



Efecto de las hormonas de enraizamiento en esquejes de álamo (*Populus deltoides*) bajo riego por capilaridad

Effect of the hormone of rooting in cuttings of poplar (*Populus deltoides*) under irrigation by capillary action

Luis Gustavo Quispe Chambilla

RESUMEN:

La investigación se realizó en el centro experimental de Patacamaya perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés con el objetivo de evaluar hormonas de enraizamiento naturales que poseen las hojas de sauce en esquejes de álamo propagados en camas de sub-irrigación. Se consideró seis tratamientos T1, Riego tradicional con sauce molido; T2, Riego tradicional con infusión de sauce; T3, Altura de agua de 10 cm con sauce molido; T4, Altura de agua de 10 cm con infusión de sauce; T5, Altura de agua de 20 cm con sauce y T6, Altura de agua de 20 cm con infusión de sauce. Las comparaciones estadísticas realizadas en cada variable muestran que los esquejes plantados en las camas con riego capilar llegan a tener los más altos resultados de prendimiento 37,2 %, longitud de raíz 12,3 cm y altura de planta 10,8 cm, en comparación al riego realizado de forma tradicional que logra obtener prendimiento del 7,7 %, longitud de raíz de 7,0 cm y altura de planta de 8,0 cm. Por otro lado el factor extracto mostró únicamente significancia en la variable longitud de raíz, llegando a crecer hasta 10,6 cm con el extracto de sauce molido y 8,6 cm con la infusión de sauce. Respecto a la humedad del suelo medida con el sensor de humedad Y1 – 69, las camas provistas del riego capilar llegaron a registrar mayores valores de humedad gravimétrica 28,67 y 29,97 % entre tanto la cama con riego tradicional registro 10,74 % de humedad. Los costos parciales obtenidos fueron Bs 158,9 en la cama con riego tradicional, Bs 41,4 y 47,2 en las camas con riego capilar.

PALABRAS CLAVE:

Propagación vegetativa, álamo, extracto de sauce, riego capilar.

ABSTRACT:

The research was conducted in the experimental center of Patacamaya belonging to the Faculty of Agronomy of the Universidad Mayor de San Andrés with the objective of evaluating natural rooting hormones that have willow leaves in poplar cuttings propagated in sub-irrigation beds. Six T1 treatments were considered, Traditional watering with ground willow; T2, Traditional watering with willow infusion; T3, Water height of 10 cm with ground willow; T4, Water height of 10 cm with willow infusion; T5, Height of water of 20 cm with willow and T6, Height of water of 20 cm with infusion of willow. The statistical comparisons made in each variable show that the cuttings planted in the beds with capillary irrigation have the highest yield of 37.2%, root length 12.3 cm and plant height 10.8 cm compared to the Irrigation performed in a traditional way that achieved a yield of 7.7%, root length of 7.0 cm and plant height of 8.0 cm. On the other hand, the extract factor showed only significance in the root length variable, reaching up to 10.6 cm with the ground willow extract and 8.6 cm with the willow infusion. Regarding soil moisture measured with the humidity sensor Y1 - 69, beds equipped with capillary irrigation managed to register higher values of gravimetric humidity 28.67 and 29.97%, meanwhile the bed with traditional irrigation registered 10.74% moisture. The partial costs obtained were Bs 158.9 in the bed with traditional irrigation, Bs 41.4 and 47.2 in beds with capillary irrigation.

KEY WORDS:

Vegetative propagation, poplar, willow extract, capillary irrigation.

AUTOR:

Luis Gustavo Quispe Chambilla: Facultad de Agronomía – UMSA. La Paz, Bolivia. gustav.quisp@gmail.com

Recibido: 15/02/2018. **Aprobado:** 30/03/2018.

DOI: <https://doi.org/10.53287/rdva7230hk27s>

INTRODUCCIÓN

La alternativa para multiplicar especies que presentan problemas en la propagación sexual, es la propagación vegetativa la cual permite replicar una planta madre desde una parte de ella. El álamo es una especie que logra crecer rápidamente, y posee la capacidad de reproducirse por vía vegetativa. En Bolivia esta especie es utilizada por programas de reforestación entre comunidades, en el Altiplano Sur, los álamos se pueden encontrar en plazas como decorado. En suelos bien drenados suele usarse como

barreras rompe vientos en la protección de cultivos (Villarando *et al.*, 2011).

Las fitohormonas están presentes en todas las plantas en diferentes partes y se sintetizan de forma natural en los diferentes estados fisiológicos. Estas fitohormonas son las encargadas de regular el desarrollo y crecimiento de las plantas en cada una de sus etapas de desarrollo. Para promover el arraigamiento de las plantas en la propagación vegetativa se utiliza en la mayoría de las ocasiones hormonas de enraizamiento como el ácido indolacético (IAA) que es sintetizado de forma natural por

las plantas y también es obtenido de forma sintética. Debido a la presencia de las fitohormonas en las plantas, estas pueden ser utilizadas para poder inducir al enraizamiento de cultivos forestales multiplicados por vía vegetativa.

Las restricciones que se llega tener al momento de considerar la propagación de especies forestales en el Altiplano Sur del departamento de La Paz, son las condiciones climatológicas, debido a que en las regiones que pertenecen a dicho Altiplano presenta altas y bajas temperaturas en los periodos de invierno, bajas humedades relativas en la mayor parte del año, factores que desfavorecen a la propagación de especies forestales mediante el uso métodos asexuales como lo es la propagación por medio de esquejes. Es por estas razones que el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de las hormonas de enraizamiento en de esquejes de álamo (*Populus deltoides*) bajo riego por capilaridad.

