

EVALUACIÓN DEL TIPO DE CONTENEDOR PARA LA ACLIMATACIÓN EN INVERNADERO DE PLÁNTULAS DE YUCA PROPAGADAS *IN VITRO*

Evaluation of the type of container for greenhouse acclimatization of *in vitro* propagated cassava seedlings

Eberto Rodríguez-Henao¹, Lina Vanessa Garavito-Morales², Carol Liliana Puentes-Díaz³, Yanine Rozo-Leguizamón⁴, Germán Andrés Aguilera-Arango⁵

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta*) es una especie fundamental para la alimentación humana y animal a nivel mundial. En el año 2020, se reportó la siembra de 205 034.88 hectáreas en Colombia, ubicándose en el tercer puesto de producción en Latinoamérica. La propagación vegetativa de la yuca implica riesgos en la diseminación de problemas fitosanitarios. Para garantizar la sanidad del material de siembra inicial, la propagación debe realizarse con plantas indexadas a partir de plántulas propagadas *in vitro*. Las vitro plántulas presentan dificultades en la etapa de aclimatación al someterlas a un proceso de transición de las condiciones *in vitro* a *ex vitro*. Con el objetivo de facilitar el proceso de aclimatación, se evaluó el porcentaje de endurecimiento de dos variedades de yuca en tres tipos de contenedores en el Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA, ubicado en Palmira, Valle del Cauca, Colombia, usando bolsas plásticas con cierre hermético para simular las condiciones de una cámara climática y usando como sustrato una mezcla de suelo y arena en proporción 3:2. Los resultados permitieron identificar a través de un análisis de varianza en un diseño completamente al azar, que entre las variedades evaluadas no se presentaron diferencias estadísticas en el porcentaje de endurecimiento con valores de 66.67 y 70.00 %, pero si entre los tipos de contenedores, siendo la bolsa de polietileno el de mejor resultado con un porcentaje promedio de endurecimiento de 75 %, seguido del vaso de poliestireno con 70 % y por último la bandeja de germinación de polietileno con 60 %. Se concluye que, con las condiciones trabajadas en esta investigación y el uso de bolsa de polietileno, es posible aclimatar vitro plantas de yuca.

Palabras clave: contenedores, aclimatación, Corpoica Cumbre 3, Corpoica La Francesa, *ex vitro*, *Manihot esculenta*.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta*) is a fundamental species for human and animal nutrition worldwide. In 2020, the planting of 205 034.88 hectares was reported in Colombia, ranking third in production in Latin America. The vegetative propagation of cassava implies risks in the dissemination of phytosanitary problems. To ensure the health of the initial planting material, propagation must be done with indexed plants from *in vitro* propagated seedlings. Vitro seedlings present difficulties in the acclimatization stage by subjecting them to a process of transition from *in vitro* to *ex vitro* conditions. To facilitate the acclimatization process, the hardening percentage of two cassava varieties in three types of containers was evaluated at AGROSAVIA's Palmira Research Center, in Palmira, Valle del Cauca, Colombia, using plastic bags with hermetic closure to simulate the conditions of a climatic chamber and using a mixture of soil and sand in a 3:2 ratio as a substrate. The results allowed to identify through an analysis of variance for a completely random design, that between the evaluated varieties there were no statistical differences in the percentage of hardening with values of 66.67 and 70.00 %, and between the types of containers if differences were presented, being the polyethylene bag the one with the best result with an average hardening percentage of 75 %, followed by the polystyrene cup with 70 % and finally the polyethylene germination tray with 60 %. It is concluded that, with the conditions worked in this research and the use of a polyethylene bag, it is possible to acclimatize cassava plants *in vitro*.

Keywords: containers, Acclimatization, Corpoica Cumbre 3, Corpoica La Francesa, *ex vitro*, *Manihot esculenta*.

