

EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS DE ENRAIZAMIENTO DE ESQUEJES DE TALLO LATERAL EN GENOTIPOS DE *Solanum phureja*.

Fecha de recepción: 15 de agosto de 2011 • Fecha de aceptación: 20 de noviembre de 2011

EVALUATION OF METHODS FOR ROOTING SIDE STEM CUTTINGS OF *Solanum phureja* GENOTYPES.

Liliana Andrea Ramírez Franco^{1,2} • Catalina María Zuluaga Amaya³ • José Miguel Cotes Torres⁴

RESUMEN

En etapas iniciales de los programas de mejoramiento genético de papa es difícil contar con suficiente material vegetal para el establecimiento de ensayos de campo (por ejemplo, pruebas de patogenicidad) debido a la escasez de semilla asexual de los genotipos a evaluar. Es por esto que esta investigación buscó determinar una metodología apropiada de multiplicación rápida usando esquejes de tallo lateral de diferentes genotipos de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) evaluando sustratos e inductores de crecimiento más comunes, encontrando que la mejor metodología de enraizamiento, la cual presenta un 100% de enraizamiento, es la aplicación de Hormonagro 1 (ácido alfa-naftalenacético al 0.4%), complementado con el trasplante en un sustrato de turba durante 30 días, se obtiene que el 96,11% de los esquejes enraizara. Asimismo se encontró que, en *S. phureja*, el uso de Hormonagro 1 es preferible al uso de penca de sábila como inductor de enraizamiento, encontrándose un porcentaje de sobrevivencia de esquejes a los 30 días de 100% y 14,40%, respectivamente.

Palabras clave: Turba, multiplicación acelerada, papa criolla, inductores enraizamiento.

- 1 Estudiante Maestría en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín-Facultad de Ciencias Agrarias-Departamento de Ciencias Agronómicas-Calle 59A #63-20-Núcleo El Volador-Medellín-Colombia
- 2 Autor para correspondencia: liaramirezfr@unal.edu.co
- 3 I. Agr. MSc. Dr. Profesor Asistente. e-mail: catazuluaga81@gmail.com Institución: Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de Ciencias Agrarias. Cr 48 No. 7-151 Medellín – Colombia.
- 4 I. Agr. MSc. Dr. Profesor Asociado. e-mail: jmcotes@unal.edu.co Institución: Universidad Nacional de Colombia-Sede Medellín-Facultad de Ciencias Agrarias-Departamento de Ciencias Agronómicas-Calle 59A #63-20-Núcleo El Volador-Medellín-Colombia

ABSTRACT

In the early stages of potato breeding programs is difficult to have enough plant material for the establishment of field trials (eg, test of pathogenicity) due to seed shortage asexual genotypes evaluated. This research was carried out to determine an appropriate methodology using rapid multiplication lateral stem cuttings of different native potato genotypes (*Solanum. phureja* Juz et Buk) evaluating the most common substrates and inducers of rooting. We found that the best method of rooting, the which has 100% of rooting, is the application of Hormonagro 1 (alpha-naphthaleneacetic acid 0.4%), followed by transplantation in a peat substrate for 30 days. We obtain that 96,11% of rooted cuttings. It also found that, in *S. phureja*, the use of Hormonagro 1 is better than use *Aloe vera* as an inducer of rooting, being a survival rate of cuttings at 30 days, 100% and 14,40%, respectively.

Key words: Peat moss, rapid propagation, creole potato, auxin.

INTRODUCCIÓN

La papa criolla (*S. phureja*) está ampliamente distribuida en los Andes desde el este de Venezuela hasta el centro de Bolivia y forma un importante recurso genético. Cuenta con excelente calidad culinaria y buena capacidad de cruzamiento con otros cultivares de papa (Burgos *et al.*, 2009). Se utiliza en los programas de mejoramiento genético como un puente para transferir caracteres de resistencia (Evers *et al.*, 2006). Se ha caracterizado por la adaptación a días cortos, y por ser una especie predominantemente diploide ($2n=2x=24$), además de ausencia de dormancia del tubérculo (Ghislain *et al.*, 2006).

En las últimas décadas la producción de semilla de papa ha experimentado grandes avances, gracias al desarrollo de los métodos de multiplicación rápida, utilizando secciones de tallo enraizadas o plántulas *in vitro* propagadas masivamente (Ezeta, 2001). Las técnicas de multiplicación acelerada de papa, están asociadas con la producción de semilla prebásica y básica, donde la tasa de multiplicación es mayor a la convencional, por esta razón, se aprovecha

al máximo tanto el área foliar como los tubérculos. El propósito es alcanzar altos índices de multiplicación, conservando la calidad sanitaria del material generado (Hidalgo *et al.*, 1999; Cotes y Ñustez, 2001).