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el centro experimental de Patacamaya perteneciente a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Andrés que se encuentra en el Departamento de La Paz, provincia Aroma, Municipio de Patacamaya. Ubicado a 17° 15' 40" latitud sur y 67° 56' 37" longitud oeste con una altitud de 3798 m.s.n.m. y dista a 88 km de la ciudad de La Paz (Google Earth, 2017).

El municipio de Patacamaya registra una temperatura máxima de 21,2 °C y una mínima de -5,2 °C, con una temperatura media de 9,7 °C, la precipitación anual de la zona es de 414 mm, siendo los meses de septiembre a marzo que presentan mayor frecuencia de precipitación. El mes con mayor intensidad de precipitación es enero con 102,2 mm y la humedad relativa media en la época seca de la zona es del 45 %, incrementándose en los meses de enero, febrero y marzo a 60 % de humedad (PDM, 2012).

El experimento se desarrolló desde el 19 de diciembre del 2016 hasta el 28 de abril del 2017, es decir, tuvo una duración de 4 meses, de los cuales 1 mes fue

destinado para la construcción de la cámara de irrigación capilar y 3 meses para la plantación, desarrollo de los esquejes hasta el momento del repique en bolsas plásticas. Los materiales que fueron utilizados para realizar la investigación fueron los siguientes Esquejes de álamo, hojas de sauces que se obtuvieron de los ejemplares de álamo y sauce que posee la Estación Experimental de Patacamaya.

Cámara de irrigación capilar y cama de propagación

Se construyeron dos camas que poseían las dimensiones 3,2 m de largo, 1,1 m de ancho y 0,6 m de alto, y las dimensiones de una tercera cámara fue de 3 m de largo, 1 m de ancho y 0,6 m de alto, de las cuales dos contaban con cámaras de sub-irrigación. Se impermeabilizaron las bases de las cámaras de irrigación capilar con 3 capas de agrofíl, posteriormente se procedió a poner los estratos de piedras, grava, arena fina y el sustrato de arena y turba, formando este último la cama de propagación de esquejes (Quinteros, 2014). Las cámaras impermeabilizadas fueron provistas de alimentadores de agua construidos con tuberías y accesorios de ¾" de diámetro que atravesaban todos los estratos de las cámaras llegando hasta las bases de las cámaras de agua. El nivel de agua del interior de las cámaras se observaba mediante un medidor de agua que se acoplaba por la parte externa de las cámaras. Mediante los tubos de alimentación provistos en las camas de propagación se fue añadiendo agua cada dos semanas, la cantidad de agua aplicada era de 50 l en cada cama. La cama que poseía el riego tradicional, también se aplicaba los 50 l de agua con la ayuda de una regadera acoplada a la manguera que poseía el medidor de agua, pero este volumen fue repartido en seis aplicaciones cada dos semanas.

Sistema de circulación de agua

Las cámaras que poseían el sistema de riego capilar contaban con un sistema de circulación de agua, los cuales fueron instalados a los extremos de los tubos de alimentación de agua. Dicho sistema constituía de un conector de tanque que salía de la cámara, conectada a una bomba de agua de 0,8 watts. Este

sistema de circulación de agua se instaló a causa de la pudrición que sufrió el agua contenida en las cámaras de almacenamiento de agua. Se efectuaba la circulación del agua contenida en las cámaras de sub-irrigación dos días por semana durante media hora, para evitar que el agua suspendida se pudra y así el agua se mantenga oxigenada. Se efectuaba la circulación del agua contenida en las cámaras de sub-irrigación dos días por semana durante media hora, para evitar que el agua suspendida se pudra y así el agua se mantenga oxigenada.

Preparación de los enraizadores naturales

Se recolectaron hojas de un sauce encontrado en la Estación Experimental de Patacamaya, para obtener los extractos de las hojas de sauce se siguió dos procesos distintos en los cuales se consideró la dosis de 1 kg de hojas por 2 litros de agua. El primer proceso consistió de la molienda de las hojas de sauce, para la segunda forma se preparó una infusión con las hojas del sauce. Se esperó el tiempo de 24 horas recomendado por Quispe (2013) para hacer reposar los extractos y luego se puso a remojar los esquejes de álamo recolectados en los extractos preparados durante otras 24 horas.

Recolección de esquejes

Los esquejes fueron recolectados de árboles de álamo (*Populus deltoides*) encontrados dentro de la Estación Experimental de Patacamaya, estos fueron tomados de las copas de los álamos con la ayuda de las tijeras de podar. La longitud de corte de los esquejes fue de 15 cm, considerando que su diámetro sea como el de un lápiz. Los esquejes recolectados fueron defoliados, dejándolos con una hoja para facilitar que la planta respire y así disminuir la pérdida de agua (Mindreau *et al.* 2010). Posteriormente se introdujo los esquejes en los extractos de sauce por 24 horas en un ambiente de sombra bien ventilada.

La investigación se realizó en un diseño completamente al azar con arreglo en parcelas divididas con dos factores. Siendo el factor A la altura del tanque de sub-irrigación y el factor B la forma de extracto de las hojas de sauce.

Tabla 1. Factores considerados y sus respectivos niveles en estudio.

Factor A	Factor B
Tipo de riego	Forma de extracto
Riego tradicional	Extracto molido
Riego capilar (Altura de tanque 10 cm)	Extracto infusión
Riego capilar (Altura de tanque 20 cm)	

Fuente: Elaboración propia (2017).

