en las estacas constituye un fuerte estímulo para el inicio de las raíces; sin embargo la pérdida de agua por los procesos de transpiración puede causar una reducción en el contenido de agua en las estacas a un nivel tal que pueda ocasionar la muerte antes de que ocurra el enraizamiento.

Por lo tanto, puede afirmarse que la temperatura interna de las cámaras de sub-irrigación fueron las ideales desde el inicio de la investigación, para incentivar la aparición de yemas, brotes y hojas tiernas entre los 5-6 días de la siembra de estacas de los sitios Navidad y Shebonia y entre los 8-10 días de la siembra de estacas provenientes del sitio km 43.

Micheletto *et al.* (2003) señalan que la presencia de hojas en las estacas es benéfica, ya que permite continuar con el proceso de fotosíntesis, la cual será la fuente de energía para la formación y crecimiento de raíces. Sin embargo, al incrementarse la superficie que realiza fotosíntesis, también se incrementa la superficie que transpira, por ello la estaca debe buscar el equilibrio entre ambos procesos.

La pérdida y/o eliminación de yemas, brotes y hojas tiernas por parte de las estacas, inhibe la formación de raíces laterales, ya que estas son ricas en auxinas (promotoras del enraizamiento), (Salibusry, 1999, citado por Henríquez, 2004). Por su parte Braudeau (1981) citado por Soudre *et al.* (2011), sostiene que una estaca sin hojas no podrá arraigar, y que una estaca que pierde sus hojas en el transcurso del arraigue está igualmente imposibilitada, pues aunque esté empezando a formar raíces no podrá desarrollarse, por lo tanto es necesario una superficie foliar mínima que asegure la fotosíntesis y la vida futura de la estaca.

## ENRAIZAMIENTO

Leakey & Mesén (1991) sostienen que el proceso de enraizamiento de estacas en especies leñosas es complejo y simple a la vez. Es complejo porque existen numerosos factores que influyen en la capacidad de enraizamiento y si alguno de estos no es considerado puede ser un fracaso. Es simple, cuando se tienen las facilidades y se desarrolla un método básico de aplicación. Los principales problemas en el enraizamiento de estacas son: el envejecimiento del material (proveniente de árboles adultos), así como los fenómenos de variación dentro del clon, (Gutiérrez, 1995). Por su parte, Assis

& Texeira (1998), citados por Assis & Rodríguez (2014) señalan que existe una amplia evidencia de que la formación de raíces adventicias está genéticamente controlada, mostrando mayor facilidad de propagar por medio de la clonación, las especies de climas tropicales. Santelices (2005) en su investigación sobre en el enraizamiento de *Nothofagus alessandrii*, sostiene que la formación de raíces podría estar condicionado genotípicamente; esto explicaría la alta variabilidad en el porcentaje de enraizamiento de las estacas de bolaina blanca en la presente investigación.

Copes (1977) citado por Castillo-Flores *et al.* (2013) señala que el uso de árboles jóvenes como fuentes de estacas resulta en materiales de gran potencial de enraizamiento. Santelices (2005) señala que son variados los factores que condicionan el proceso de enraizamiento, siendo la juvenilidad uno de los más importantes. Observó que la capacidad de enraizamiento en estacas disminuye después del 5° año de edad (esto lo reportó en especies de la familia FAGACEAE). Para el desarrollo de esta investigación se seleccionó y trabajó con material proveniente de plantaciones menores a los 5 años de edad, por lo tanto se consideró que el material proviene de árboles jóvenes. Sin embargo, Vallejos *et al.* (2010), Resende *et al.* y Flores citados por Ramos (2015) sostienen que la obtención de material vegetativo, se realice en poblaciones cuya edad se encuentre entre los 5 a 6 años (medio turno), ya que a esta edad se tiene la garantía de superioridad en crecimiento. La bolaina blanca se caracteriza por presentar un turno entre los 8 a 10 años, por ello se considera que la edad de selección determinada para la presente investigación debería ser la ideal para el enraizamiento.