Para lograr una óptima multiplicación del material vegetal y favorecer el enraizamiento de los explantes se debe tener en cuenta: a) ausencia de luz en la zona donde se formarán las raíces, b) aplicación de reguladores del crecimiento tipo auxinas (ácidos indolbutírico (AIB) y naftalenacético (ANA)), y c) un sustrato que suministre humedad continua y temperaturas moderadas (Sánchez *et al.*, 2009).

El término sustrato, se aplica a todo material sólido distinto del suelo natural o de síntesis, mineral u orgánico, que puesto en un contenedor, sirve como un medio de anclaje del sistema radicular (López *et al.*, 2008). Los sustratos empleados en la propagación de esquejes pueden ser de tipo orgánico (tierra, turba, compost, cascarilla de arroz., entre otros), e inorgánicos (la perlita, la vermiculita y la arena) (López *et al.*, 2008). Para obtener buenos resultados, el sustrato

debe reunir características como: a) tener suficiente firmeza y densidad para mantener las plantas en su lugar durante el cultivo, b) su volumen no debe variar mucho cuando está seco a mojado, c) debe retener suficiente humedad para evitar los riegos frecuentes, d) debe ser lo suficientemente poroso, de modo que drene el exceso de agua y permita una aireación adecuada y e) no debe tener un nivel excesivo de salinidad (Hidalgo *et al.*, 1999).

Estudios realizados por Giusto *et al.* (2004) evaluaron la producción de minitubérculos a partir de los brotes de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) en diferentes combinaciones de sustrato, encontrando que los sustratos Plantamax (estimulante y acelerador del desarrollo de raíces) y la fibra de coco presentan un

una alternativa viable en el programa de producción de semilla de dicho tubérculo.

Según Rodríguez *et al.* (2004), las plantas pueden liberar al medio una cantidad apreciable de compuestos biológicamente activos y algunos de ellos actúan como inhibidores o estimuladores del crecimiento de las plantas. El crecimiento de la raíz es regulado por señales endógenas que mantienen la actividad del meristemo apical de la raíz y contribuyen con el patrón de generación de nuevas raíces laterales (Sánchez *et al.*, 2009).

Una vez se ha realizado el corte del esqueje, es necesario sumergir el explante aproximadamente diez segundos en una solución hormonal de enraizador a base de ácido indolacético, ácido indol- butírico o áci-

Las técnicas de multiplicación acelerada de papa, están asociadas con la producción de semilla prebásica y básica, donde la tasa de multiplicación es mayor a la convencional, por esta razón, se aprovecha al máximo tanto el área foliar como los tubérculos.

mejor comportamiento para este tipo de propagación rápida. Por otra parte, Cotes y Ñustez (2001), manifestaron buenos resultados en la producción de raíces y un alto porcentaje de sobrevivencia de esquejes del Clon 1 (hoy variedad Colombia) al usar como sustrato arena de río en de papa criolla. A su vez, estudios realizados por Jiménez *et al.* (2010) al evaluar la producción de minitubérculos de papa en la variedad Desirée encontraron que la zeolita permite un adecuado desarrollo de las plantas y es capaz de retener los nutrientes y aportarlos lentamente de acuerdo con la demanda de las plantas, sugiriendo el uso de este sustrato como

do naftalenacético, para inducir la formación de raíces (Herrera *et al.*, 2001). Para el caso del ácido alfa-naftalenacético (ANA) actúa sobre los puntos de crecimiento de las raíces de las plantas y afecta las divisiones celulares, promoviendo la emisión radical (Herrera *et al.*, 2001). Otros estudios, han permitido considerar enraizadores de origen natural como el gel de penca de sábila, al cual se le atribuye la bondad de poseer el 98.5% de agua, de ser rico en mucílagos formados por ácidos galacturónicos, glucorónicos, unidos a azúcares como glucosa, galactosa y arabinosa, los cuales contribuyen a la formación de raíces (Giraldo *et al.*, 2009)

Investigaciones realizadas por Benhur *et al.* (2004), evaluaron la multiplicación de esquejes de cuatro variedades de papa (DIACOL-Capiro, ICA-Puracé, Parda Pastusa y Yema de huevo-Clon 1) y la aplicación de inductores de enraizamiento a base de ácido naftalenacético (ANA), concluyendo que aplicaciones de ANA a 5 y 10 mg L⁻¹ permiten obtener mayor enraizamiento y sobrevivencia de esquejes.