Llegando a formar los tratamientos: T1, Riego tradicional con sauce molido; T2, Riego tradicional con infusión de sauce; T3, Altura de agua de 10 cm con sauce molido; T4, Altura de agua de 10 cm con infusión de sauce; T5, Altura de agua de 20 cm con sauce y T6, Altura de agua de 20 cm con infusión de sauce.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Temperatura y humedad relativa

La temperatura media con la humedad relativa que se registró durante todo el experimento se muestra en la figura 1, se puede observar que en la semana 3 se registró la temperatura de 31 °C el cual podría haber provocado un estrés hídrico en los esquejes a través de la transpiración, en las semanas posteriores se registraron temperaturas próximas a 23 °C. Morgan (2013), considera que los esquejes de tallo suave arraigarán más fácilmente si se les proporciona una temperatura de 15 a 20 °C.

Respecto a la humedad relativa de las primeras 8 semanas, se observa ver que en promedio se encontraba con 39,3 %, esto puede producir una alta tasa de transpiración en los esquejes y evaporación del agua de las camas de propagación. Las bajas humedades relativas del ambiente pudieron repercutir sobre el desarrollo de los esquejes de álamo debido a que fueron inferiores a la humedad relativa recomendada para realizar una propagación vegetativa, siendo esta del 80 % (Vásquez, 2001).

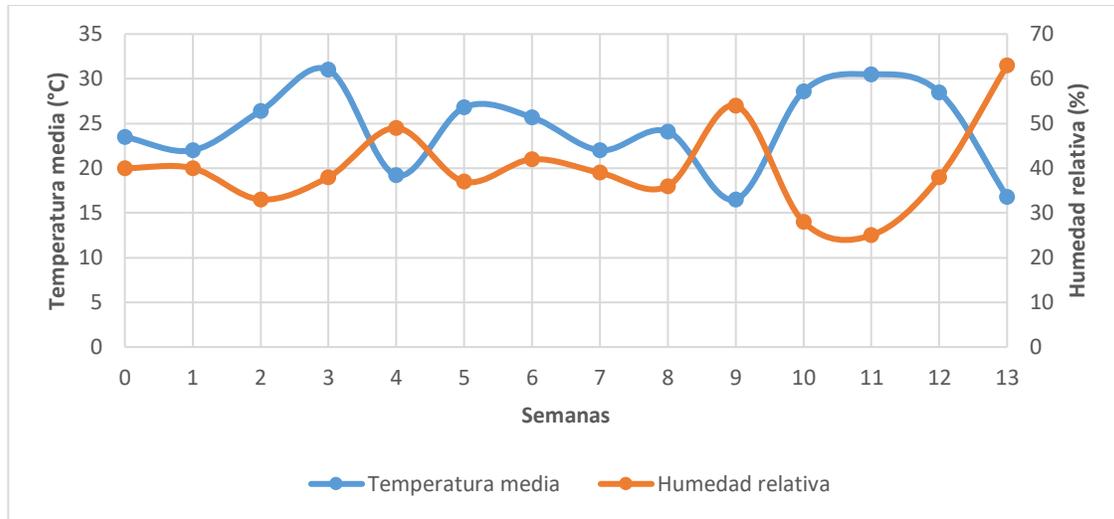


Figura 1. Comportamiento de la temperatura media y la humedad relativa en el interior de la carpa.

Fuente: Elaboración propia con base las temperaturas medias y humedad relativa registrados con el termómetro e higrómetro del Centro Experimental de Patacamaya. (2017).

Extracto de sauce

Los componentes orgánicos presentes en las hojas pueden sufrir cambios en el proceso de maceración e infusión por los cuales fueron sometidos al preparar los extractos (Tinco, 2013). Según Lima *et al.* (2010), mencionan los principales sitios de síntesis de auxinas son los tejidos meristemáticos de órganos aéreos, tales como yemas en brote, hojas jóvenes, extremos de raíz y flores o inflorescencias en crecimiento. Su concentración puede variar bastante de un tejido a otro. Sin embargo, las auxinas sintetizadas de forma natural no se acumulan en grandes cantidades y sufren una inactivación debido a factores como la oxidación.

Medina (2016), determinó que la concentración de auxinas en el extracto de sauce (*Salix chilensis*) liofilizado es de 0,0342 %, siendo bajo respecto a las concentraciones de los enraizantes químicos comerciales como Stim root 3, Rapid root, Radix ®1500 y Root-Hor que poseen auxinas como el Ácido Indol-3-Butirico en concentraciones de 0,8; 0,3; 0,15 y 0,1 % respectivamente. Algunas fitohormonas se degradan por efecto de las elevadas temperaturas (Ueguchi-Tanaka *et al.*, 2007), citado por (Cruz *et al.*, 2010).

Humedad del sustrato

Los valores registrados por el sensor de humedad de suelo Y1 – 69 se muestra en la figura 2, los comportamientos de las humedades gravimétricas de las camas de propagación con riego capilar de 10 cm y 20 cm de altura se encuentran entre 35,8 y 20,5 %, esto debido a que las mencionadas camas poseen las cámaras que sub-irrigación, donde el agua está suspendida entre la base de las camas de propagación y los estratos del sustrato de forma que el agua asciende hacia la superficie del sustrato por efecto de la capilaridad. Además, el sustrato poseía 50 % de arena lo que le da mayor porosidad evitando así el ascenso rápido del agua hacia la superficie y posteriormente su evaporación.