Los resultados mostraron un bajo porcentaje de enraizamiento (estacas de Navidad y Shebonia) y nulo enraizamiento (estacas de km 43). Por lo tanto, el problema en el enraizamiento no se debió al factor juvenilidad, sino a otros factores por determinar. Soria & López (2014) según su experiencia con *Eucalyptus globulus*, mencionan que para incentivar el enraizamiento y crecimiento de estacas, la humedad relativa debe de mantenerse debajo del 70%, lo cual también permitirá que no proliferen enfermedades. No obstante, la humedad relativa durante la investigación se mantuvo entre el 60-99% lo cual pudo causar que muchas estacas no logren enraizar y posteriormente provocar su muerte, sin embargo las condiciones microambientales se encontraron dentro de los rangos recomendados por Ruíz - Solsol & Mesén (2010) y Henríquez (2004). Por ello se interpretó que estas condiciones fueron las ideales para incentivar la brotación de las estacas,



por otro lado la disminución de los valores de esta variable pudo influir en el decrecimiento del enraizamiento de estacas y/o causar la muerte de las mismas (al interrumpirse la fotosíntesis).

Hartmann & Kester (1999) señalan que el estado nutricional de la planta madre es importante para el enraizamiento de las estacas, el cual es favorecida por el equilibrio del bajo contenido de nitrógeno y el alto contenido de carbohidratos. El alto contenido de carbohidratos se expresa en el grosor y la textura de los tallos: tallos pobres en carbohidratos son delgados, suaves y flexibles, en tanto los tallos gruesos y rígidos son ricos en carbohidratos. Cuando en las estacas existe un mayor contenido de carbohidratos y un menor contenido de nitrógeno (relación carbono-nitrógeno) existe una mayor formación de raíces adventicias. Las estacas se obtuvieron de brotes vigorosos, sanos y de pigmentación uniforme. Por lo tanto se asumió que los brotes presentaban un equilibrio entre el contenido de carbohidratos y nitrógeno, es decir que aparentemente el estado nutricional de los brotes y consecuentemente de las estacas, fue el correcto.

Las estacas provenientes del sitio Shebonia respondieron mejor al enraizamiento; sin embargo este no sobrepasó el 50%. Soudre *et al.* (2010a) empleando brotes manejados de bolaina blanca (de segunda generación) obtuvieron cerca del 90% de enraizamiento de estacas instaladas en cámaras de sub-irrigación, en tan solo 20 días. Sin embargo, los brotes se obtuvieron de árboles de 10 años de edad y se realizó un manejo, que consistió en la aplicación de la poda total de los primeros brotes generados (brotes de primera generación) y la adición de fertilizante, además estos fueron cubiertos con plástico negro, para finalmente obtener y cosechar brotes (de segunda generación) a los 120 días de realizada la poda total. Es decir, se aplicó un doble tratamiento de rejuvenecimiento, lo cual generó la obtención de material con mayor capacidad de enraizamiento. Por lo tanto, podría afirmarse que la aplicación de tratamientos de rejuvenecimiento aumenta la capacidad de enraizamiento del material vegetativo.

La presencia de hojas en las estacas ejerce una fuerte acción estimulante sobre la iniciación de raíces. Es probable que el fuerte efecto promotor de inducción de raíces (que ejercen las hojas y yemas) se deba a otros factores más directos, dado que las yemas y hojas son poderosos productores de auxinas y los efectos se observan directamente debajo de ellos, ya que existe un transporte polar, del ápice a la base, (Hartmann & Kester, 1999). En este caso, no todas las estacas que reportaron brotes (en la última evaluación) reportaron raíces adventicias. Por lo

tanto, puede señalarse que la presencia de brotes ocurre mucho antes de la formación de raíces adventicias.

Gárate (2010) describe que el periodo óptimo de enraizamiento es característico de cada especie, pero por lo general es de 30 a 50 días para la mayoría de especies forestales. En la presente investigación, el tiempo que las estacas permanecieron en las cámaras de sub-irrigación fue de 20 días, tiempo que se determinó al observar la disminución progresiva del porcentaje de sobrevivencia de las estacas a medida que transcurrían los días de evaluación.