Esta investigación tuvo como objetivos evaluar en diferentes genotipos de *S. phureja* seis diferentes metodologías de enraizamiento en esquejes de tallo lateral, y el comportamiento de dos inductores de enraizamiento, uno de origen químico y otro natural.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en la Casa Malla del Centro Agropecuario Paysandú, de La Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, localizado en el corregimiento de Santa Elena, municipio de Medellín (Antioquia, Colombia), a una altura de 2550 msnm.

Para la obtención de los esquejes se utilizó la metodología propuesta por Cotes y Ñustez (2001) para lo cual se sembraron tubérculos madre en camas de un 1m² aplicando al momento de la siembra y en aporque 20 g del fertilizante (10- 20- 20) y se realizaron las labores propias del cultivo como manejo de arvenses y manejo fitosanitario con aplicaciones de Mancozeb al 80% para evitar la presencia de tizón tardío (*Phytophthora infestans*). Posteriormente, al mes y medio después de la siembra, mucho antes del período de floración, se eliminó con un bisturí previamente desinfectado con 1% de hipoclorito de sodio el brote apical a cada planta para estimular la formación de brotes laterales. Después, de 15 días se inició la cosecha de esquejes de tallo lateral, cortando tallos de 3cm de longitud (Figura 1)



Figura 1. Cosecha de esquejes de tallo lateral de papa criolla, a) siembra de tubérculos en camas, b) plantas madre de genotipo C2, c) Corte de esquejes de tallo lateral, d) Aplicación de Hormonagro 1 en la base del tallo, e) siembra de esqueje en sustrato de turba.

Diseño experimental

Se realizaron dos experimentos el primero de ellos para evaluar diferentes metodologías de enraizamiento y el segundo para comparar el mejor inductor de enraizamiento del ensayo anterior con el uso de sábila el cual ha sido reportado como un buen inductor natural de enraizamiento. En los dos experimentos se evaluó el porcentaje de sobrevivencia que corresponde al número de esquejes vivos después de 30 días de realizado el explante sobre el total de esquejes cosechados. Además en el primer ensayo se evaluó el porcentaje de enraizamiento el cual fue el número de esquejes vivos con presencia de raíces adventicias con base en el total de esquejes cosechados.

Evaluación de metodologías de enraizamiento

Se realizó un diseño de dos factores sin interacción, donde el primer factor fueron 10 genotipos de *S. phureja* denominados como C2, C3, C5, C13, C23, C24, C32, C33, C37, Colombia, y el segundo factor fueron seis tratamientos de enraizamiento que se describen a continuación: 1) Se tomaron bandejas plásticas rectangulares de 0.9 L con 150 mL de agua y los esquejes fueron puestos allí seis esquejes por bandeja, 2) consistió en introducir los esquejes en una solución de Solucat, un fertilizante para cultivos hidropónicos, el cual está compuesto por: Nitrógeno (25%), Fósforo (5%), Potasio (5%), Hierro (0.02%), Manganeso (0.01%), Boro (0.01%), Zinc (0.002%) y Cobre (0.002%). se aplicaron 2.4 g del fertilizante, diluidos en 150 mL de agua, 3) consistió en introducir los esquejes en solución nutritiva de Hoagland (Millner & Kilt, 1992), 4) se aplicó Hormonagro 1 (ácido alfa-naftalenacético al 0.4%) en la base del tallo y se sumergieron los esquejes en bandejas con 150 mL de agua, 5) consistió en aplicar Hormonagro 1 (ácido

alfa-naftalenacético al 0.4%) en la base del tallo de cada esqueje y luego colocarlo en suelo, y 6) igual que el tratamiento cinco pero el esqueje se colocaba en turba (Figura 2)

La solución nutritiva de Hoagland contiene en g por cada 500 mL de solución stock, 118.1 de $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, 50.55 de KNO_3 , 123.24 de $\text{MgSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, 6.81 de KH_2PO_4 , 0.24 de $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$, 3.09 de H_2BO_3 , 0.26 de $\text{NiSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, 1.44 $\text{ZnSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$, 1.98 de $\text{MnCl}_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$, 0.62 de $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$, 0.24 $\text{CoCl}_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$, 19.525 de MES y 1.84 de Na FeEDTA. A los genotipos sembrados en sustratos de suelo y turba se les aplicó agua manualmente evitando excesos, debido a que impedía la formación de raíces.