La altura de la cámara de sub-irrigación no muestra diferencia significativa en la humedad del sustrato. Sugiere que el agua que asciende por capilaridad hacia las raíces de los esquejes tiene relación directa con agua almacenada y no así con las dimensiones que posee la cámara de sub-irrigación donde se suspende el agua. La cama con riego tradicional presenta valores de humedad gravimétrica de 3,2 a 16,6 %, valores relativamente bajos que pudo afectar en el crecimiento de los esquejes de álamo, igualmente pudo tener repercusiones en el porcentaje de prendimiento, número de raíces y longitud de raíz.

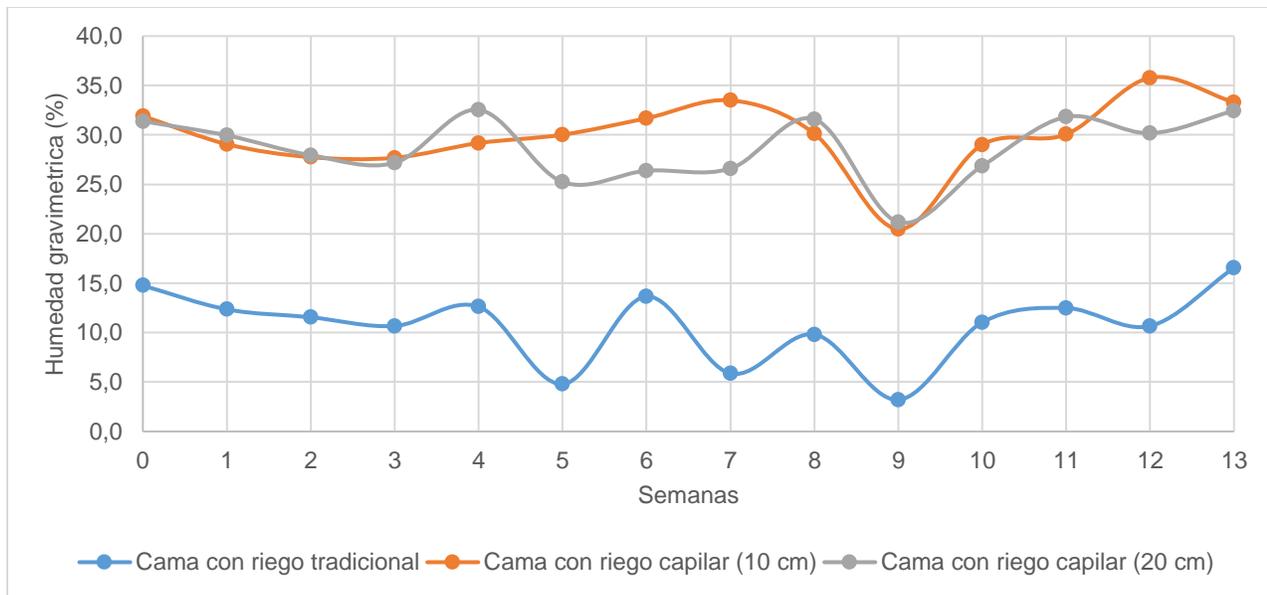


Figura 2. Comparación de las humedades gravimétricas de los sustratos en las camas de propagación.

Fuente: Elaboración propia con base a los valores transformados de la lectura de humedad de suelo del sensor de humedad de suelo Y1 – 69 (2017).

Porcentaje de prendimiento

El análisis de varianza de la variable porcentaje de prendimiento se ve en el cuadro 2, se obtuvo para el factor extracto y la interacción resultados no significativos, indicando que el modo de preparar el extracto de sauce no tiene efecto sobre el prendimiento de las estacas de álamo, así como también la interacción entre forma de riego y la forma de procesar las hojas de sauce. Por otro lado, se presentó un resultado altamente significativo para el factor riego, el cual implica que la forma de riego tiene efecto directo sobre el prendimiento de los esquejes de álamo, es decir, la forma en la cual es aplicado el riego presenta efectos sobre el prendimiento de los esquejes de álamo.

El riego tradicional obtuvo el menor porcentaje de prendimiento 7,7 % y los riegos capilares lograron tener los porcentajes de prendimiento promedio iguales para el comparador Duncan con los esquejes de álamo 37,2 % y 30,1 % superior respecto al riego tradicional como se ve en la tabla 3.

En trabajos realizados en cámaras de sub-irrigación por Quinteros (2014) con esquejes de queñua (*Polilepis besseri* y *P. tarapacana*) bajo condiciones

similares del sustrato utilizado en la proporción de 50 % turba y 50 % arena, y, Miranda (2016) con esquejes de eucalipto (*Eucalyptus viminalis*) sometidos en agua de coco como enraizador natural, lograron obtener un porcentaje de prendimiento promedio del 24,5 % y 24,75 % respectivamente. Los anteriores resultados mencionados sugieren que la causa del bajo porcentaje de prendimiento de los esquejes de álamo podría ser a causa del exceso de agua en las cámaras de sub-irrigación y una falta de drenaje en el sustrato.

Número de raíces

El análisis de varianza del número de raíces no presentó significancia en los resultados de los factores de riego, extracto y en la interacción de los mismos, como se ve en el cuadro 4, por lo tanto el número de raíces promedio que lograron desarrollar los esquejes de álamo son estadísticamente iguales, por lo tanto la forma de preparar los extractos de sauce y la forma en que se provee en agua a las camas de propagación a los esquejes de álamo no muestra resultados que se logren diferenciarse entre sí. (ver tabla 4)

Al concluir el experimento los esquejes de álamo lograron desarrollar en promedio 7,6 raíces por

esqueje, estudio realizado por Gutiérrez (2013) con ligustro utilizando extracto de sauce logró obtener 3 raíces por esqueje. Así mismo, esquejes de verónica tratados con extracto de sauce desarrollaron 7,8 raíces.