## PRESENCIA DE CALLO

El comportamiento de esta variable muestra similar tendencia a la presencia de raíces. Diversos autores señalan que la formación de callo es independiente a la formación de raíces, sin embargo Flores (2010) sostiene que es posible que éste sea un indicador fisiológico que anticipa al enraizamiento.

Mientras que Santelices (2005) señala que no necesariamente debe ocurrir una secuencia de formación de callo y raíces, esto lo observó para la especie *Nothofagus alessandrii*. Por su parte Mateo-Sánchez *et al.* (1998) citado por Bonfil-Sanders *et al.* (2007) señalan que una mayor formación de callo que de raíces es observada en todas las especies y esto es una respuesta común en la propagación por estacas. Sin embargo, lo que no es común, son el alto porcentaje de mortandad y el bajo porcentaje de enraizamiento reportado para las estacas de bolaina blanca en la presente investigación.

Por lo tanto puede señalarse, que las estacas provenientes del sitio km 43 (al reportar la mínima presencia de callo, nulo porcentaje de enraizamiento y el porcentaje más alto de mortandad) provienen de material vegetativo con (posiblemente) déficit nutricional (no reportado a simple vista), ya que la mayoría de estacas no pudieron generar el tejido cicatrizal para impedir el paso de patógenos y con ello evitar su muerte. Sin embargo, las estacas fueron obtenidas de brotes vigorosos y de buen estado; por ello posiblemente se confundió la vigorosidad del brote con su grado de lignificación, lo cual repercutió en el enraizamiento de las estacas.

Durante la investigación, las estacas provenientes del sitio Shebonia reportaron el mayor porcentaje de enraizamiento y la mayor presencia de callos. Las estacas provenientes del sitio Navidad reportaron el mayor porcentaje de sobrevivencia y porcentaje de brotación (Tabla 2); sin embargo reportaron un valor bajo para el porcentaje de enraizamiento. Finalmente, las estacas provenientes del sitio km 43 reportaron los valores más bajos para

todas las variables en estudio. Por lo tanto puede interpretarse que (considerando que todo el material vegetativo fue expuesto a similares condiciones microambientales y provino de árboles jóvenes), las respuestas de las estacas podrían deberse a las características del material (germoplasma) y al estado nutricional de los brotes (de donde se obtuvieron las estacas), siendo el material vegetativo proveniente del sitio Shebonia el mejor.

## CONCLUSIONES

Se reporta diferencias en el enraizamiento del material vegetativo proveniente de diferentes condiciones de sitio. El mayor porcentaje de enraizamiento registrado, corresponde al material proveniente del sitio Shebonia (14%), seguidas por las del sitio Navidad (3,3%); observándose un enraizamiento nulo en el material proveniente del sitio km 43. En condiciones de cámaras de sub-irrigación, las estacas de bolaina blanca provenientes del sitio Shebonia reportaron los valores más altos para las variables: porcentaje de enraizamiento y presencia de callo; mientras que las estacas del sitio Navidad reportaron los valores más altos para las variables: porcentaje de brotación y porcentaje de sobrevivencia. Las estacas provenientes del km 43 mostraron los valores más bajos para todas las variables.

## AGRADECIMIENTOS

Expresamos nuestro más sincero agradecimiento al Coordinador General del Proyecto Innóvate Perú-Consortio Agroforestal SAC: Ing. Guerald Flores Hurtado. Al Consorcio Agroforestal SAC - Grupo PLANTAR por la confianza. Los profesionales que contribuyen en el Proyecto: Ing. Ignacio Piqueras Villarán, Lic. Hilda Flores Zavala, Ing. Diego Castro Garro, Ing. Jorge Luis Aguilar Gálvez, Ing. Catherine Sueros Herrera e Ing. Alexis Hermoza Cuba. Los profesionales externos: Mg. Sc. Grimaldo Febres Huamán, Dr. Julio Alegre Orihuela, Lic. Patricia L. Baquerizo Huapaya y Téc. Wilson Saldaña Meléndez.

## BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Assis, F.; Rodríguez, F. 2014. Mejoramiento Genético de Eucaliptos en Chile. La propagación vegetativa de eucaliptos en Chile. INFOR - FIA. Chile. p. 125-146.
- Berner, K. 2004. *Estudio ontogénico del porcentaje de enraizamiento para la especie Ulmo (Eucryphia cordifolia Cav.) en ambientes controlados*. Tesis de Pre-grado, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, Valdivia, Chile. 61 pp.
- Bonfil-Sanders, C; Mendoza-Hernández, P; Ulloa-Nieto, J. 2007. Enraizamiento y formación de callos en estacas de siete especies del género *Bursera*. *Agrociencia* 1(41): 103-109.
- Castillo-Flores, J; López-López, M; López-Upton, J; Cetina-Alcalá, V; Hernández-Tejeda, T. 2013. Factores de influencia en el enraizamiento de estacas de *Abies religiosa* (Kunth) Schldtl et. Cham. *Chapingo* 1(19): 175-184.
- Cervantes, D. 2011. *Propagación vegetativa de quinilla (Manilkara bidentata, A.DC.) mediante el enraizamiento de estaquillas utilizando cámara de sub-irrigación en el distrito de Morales provincia de San Martín*. Tesis Pre-grado, Universidad Nacional de San Martín, Facultad de Ciencias Agrarias, San Martín, Perú. 97 pp.
- Egüez, E. 2010. *Potencial del enraizamiento de estacas ortotrópicas provenientes de plantas somáticas de 4 genotipos de cacao (Theobroma cacao L.) tipo nacional Quevedo, Los Ríos*. Tesis Pre-grado, Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Quito, Ecuador. 110 pp.
- Flores, M. 2010. *Evaluación del efecto de 5 dosis de fitohormona, 3 tipos de sustratos y 3 rasgos de morfotipo en el enraizamiento de estaquillas juveniles de Amburana ceanensis en ambientes controlados en Pucallpa-Ucayali, Perú*. Tesis Pre-grado. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales, Ucayali, Perú. 123 pp.
- Gárate, M. 2010. *Técnicas de propagación por estacas*. Tesis Pre-grado. Universidad Nacional de Ucayali, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ucayali, Perú. 189 pp.
- Gutiérrez, B. 1995. Consideraciones sobre la fisiología y el estado de madurez en el enraizamiento de estacas de especies forestales. *Ciencia e investigación Forestal-Instituto Forestal, Chile* 2(9):261-277.
- Henríquez, E. 2004. *Evaluación de tres factores de enraizamiento en estacas de morera (Morus alba)*. Tesis de Pre-grado, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Santiago, Chile. 77 pp.
- Hartmann, T; Kester, D. 1999. *Propagación de plantas: Principios y Prácticas*. 5 ed. Distrito Federal de México, Compañía Editorial Continental. 757 pp.
- IIAP (Instituto de Investigaciones de la Amazonia Peruana). 2010. *Propagación vegetativa de*