Figura 2. Tratamientos de enraizamiento en genotipos de *S. phureja*, a) Genotipos sembrados en sustrato de turba, b) Esquejes con tratamiento de ácido alfa-naftalenacético, c) Esquejes enraizando en agua

Evaluación de inductores de enraizamiento

Se utilizó un diseño de dos factores sin interacciones, donde el primer factor fueron 94 genotipos de *S. phureja* y el segundo factor fueron las aplicaciones de Hormonagro 1 y penca sábila como promotores de enraizamiento. Se evaluaron dos esquejes por cada genotipo y los inductores fueron aplicados en la base del tallo, sembrando un esqueje con inductor natural y otro con inductor químico. El sustrato utilizado fue la turba que en el ensayo anterior mostró los mejores resultados (Figura 3).



Figura 3. Siembra de esquejes con inductores de enraizamiento *A. vera* y Hormonagro 1.

Análisis estadístico

Para la evaluación de sustratos de enraizamiento y de los inductores de enraizamiento, el análisis estadístico se realizó mediante un modelo lineal generalizado mixto de dos vías sin interacción asumiendo una función de ligamiento *logit*, tanto para la variable porcentaje de sobrevivencia como para el porcentaje de enraizamiento. Se asumió que el efecto de los genotipos es aleatorio mientras que el efecto de los tratamientos es fijo. Esta función de ligamiento garantiza que los resultados estadístico no superen el rango de la variable que es entre 0 y 100%, debido a que son variables binomiales cuyo parámetro a

estimar es el porcentaje de éxitos de un suceso. Para el modelo, se utilizó la metodología de estimación Bayesiana, obteniendo como estimación puntual la media de la distribución a *posteriori*, complementada con la obtención de los intervalos de credibilidad a *posteriori* de 90% de probabilidad los cuales se utilizan para determinar diferencias entre los tratamientos. Si estos intervalos se traslapan no hay diferencias significativas entre las medias consideradas. Para los cálculos se utilizó el programa entorno estadístico R (R Development Core Team, 2012) y el paquete *MCMCglmm* (Hadfield, 2010) que implementa el algoritmo de GIBBS para la generación de muestras de la distribución a *posteriori* conjunta. En todos los casos se consideró una cadena de markov de longitud $1e6$, tomando 1 de cada 10 muestras generadas y dejando un período de *burn-in* de $1e4$.

RESULTADOS

En la evaluación de sustratos se presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.001$) entre los tratamientos para el porcentaje de sobrevivencia y enraizamiento de los esquejes de tallo lateral.

Se encontró, que el porcentaje de enraizamiento en los genotipos de papa fue cerca del 96,11% en el tratamiento de turba con Hormonagro 1, seguido del suelo con Hormonagro 1 con un 77,33% y el agua con un 69,35%. Por el contrario, los tratamientos con Solucat y Hormoagro 1 diluidos en agua presentaron los valores más bajos de enraizamiento, con valores de 0 y 18,63%, respectivamente (Figura 4A)

En cuanto a los porcentajes de sobrevivencia de los esquejes de tallo lateral se encontró que el tratamiento de turba con Hormonagro 1 presentó el valor más alto de sobrevivencia de esquejes con un 100%, seguido del tratamiento de suelo con Hormonagro 1, con un 90,54%. Los tratamientos Hormonagro 1 y Solucat diluidos en agua no ejercen un efecto positivo en la sobrevivencia donde se presentó un valor cercano al 0%.

El agua es denominada el enraizador universal y fue uno de los tratamiento utilizados en este estudio. Los genotipos de *S. phureja* en agua presentaron un 69,35% de enraizamiento. Sin embargo, los valores de sobrevivencia alcanzaron el 1% y después de ocho días, bajo este tratamiento, la mayoría de los esquejes murieron (Figura 4B). Los síntomas iniciales de los daños en las plantas se evidenciaron en las hojas, las cuales se tornaban cloróticas, marchitas y finalmente muertas.