Longitud de raíz

La longitud de raíz obtuvo el resultado altamente significativo para el factor riego como se ve en el cuadro 5, el cual indica que la forma de proveer de agua a lo esquejes de álamo tiene relación directa sobre el crecimiento de las raíces. Entre tanto el factor extracto también posee el resultado significativo, es decir que la forma de preparación de los extractos presentan efectos sobre el crecimiento de las raíces, por lo tanto realizar un tratamiento de molido o infusión a las hojas de sauce logra obtener efector

diferenciados sobre el tamaño de las raíces de los esquejes de álamo. Por último, el resultado para los tratamientos no presentó significancia, por lo que la interacción entre el tipo de riego y la forma de preparación del extracto de sauce no llegó a mostrar diferencias sobre el tamaño de las raíces de los esquejes de álamo. (ver tabla 5)

La figura 3, muestra que la cama de propagación que poseía la altura de 10 cm en la cámara de agua de riego capilar obtuvo la mayor longitud de raíz con 12,3 cm como promedio, seguido de la cama de 20 cm que logró que los esquejes de álamo tengan la raíz de 9,6 cm de largo y en la cama que fue regada de forma tradicional los esquejes desarrollaron las raíces de menor tamaño 7,0 cm en promedio.

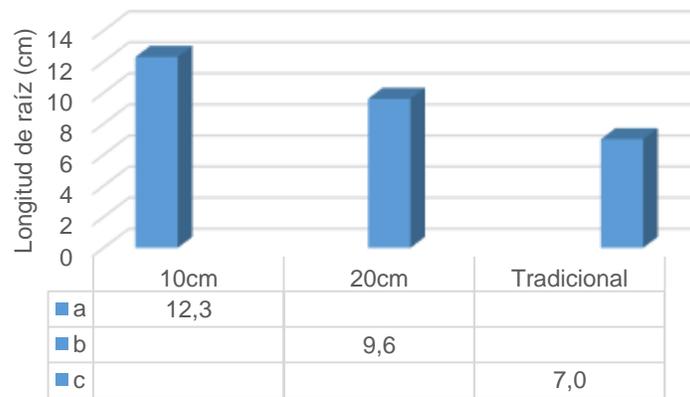


Figura 3. Promedio de la longitud de raíces alcanzada para el factor riego.

El tamaño de las raíces de los esquejes de álamo sometidos a los extractos de sauce, fueron afectados por la forma de procesar las hojas de sauce para obtener dichos extractos. El cuadro 6, muestra la respectiva comparación de Duncan realizada para el factor extracto donde se observa, que la molienda de las hojas de sauce, ejercieron mayor efecto sobre los esquejes de álamo logrando obtener las raíces más grandes 10,6 cm en promedio, en cambio el extracto obtenido realizando la infusión de las hojas de sauce llegaron a medir en promedio 8,6 cm de longitud. (ver tabla 6)

Quispe (2013), logró obtener raíces con longitud de 10,25 cm en esquejes de queñua tratadas con extracto de sauce molido. La obtención del extracto de sauce

mediante una infusión podría haber destruido algunas fitohormonas termolábiles presentes en las hojas que afectaron en la elongación de las raíces.

Altura de planta

El factor riego posee el resultado altamente significativo que es mostrado en el cuadro 7, es decir que la altura de planta alcanzada al concluir el ensayo, fue influido por los tipos de riego con los cuales fueron provistos. Por otro lado, los resultados muestran ser no significativos en el factor extracto y la interacción. Esto indican que la forma de preparación de los extractos de sauce, no presentan efectos estadísticamente diferentes, sobre la altura de los esquejes de álamo que se logró obtener, de la

misma forma la interacción del tipo de riego y la forma de preparación del extracto no tuvo resultados que se diferencien entre sí para la altura que alcanzaron los esquejes. (ver tabla 7)

La tabla 9, muestra el resultado del comparador Duncan obtenido para el factor riego de la variable altura de planta, el cual indica que las camas de propagación que se trató con alturas de 10 cm y 20 cm lograron obtener alturas estadísticamente iguales siendo las alturas alcanzadas de 10,1 cm y 10,8 cm respectivamente. El tipo de riego tradicional posee el menor valor del comparador Duncan por lo tanto los esquejes que fueron provistos con el riego tradicional tuvieron menor crecimiento logrando obtener 8,0 cm de altura promedio.

Investigaciones consideradas con tres especies de álamo *Populus nigra*, *P. alba* y *P. balsamífera* por

Cañaviri (2007), lograron alcanzar a registrar alturas promedio de 17,1 cm siendo tratadas con enraizadores químicos, esto sugiere que el desarrollo de los esquejes de álamo tuvo un óptimo crecimiento al ser tratadas con extractos de enraizado naturales.

El seguimiento del crecimiento que tuvieron los esquejes de álamo durante las 13 semanas que duró el experimento se observa en la figura 4, donde se ve que los tratamientos T3, T4, T5 y T6 presentan curvas de crecimiento por encima de los tratamientos T1 y T2 a partir de la cuarta semana de desarrollo. Es decir, que las camas de propagación con irrigación capilar mostraron los efectos sobre el crecimiento de los esquejes en el primer mes después de la plantación de los esquejes.