- Sacha Inchi (*Pulkeria volubilis* L.). s.l. 34 p. (Manual Técnico).
- Leakey, R; Mesén, F; Tchoundjeu, Z; Longman, K; Dick, J; Newton, A; Matin, A; Grace, J; Munro, R; Mutoka, P. 1990. Low-technology techniques for the vegetative propagation of tropical trees. *Commonwealth Forestry Review* 69(3): 247-257.
- Leakey, R; Mesén, F. 1991. Métodos de Propagación Vegetativa en Árboles Tropicales. Métodos de Propagación en Árboles Tropicales: Enraizamiento de Estacas Suculentas. Turrialba, CR. p 147- 167.
- Mesén, F; Leakey, R; Newton, A. 1996. Propagadores de sub-irrigación: un sistema simple y económico para la propagación vegetativa de especies forestales. Ed. R Salazar. Managua, NI, s.e. p. 101-110. (Avances en la Producción de Semillas Forestales en América Latina).
- Micheletto, F; Salas, P; Molas, O. 2003. Multiplicación masal del ramio (*Boehmeria nivea* (L.) Gaud.) mediante estacas herbáceas. *Investigación Agraria* 1(7): 54-58.
- Murillo, O; Badilla, Y; Zúñiga, M. 2010. Manual. Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica: ¿Qué es Mejoramiento Genético? Escuela de Ingeniería Forestal. Cartago, s.e. 132 pp.
- Núñez, Y; Mesén, F. 2005. Propagación vegetativa mediante el enraizamiento de estacas juveniles. Mejoramiento genético y semillas forestales. *Revista Forestal Centroamericana* no 28: 6.
- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales). 1976. Mapa Ecológico del Perú. Guía Explicativa. Lima. 274 pp.
- Paredes, O; Soudre, M; Chávez, J; Guerra, W. 2010. Propagación vegetativa de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) mediante injerto, bajo condiciones ambientales controladas. *Folia Amazónica* 19(1-2): 69-77.
- Ramos, A. 2015. *Propagación por estacas de bolaina blanca (Guazuma crinita Mart.) provenientes de árboles candidatos a plus en condiciones de cámara de sub-irrigación*. Tesis Pre-grado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales, Lima, Perú. 130 pp.
- Ramos-Huapaya, A.; Domínguez, G. 2016. Selección de árboles de bolaina blanca (*Guazuma crinita* Mart.) como candidatos a árboles “plus” para ensayos de rejuvenecimiento y brotación. *Ecología Aplicada*. 15(2): 115-123.
- Ruíz-Solsol, H; Mesén, F. 2010. Efecto del ácido indolbutírico y tipo de estaquilla en el enraizamiento de Sacha Inchi (*Pulkenetia volubilis* L.). *Agronomía Costarricense* 32(2): 259-267.
- Sánchez, G. 2011. *Propagación vegetativa de cuatro especies forestales utilizando un propagador de sub-irrigación*. Tesis Post-grado. Colegio de Postgraduados - Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas, Programa en Producción Agroalimentaria en el Trópico, Tabasco, México. 50 pp.
- Santelices, R. 2005. Efecto del árbol madre sobre la rizogénesis de *Nothofagus alessandrii*. *BOSQUE* 26(3): 133-136.
- Soria, F; López, G. 2014. Mejoramiento Genético de Eucaliptos en Chile Propagación vegetativa de *Eucalyptus globulus*. INFOR - FIA. Chile. P 148-167.
- Soudre, M; Vidal, F; Mori, J; Guerra, H; Mesén, F; Pérez, F. 2010a. Propagación Vegetativa de marupa (*Simarouba amara* Aubl.) mediante el enraizamiento de estacas juveniles en propagadores de sub-irrigación. *Folia Amazónica* 19(1-2): 61-68.
- Soudre, M; Ríos, H; Pinedo, R. 2010b. PROBOSQUES - IIAP: Tecnología para la producción de estacas juveniles de plantas superiores de bolaina blanca (*Guazuma crinita*). s.e. Lima, PE, Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana. p. 51. (Memoria Institucional)
- Soudre, M; Ríos, H; Soudre, O; Pinedo R; Mueras, L; Limache, A; Guerra, H; Mesén, F; Pérez, F. 2011. Propagación Vegetativa de tornillo (*Cedrelinga cateniformis* (Ducke) mediante el enraizamiento de estacas juveniles en propagadores de sub-irrigación. *Folia Amazónica* 20(1-2): 83-84.
- Vallejos, J; Badilla, Y; Picado, F; Murillo, O. 2010. Metodología para la selección e incorporación de árboles plus en programas de mejoramiento genético forestal. *Agronomía Costarricense* 34(1): 105-117.

Recibido: 18 de Enero del 2017

Aceptado para publicación: 21 de Marzo del 2017