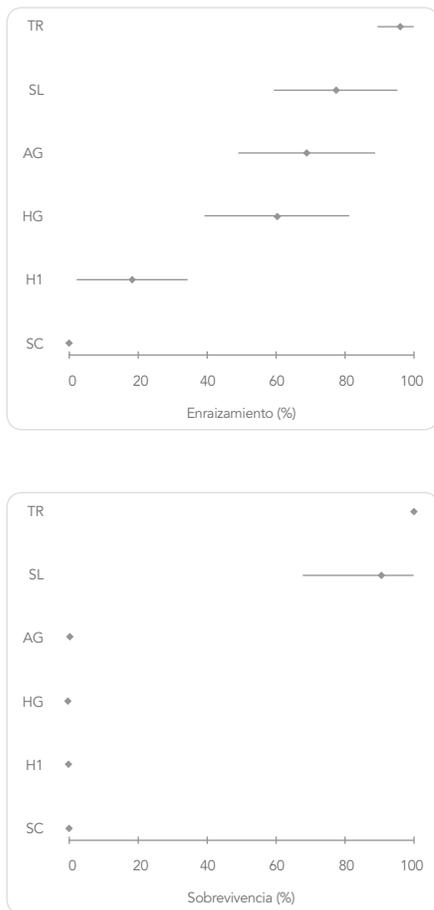


Figura 4. Valor medio estimado y su intervalo de credibilidad a posteriori de 90% de probabilidad para A) Porcentaje de enraizamiento de esquejes de tallo lateral. B) Sobrevivencia de esquejes de tallo lateral. Los tratamientos son: Agua (AG), Agua y Solución Hoagland (HG), Agua y Hormonagro 1 (H1), Agua y Solucat (SC), Suelo y Hormonagro 1 (SL), Turba y Hormonagro 1 (TR).

Para el ensayo de inductores, se presentaron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos ($p < 0.01$). La adición de Hormonagro 1 en polvo a la base del tallo y siembra en sustrato de turba, presentó un buen estímulo en la formación de raíces. Por el contrario, el ensayo con penca de sábila (*A. vera*) como enraizador natural, seguido de la siembra en turba no presentó resultados óptimos para el enraizamiento. Según el valor medio estimado de sobrevivencia, el Hormonagro 1 y el cristal de *A. vera* presentan valores de 100% y 14.40%, respectivamente, confirmando que el Hormonagro 1 proporcionó mayor porcentaje de sobrevivencia (Figura 5)

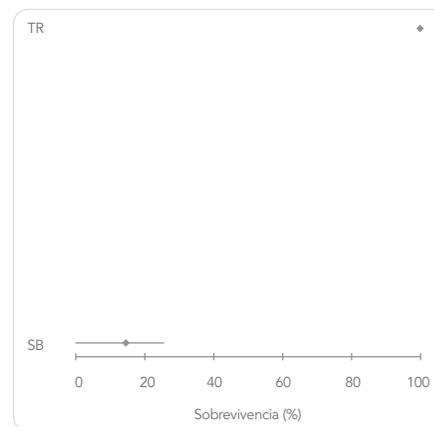


Figura 5. Valor medio estimado y su intervalo de credibilidad a posteriori de 90% de probabilidad para el porcentaje de sobrevivencia de esquejes de tallo lateral de papa criolla. Los tratamientos son: Turba y Hormonagro 1 (TR) y Turba y Sábila (SB).

DISCUSIÓN

Metodologías de enraizamiento

Para multiplicar de manera acelerada la papa, es necesario realizar una cosecha de esquejes jóvenes, vigorosos, con un tamaño entre 3 – 5 cm, con un buen sustrato que permita la adecuada aireación y retención de humedad (Ramírez et al., 2009). El resultado del uso de Hormonagro 1 seguido del

transplante en turba encontrado en este trabajo, puede ser explicado porque, como afirman Abad *et al.* (2004) y Moreno *et al.* (2009) la turba presenta buenas características físicas, tales como: alta porosidad, aireación y alta retención de humedad, lo que favorece la emisión de raíces y ejerce una mayor acumulación de fotoasimilados, traducándose esto en mayor masa fresca y seca en las raíces, estimulado el crecimiento y desarrollo vegetal.

El sustrato puede influir en la calidad de las raíces formadas y en el porcentaje de enraizamiento, un buen sustrato debe estar acorde con las exigencias de nutrientes, de agua y aire de la especie por enraizar, además de garantizar un buen soporte a las plantas. Asimismo, debe ser de bajo costo, fácil obtención y no liberar sustancias tóxicas (López *et al.*, 2008). El mejor tratamiento encontrado en esta investigación por su alto porcentaje de enraizamiento y sobrevivencia, utiliza turba como sustrato, el cumple con los requisitos previamente mencionado por López *et al.* (2008).

Esta investigación muestra que la turba puede ser usada exitosamente para enraizar esquejes de *S. phureja*, lo cual también ha sido reportado en otras especies. Moreno *et al.* (2009) evaluaron la propagación asexual de Uchuva (*Physalis peruviana* L.) en diferentes sustratos y encontraron que la turba, permitió mayor porcentaje de enraizamiento y producción de follaje, como consecuencia de una buena formación de raíces. Por otra parte, López *et al.* (2008) hallaron que el uso de arena y esquejes del tercio alto, producían mayor longitud de raíces y mayor porcentaje de enraizamiento en plantas de esta misma especie. Por otro lado, Álvarez *et al.* (2007), usando turba en la propagación de esquejes de Romero (*Rosmarinus officinalis* L.) encontraron un efecto significativo de este sustrato en el peso fresco y seco de las plantas, debido a que la turba presenta un buen contenido nutricional, pH óptimo y adecuadas condiciones de aireación.