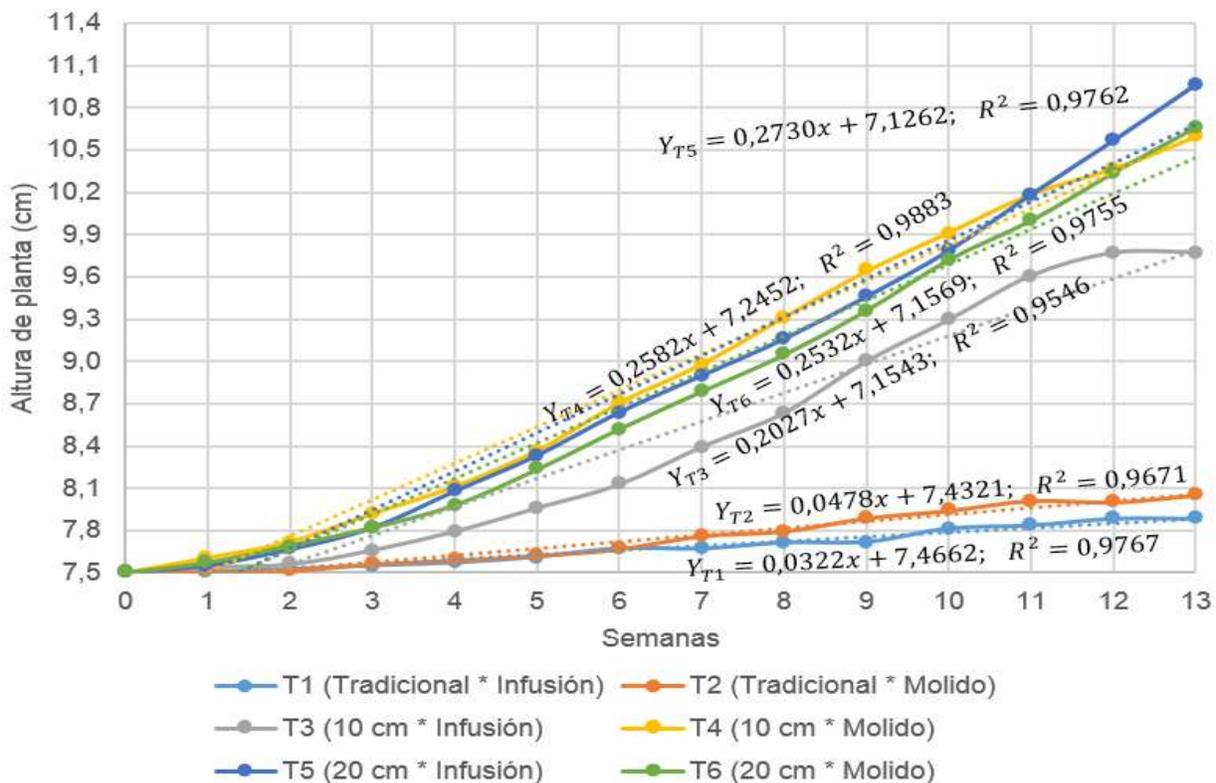


Figura 4. Curvas de crecimiento de los esquejes de álamo.

Realizando un ajuste de correlación y regresión con la altura de planta respecto a las semanas de desarrollo se tiene que el comportamiento del crecimiento de los esquejes de álamo tiene una alta correlación entre las

semanas de desarrollo con la altura de crecimiento de los esquejes en estudio, llegando a tener valores de correlación iguales o superiores a 0,95 mostrando con

este resultado, que el crecimiento de los álamos puede ser representado por una ecuación de regresión lineal.

En las ecuaciones de regresión de los tratamientos 1 y 2 muestran una tasa de crecimiento del 0,0322 y 0,0478 cm semana⁻¹ de desarrollo respectivamente, esto muestra que los esquejes de álamos que pertenecieron a estos tratamientos crecían a razón de menos de 1 mm semana⁻¹, como se nota en la figura 4. También se puede observar que los esquejes que fueron tratados en los tratamientos 3 y 4 mostraron tener tasas de crecimiento similares a los tratamientos 5 y 6.

Las razones de crecimiento que presentaron tener los esquejes de álamo observados en los tratamientos 3, 4, 5 y 6 en relación a las semanas de desarrollo, son superiores respecto a los tratamientos 1 y 2. Los esquejes de dichos tratamientos presentan crecimientos por semana similar o superior a 2 mm, se puede ver que en este grupo de tratamientos los que obtuvieron la mayor tasa de crecimiento son los esquejes del tratamiento 5 con 0,2730 cm semana⁻¹ y el tratamiento con el menor crecimiento semanal fue el tratamiento 3 con 0,2027 cm semana⁻¹. Los tratamientos 4 y 6 mostraron crecer 0,2582 y 0,2532 cm semana⁻¹ respectivamente.

Número de hojas

En el cuadro 9, se observa el resultado significativo para el factor riego, lo que indica que la cantidad de hojas que lograron formar los esquejes de álamo al terminar la investigación fue directamente influenciada por la forma de suministrar el agua a las camas de propagación, en cambio los valores de p para el factor extracto y la interacción son no significativos por lo que sugiere que las distintas formas de preparar los extractos no logran mostrar resultados diferentes entre sí. (ver tabla 9)

Realizando un análisis más detallado en el factor riego con una comparación Duncan se logra ver en la tabla 10, que los esquejes que fueron tratadas en la cama de propagación con una altura de 20 cm, lograron alcanzar el mayor número de hojas por esqueje, en promedio lograron formar 8,3 hojas por

esqueje. El trabajo realizado por Lucana (2014) con Álamo (*Populus balsamífera*) logro desarrollar 3,25 hojas en sustrato compuesto de turba, arena fina y tierra.

Costos parciales de producción

La tabla 11, muestra los costos de producción parciales que tuvo el proceso de propagación. La cama de propagación que constaba del riego tradicional posee el menor costo con 3304 Bs, y las camas provistas con el sistema de sub-irrigación de 10 cm y 20 cm de altura llegaron a costar 4155 Bs y 4264 Bs respectivamente, esto implicaría que la altura de 20 cm que tuvo la tercera cama de propagación incrementa su costo de producción respectivo por considerar incrementar su volumen.

Tabla 11. Costos de producción por camas de propagación.

Tratamiento	Costos de producción (Bs)
Riego tradicional	3304
Altura de 10 cm	4155
Altura de 20 cm	4264

Fuente: Elaboración propia (2017).

La tabla 12 muestra los costos unitarios que alcanzaron a tener cada esqueje de álamo enraizado al finalizar el experimento. El costo unitario o costo promedio resulta de la división del costo total entre el número de unidades producidas (Samuelson y Nordhaus, 2010).

Tabla 12. Costo de producción unitario de los esquejes de álamo.

Tratamiento	Costos unitario (Bs)
Riego tradicional	158,9
Altura de 10 cm	41,4
Altura de 20 cm	47,2

Fuente: Elaboración propia (2017).

Se puede ver que los esquejes propagados en la cama con riego tradicional obtuvieron el más elevado costo 158,9 Bs por esqueje debido a su bajo porcentaje de prendimiento del 7,7 %, mientras tanto los esquejes propagados en las camas que contaban en el sistema de riego capilar llegaron a costar 41,4 Bs y 47,2 Bs

por esqueje. Siendo los esquejes de la cama de propagación que contaba con un tanque de sub-irrigación de 10 cm el que tuvo el menor costo por esqueje

CONCLUSIONES

Las diferentes formas de obtener los extractos de sauce no obtienen efectos diferentes sobre el prendimiento de los esquejes de álamo. Sin embargo, el proveer agua en cámaras de sub-irrigación con alturas de 10 cm y 20 cm logran conseguir mayores esquejes enraizados de álamo respecto al riego tradicional.

Se logra un mejor arraigamiento de los esquejes de álamo con extractos de sauce que no sufren un tratamiento térmico previo.

El riego capilar logra expresar mayores tasas de crecimiento 2 mm semana^{-1} en los esquejes de álamo, frente al riego tradicional $0,03 \text{ mm semana}^{-1}$.

El agua de riego aplicado en camas que cuentan con sistema de riego capilar demora en evaporarse, por tanto los cultivos puestos en estas camas siempre contarán con una buena humedad para su desarrollo, salvo que se llegue a sobresaturar el sustrato.

La altura del tanque de almacenamiento de agua en las cámaras de propagación con riego capilar puede ser diseñada de menor tamaño 10 cm de altura, solo se debe de considerar el volumen de agua que vaya a introducirse en dicho tanque.

Los costos unitarios de producción de los plantines de álamo obtenidos en las camas con riego capilar son menores Bs 44,3 respecto a los del riego tradicional 158,9. Sin embargo estos costos son elevados frente al precio comercial ofertados en Bs 5 a plantines de álamo de 25 cm de altura y Bs 8 a plantines que cuentan con 45 cm de altura.

La forma de riego suministrada a los esquejes de álamo llega a repercutir en los costos de producción, debido a que los plantines tratados con el sistema de irrigación capilar poseen tasas de crecimiento promedio de 2 mm semana^{-1} , esto podría significar el

incremento el beneficio al lograr obtener plantines de mayor tamaño.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cañaviri, E. (2007). *Reproducción mediante estacas de tres especies de álamo (Populus spp.) con tres tipos de fitohormonas en Araca – provincia Loayza*. Tesis de grado para optar el cargo en licenciado de ingeniería agronómica. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de agronomía. 86 p.
- Cruz, M., Melgarejo, L., Romero, M. (2010). *Experimentos en fisiología vegetal*. Universidad Nacional de Colombia. Colombia.
- Gutiérrez, M. (2013). *Evaluación del efecto de dos enraizadores naturales en la propagación asexual de esquejes de ligustro verde (Ligustrum lucidum) para la producción de plantines en Cota Cota*. Tesis de grado para optar el cargo en licenciado de ingeniería agronómica. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de agronomía. 93 p.
- Lima, E., De Souza, G., Dos Santos, A., Dos Santos, J. (2010). *Manual de fisiología vegetal*. Editorial EDUFMA. Sao Luis.
- Lucana, M. (2014). *Producción de plantines de álamo (Populus balsamífera L.) a partir de estacas en distintos sustratos en un ambiente controlado, en la comunidad de Huancané – Departamento de La Paz*. Tesis de grado para optar el cargo en licenciado de ingeniería agronómica. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de agronomía. 77 p.
- Medina, Y. (2016). *Evaluación de sustancias endógenas promotoras del enraizamiento presentes en Salix Chilensis Molina mediante bioensayos en Vigna radiata (L.) R. Wilczek y Rubus ulmifolius Schott*. Tesis de grado para