Estudios realizados por Corzo (2002), con el objetivo de conocer el comportamiento de tres sustratos para enraizamiento de esquejes de tallo joven de papa en la variedad Parda Pastusa, encontraron que el sustrato de arena a los 18 días producía un 98% de enraizamiento, con raíces más largas y gruesas, en comparación con las escorias de carbón y turba, con valores de 82% y 65%, respectivamente. En esta investigación el porcentaje de enraizamiento de la turba y la aplicación de hormonagro 1, llegó a ser casi del 100%, lo cual supera lo reportado por Corzo (2002), pudiendo explicarse estas diferencias a la especie utilizada ya que la variedad Parda Pastusa es un cultivar tetraploide de la especie *Solanum tuberosum* sp *andigena* mientras que en esta investigación los genotipos utilizados son de la especie *S. phureja* en su mayoría diploides.

Estudios realizados por Giusto *et al.* (2004) evaluaron el método de multiplicación acelerada por medio del uso de brotes de tubérculos para la producción de semilla básica de papa en diferentes sustratos de enraizamiento y en tres cultivares (Asterix, Monalisa y Ágata), concluyeron que los cultivares Ágata y Monalisa fueron los más indicados para este tipo de multiplicación y, los sustratos de fibra de coco y plantmax arrojaron mejores resultados de desarrollo de las plantas. En esta investigación, no se encontró diferencia estadísticamente significativas entre los genotipos de *S. phureja* utilizados lo cual discrepa de los resultados presentados por Giusto *et al.* (2004) en genotipos de *S. tuberosum*.

Aunque, para este estudio los esquejes de tallo lateral presentaron un enraizamiento del 82% y de sobrevivencia superior al 65% en el tratamiento con suelo y el uso de Hormonagro 1, la mayor presencia de enfermedades, la dificultad en el manejo de la humedad y la compactación, fueron factores determinantes para no implementar este sustrato para la propagación de los esquejes. Este resultado concuerda con lo reportado por Giusto *et al.*

(2004) quienes manifestaron que el uso de suelo, como sustrato de enraizamiento para brotes de tubérculos de papa (*S. tuberosum*) afectó la calidad y la cantidad de minitubérculos producidos. Un caso similar en otra especie, fue el reportado por Álvarez *et al.* (2007) en esquejes de Romero, los cuales presentaban raíces débiles debido a la compactación del sustrato.

Esta investigación, en genotipos de *S. phureja* no se encontró buenos resultados de sobrevivencia de esquejes de tallo lateral, usando solamente agua como enraizador. Resultados diferentes fueron encontrados por Suárez *et al.* (2008) quienes manifestaron que el agua es un factor ambiental crítico en el crecimiento vegetal en el caso de Ginger rojo (*Alpinia purpurata* L.) donde este sustrato incrementó significativamente el número de raíces, la longitud y el tamaño. Esta diferencia puede deberse a que, en general, en papa, las raíces son muy susceptibles a la falta de oxígeno, que ocurre bajo condiciones de encharcamiento.

Para la investigación realizada no se controló estrictamente el efecto de la humedad sobre el enraizamiento de esquejes de papa criolla, sin embargo siempre se tuvo la precaución de no realizar un riego excesivo, y esto fue parte del éxito de los tratamientos donde se utilizó turba y suelo después de la aplicación de Hormonagro 1 a la base del esqueje de tallo lateral. Este resultado, fue también reportado por Cotes y Ñustez (2001), quienes expresaron una relación inversa entre humedad y enraizamiento, a mayor humedad menor cantidad de esquejes enraizados, siendo prioritario el manejo adecuado del contenido de humedad. De igual forma, Giraldo *et al.* (2009), muestran que el exceso de humedad del sustrato afecta negativamente la tasa de crecimiento y desarrollo de raíces, lo cual reduce el peso seco, propicia el ataque de hongos y bacterias, y finalmente influye sobre el desarrollo radicular de la planta.

Inductores enraizamiento:

Vargas (2007), al determinar la sobrevivencia de Botón de Oro (*Tithonia diversifolia* (Hemsl.) Gray) y Morera (*Morus alba* L.), tratados con Hormonagro y Penca de sábila, encontró que la aplicación del enraizador químico, seguido del natural tienen un efecto altamente significativo en la producción de raíces. Esta investigación en genotipos de *S. phureja* probó separadamente el efecto del Hormonagro 1 y la Sábila encontrando una gran diferencia en el efecto de estos inductores de enraizamiento en la sobrevivencia de los esquejes de tallo lateral a los 30 días. Sin embargo, el utilizar la secuencia de Hormonagro 1 y Sábila, no mejoraría el resultado encontrado en esta investigación con Hormonagro 1 ya que la sobrevivencia estimada fue del 100%.