- optar el título profesional de biólogo. Arequipa – Perú. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa. Facultad de Ciencias Biológicas. 63 p.
- Mindreau, M., Zúñiga, C. (2010). *Manual de forestaría comunitaria de alta montaña*.
- Miranda, L. (2016). *Propagación asexual del eucalipto (Eucalyptus viminalis) con enraizador natural (agua de coco), en la cámara de sub-irrigación en el centro experimental de Cota Cota*. Tesis de grado para optar el cargo en licenciado de ingeniería agronómica. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de agronomía. 92 p.
- Morgan, N. (2013). *Improve rooting in cuttings by choosing the best material and providing the right conditions. The Garden*. Abril. Consultado el 5 de nov. 2017. Disponible en <https://www.rhs.org.uk/about-the-rhs/publications/magazines/the-garden/2013-issues/april/Successful-cuttings.pdf>
- PDM de Patacamaya. (2012). *Estrategia municipal consolidado ajuste plan de desarrollo municipal. Patacamaya 2012 – 2016*.
- Quinteros, I. (2014). *Enraizamiento de dos especies de queñua (Polylepis tarapacana y Polylepis besseri Hieron.) en cuatro sustratos, bajo ambiente protegido*. Tesis de grado para optar el cargo en licenciado de ingeniería agronómica. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de agronomía. 91 p.
- Quispe, M. (2013). *Propagación vegetativa de esquejes de queñua (Polylepis besseri Hieron) en base a la aplicación de dos enraizadores naturales y tres tipos de sustratos en el vivero de la comunidad de Huancané*. Tesis de grado para optar el cargo en licenciado de ingeniería agronómica. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de agronomía. 117 p.
- Samuelson, P., Nordhaus, W. (2010). *Economía con aplicación a Latinoamérica*. 19^{na} Edición. McGraw-Hill interamericana. México.
- Tinco, E. (2013). *Evaluación de tres tipos de esquejes de verónica (Hebe x andersonii) bajo el efecto de dos enraizadores naturales para la producción de plantines en Cota Cota*. Tesis de grado para optar el cargo en licenciado de ingeniería agronómica. La Paz – Bolivia. Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de agronomía. 75 p.
- Villarando, D., Villarando, P., Villalobos, J. (2011). *Fichas botánicas de especies agroforestales nativas aptas para tierras Altoandinas. Proyecto de adaptación al impacto del retroceso acelerado de los glaciares en los Andes tropicales. Bolivia*.
- Vásquez, A. (2001). *Silvicultura de plantaciones forestales en Colombia*. Facultad de Ingeniería forestal. Universidad Del Tolima. Ibagué – Tolima.

ANEXOS

Tabla 2. Análisis de varianza para el porcentaje de prendimiento.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Riego	0,48	2	0,24	19,53	0,0024 **
Error (Riego)	0,07	6	0,01		
Extracto	0,01	1	0,01	0,92	0,3735 NS
Riego*Extracto	0,01	2	0,01	0,53	0,6125 NS
Error	0,07	6	0,01		
Total	0,65	17			

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 3. Prueba de Duncan del porcentaje de prendimiento para el factor riego.

Tratamiento	Promedio (%)	Desviación estándar	Duncan $\alpha = 0,05$
10 cm	37,2	12,13	a
20 cm	30,1	10,30	a
Tradicional	7,7	3,15	b

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 4. Análisis de varianza del número de raíces.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Riego	0,36	2	0,18	1,27	0,3473 NS
Error (Riego)	0,09	6	0,01		
Extracto	0,10	1	0,10	0,69	0,4394 NS
Riego*Extracto	0,02	2	0,01	0,08	0,9217 NS
Error	0,86	6	0,14		
Total	1,43	17			

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 5. Análisis de varianza de la longitud de raíz.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Riego	84,81	2	42,41	27,81	0,0009 **
Error (Riego)	8,69	6	1,45		
Extracto	17,41	1	17,41	11,41	0,01490 *
Riego*Extracto	9,99	2	5,00	3,28	0,1093 NS
Error	9,15	6	1,53		
Total	130,05	17			

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 6. Prueba Duncan para la longitud de raíz del factor extracto.

Tratamiento	Promedio (cm)	Desviación estándar	Duncan $\alpha = 0,05$
Molido	10,6	1,86	a
Infusión	8,6	3,25	b

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 7. Análisis de varianza de la altura de planta.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Riego	25,48	2	12,74	40,23	0,0003 **
Error (Riego)	1,28	6	0,21		
Extracto	0,32	1	0,32	1,01	0,3536 NS
Riego*Extracto	1,08	2	0,54	1,71	0,2592 NS
Error	1,90	6	0,32		
Total	30,06	17			

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 8. Prueba Duncan para la altura de planta para el factor riego.

Tratamiento	Promedio (cm)	Desviación estándar	Duncan $\alpha = 0,05$
20 cm	10,8	0,32	a
10 cm	10,1	0,87	a
Tradicional	8,0	0,25	b

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 9. Análisis de varianza del número de hojas

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Riego	0,72	2	0,36	5,36	0,0461 *
Error (Riego)	0,45	6	0,07		
Extracto	0,01	1	0,01	0,16	0,6999 NS
Riego*Extracto	0,18	2	0,09	1,35	0,3273 NS
Error	0,4	6	0,07		
Total	1,77	17			

Fuente: Elaboración propia (2017).

Tabla 10. Prueba Duncan del número de hojas para el factor extracto.

Tratamiento	Promedio	Desviación estándar	Duncan $\alpha = 0,05$
20 cm	8,3	1,56	a
10 cm	7,4	1,17	a b
Tradicional	5,8	1,37	b

Fuente: Elaboración propia (2017)