Otros datos que soportan el uso de inductores de enraizamiento en varias especies, son los expresados por Giraldo *et al.* (2009), los cuales usando penca sábila y Hormonagro 1 en Mataratón (*Gliricidia sepium* L.), Nacedero (*Trichanthera gigantea*) y sauce (*Salix humboldtiana*) encontraron que se producen un buen enraizamiento, aunque, el enraizador químico produce raíces más abundantes y delgadas en comparación con el enraizador natural, el cual produce raíces más gruesas y menos densas.

Rodríguez *et al.* (2004) manifestaron que el gel de *A. vera*, favoreció el número de raíces en comparación con otros inductores de enraizamiento como ácido indolacético y ácido indol 3-butírico en plantas medicinales, resultados de son opuestos a los encontrados en *S. phureja* en esta investigación, donde el *A. vera* presentó un mal comportamiento como inductor de enraizamiento.

Considerando estudios hechos en especies Solanaceas, García *et al.* (2000) analizaron la propagación vegetativa por esquejes de diez variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) con

Aunque en solanaceas se ha reportado la necesidad del uso de auxinas para el enraizamiento, estos son también indispensables en otras especies.

la utilización de esquejes, en los que se evaluó el efecto de cuatro concentraciones de AIB, y concluyeron que las concentraciones de 1500 y 3000 ppm permiten mayor longitud de raíces y enraizamiento. En Uchuva (*Physalis peruviana* L.), las concentraciones de 600 y 800 mg L⁻¹ de AIB, permiten mayor porcentaje de enraizamiento. Así el buen comportamiento del tratamiento con turba y Hormonagro 1 obtenido en esta investigación en *S. phureja* es posible que se deba a que en solanaceas es necesario adicionar una hormona tipo auxina para promover el enraizamiento.

Sin embargo, aunque en solanaceas se ha reportado la necesidad del uso de auxinas para el enraizamiento, estos son también indispensables en otras especies. Así, Delgado *et al.* (2008), analizando la sobrevivencia y enraizamiento de esquejes en Taique (*Desfontainia spinosa* Ruiz & Pav) y Tapa (*Laureliopsis philippiana* Looser), con diferentes concentraciones de ácido indolbutírico (AIB), y encontraron un 93% y 77% de sobrevivencia en esquejes tratados con hormona y sin hormona, respectivamente. Por ello, enfatizan en la importancia de aplicar un inductor de enraizamiento en la supervivencia y formación de raíces adventicias.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada a través del proyecto 220101007287-Evaluación fenotípica y genotípica de la colección colombiana de *Solanum phureja* por resistencia a *Spongospora* subterránea el cual fue desarrollado por la Universidad Nacional de Colombia Sedes Medellín y Bogotá, el Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid y la Federación de Cultivadores de Papa (FEDEPA-PA) y cofinanciado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia, a la Asociación Hortofrutícola de Colombia (Asohofrucol). Los autores expresan sus agradecimientos a los integrantes de los grupos de investigación de Mejoramiento y producción de Especies Andinas y Tropicales (COL0039484) y al Grupo de Investigación en papa (COL0010065), que aportaron el recurso humano para desarrollar esta investigación

BIBLIOGRAFÍA

1. Abad M., Martínez P. 1996. Los sustratos y los cultivos sin suelo en España. En: memorias curso master internacional, aprovechamiento de residuos orgánicos. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. p. 22-24.
2. Álvarez H. J.; Rodríguez S. L., Chacón E. 2007. Efecto de diferentes tamaños de esqueje y sustratos en la propagación del romero (*Rosmarinus officinalis* L.). *Agronomía Colombiana* 25: 224-230.
3. Benhur S., Moreno R., Marquinez X., Caro M. 2004. Evaluación de dos tipos de esquejes para producción de tubérculo-semilla élite en cuatro variedades de papa *Solanum phureja* Juz et Buk y *Solanum tuberosum* L. *Acta Biológica Colombiana* 9: 552-53
4. Corzo P. 2002. Influencia del peso de la semilla de papa y las distancias de siembra en la producción de tubérculo de tamaño comercial. XX Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa. Resúmenes. p. 16
5. Cotes J., Ñustez C.E. 2001. Evaluación de dos tipos de esquejes en la producción de semilla prebásica de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk) variedad yema de huevo. *Agronomía Colombiana* 18: 7-13.
6. Delgado M. F., Cuba M., Hechenleitner P., Thiers O. 2008. Propagación vegetativa de taique (*Desfontainia spinosá*) y tepa (*Laureliopsis philippiana*) con fines ornamentales. *Bosque (Valdivia)* 29: 120-126.
7. Evers D, Schweitzer C., Nicot N., Gigliotti S., Herrera M.R, Hausman J.F, Hoffmann L., Trognitz B., Dommes J., Ghislain M. 2006. Two PR-1 loci detected in the native cultivated potato *Solanum phureja* appear differentially expressed upon challenge by late blight. *Physiological and Molecular Plant Pathology* 67: 155-163.
8. Ezeta F.N. 2001. Producción de Semilla de Papa en Latinoamérica. *Revista Latinoamericana de la Papa* 12: 1-14.
9. García D. W, Jiménez J.W., Peña A., Rodríguez J.E. 2001. Propagación vegetativa de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) mediante enraizamiento de esquejes. *Agricultura técnica México* 27: 27-33
10. Ghislain M., Andrade D., Rodríguez F., Hijmans R.J., Spooner D.M. 2006. Genetic analysis of the cultivated potato *Solanum tuberosum* L. Phureja group using RAPDs and nuclear SSRs. *Theoretical and Applied Genetics* 113: 1515-1527.
11. Giraldo L.A, Ríos H. F, Polanco M. F. 2009. Efecto de dos enraizadores en tres especies forestales promisorias para la recuperación de suelos. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 1: 41-47.
12. Giusto A.B, Da Silva E. C, De Souza-Dias J.A. 2004. Producción de minitubérculos a partir de los brotes de papa-semilla (*Solanum tuberosum* L.) en diferentes combinaciones del sustrato. *Revista Latinoamericana de la papa (Suplemento) Presentación oral* 7.

13. Hadfield J.D. 2010. MCMC Methods for Multi-Response Generalized Linear Mixed Models: The MCMCglmm R Package. *Journal of Statistical Software* 33: 1 – 22
14. Herrera C. A., Fierro L.H., Moreno J.D. 2001. Manejo Integrado del Cultivo de la Papa. CORPOICA. Bogotá. p. 199
15. Hidalgo O. A., Marca J. L., Palomino L. 1999. Producción de Tubérculos-Semillas de Papa Manual de Capacitación. Centro Internacional de la Papa (CIP). p. 18.
16. Jiménez-Terry F., Agramonte D., Pérez M., León M., Rodríguez M., De Feria M., Alvarado-Capó Y. 2010. Producción de minitubérculos de papa var. 'Desirée' en casa de cultivo con sustrato zeolita a partir de plantas cultivadas *in vitro*. *Biotecnología Vegetal* 10: 219 - 228
17. López F. J., Guío N. R., Fischer G., Lasprilla D. M. 2008. Propagación de uchuva (*Physalis peruviana* L.) mediante diferentes tipos de esquejes y sustratos). *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín* 61: 4347-4357
18. Moreno N. H., Álvarez-Herrera J. G., Balaguera-López H. E., Gerhard F. 2009. Propagación asexual de uchuva (*Physalis peruviana* L.) en diferentes sustratos y a distintos niveles de auxina. *Revista Agronomía Colombiana* 27: 341-348
19. Ramírez L. A, González E. P.; Zuluaga C. M., Cotes J. M. 2009. Evaluación de tres metodologías de rápida multiplicación de 30 accesiones de *Solanum tuberosum* L. Grupo. *phureja*. *Revista Facultad Nacional de Agronomía, Medellín* 62 (suplemento): 11-13.
20. Rodríguez González H., Hechevarría S. I. 2004. Efectos estimulantes del crecimiento de extractos acuosos de plantas medicinales y gel de *Aloe vera* (L.) N. L. *Burm. Revista Cubana Plantas Medicinales* 9: 1-7
21. Sánchez A. B., Suárez E., González M. R., Amaya Y., Colmenares C.B., 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. *Revista UDO Agrícola*. 9: 113-120.
22. Suárez I. E., Marrugo G. L., Peña M. 2008. Efecto del sustrato y tamaño del propágulo en el enraizamiento de Ginger rojo (*Alpinia purpurata*). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 2: 225-231.
23. R Development Core Team. 2012. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Austria. <http://www.R-project.org/>
24. Vargas, J. F. 2007. Implementación de un modelo de lechería especializada en el municipio de San Pedro los Milagros *Revista Facultad Nacional de Agronomía. Medellín* 60: 4213-4235.