¹ Investigador máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5795-8864>. erodriguezh@agrosavia.co

² Profesional de apoyo a la investigación, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5178-6590>. lgaravito@agrosavia.co

³ Profesional de apoyo a la investigación, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0866-304X>. cpuentes@agrosavia.co

⁴ Investigador máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5795-8864>. yrozo@agrosavia.co

⁵ Investigador máster asociado, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3942-4658>. gaguilera@agrosavia.co

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es originaria de la cuenca Amazónica, pertenece a la familia Euphorbiaceae, siendo la única especie cultivada del género *Manihot* con relevancia económica (Aristizabal et al., 2007). La yuca es el tercer cultivo alimenticio más importante en los trópicos, después del arroz y el maíz, cultivado principalmente por pequeños agricultores por su tolerancia a la sequía y los suelos infértiles, además por ser un cultivo intrínsecamente ecoeficiente, ofreciendo una fuente confiable de alimentos e ingresos (CIAT, 2019).

A nivel mundial, la producción de este cultivo está alrededor de 302 662 494 t en un área total de 28 243 258 ha, siendo África el mayor productor con una participación del 56.5 %, seguido de Asia (29.7 %) y América (13.7 %) (FAO, 2020). En Latinoamérica, Colombia es el tercer productor, siendo la yuca el quinto producto agrícola que más se cultiva (Parra, 2020), principalmente en la región de la Costa Atlántica, los Llanos orientales y el departamento del Cauca (Canales y Trujillo, 2021), con un promedio de producción total de 2 412 140.88 t en un área total de 205 034.88 ha con un rendimiento promedio de 11.76 t ha⁻¹ (AGRONET, 2020).

En Colombia, la yuca es un cultivo ancestral y de tradición alimentaria, desempeñando un papel muy importante en la agricultura de subsistencia entre las comunidades campesinas e indígenas (Becerra et al., 2020). Este cultivo se caracteriza por su gran diversidad de usos, sin embargo, en Colombia se cultiva para el consumo en fresco de sus raíces y el procesamiento industrial a partir de su almidón (Ospina y Ceballos, 2002).

En el departamento del Cauca, principalmente en los municipios del norte, dicho almidón se fermenta para la obtención de un almidón agrio, del cual cerca del 80 % de su producción es empleado para la elaboración de productos industriales (Hernández, 2019; Becerra et al., 2020). Sin embargo, los cultivares regionales presentan bajos rendimientos y no se alcanza a satisfacer la demanda de este producto; por lo tanto, AGROSAVIA, con la cooperación del Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, desarrollaron a través de un programa de mejoramiento, dos nuevas variedades de yuca, denominadas Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa, que se destacan por presentar mayor rendimiento y valor industrial, las cuales

constituyen una gran oportunidad para la población rural del Cauca, mejorando la productividad y la calidad de sus productos (Rodríguez-Henao et al., 2016).

La planta de yuca se propaga asexualmente a partir de estacas o esquejes del tallo, las cuales deben contar con atributos de calidad que garanticen una buena producción y sanidad del cultivo (Aguilar et al., 2017; Ospina y Ceballos, 2002). El sistema productivo de yuca puede ser afectado por agentes sanitarios tales como virus, viroides, fitoplasmas, bacterias y hongos, que suelen transmitirse fácilmente al material de propagación (estacas), disminuyendo posteriormente el rendimiento y calidad de este (Ospina y Ceballos, 2002).

En Colombia, el Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país por medio de la Resolución No. 003168 del 07 de septiembre de 2015 (ICA, 2015), para lo cual se debe iniciar la propagación de la semilla vegetativa a partir del material inicial de siembra indexado o saneado, posible a partir de plántulas *in vitro* que garantizan la calidad sanitaria, genética, física, y fisiológica. Por lo cual obtener semilla con estas características de calidad ha sido uno de los principales retos en este sistema productivo.

La micropropagación o propagación *in vitro* ha sido la técnica de producción de semilla asexual de yuca que permite producir masivamente material libre de plagas y enfermedades, además garantiza los atributos genéticos, físicos y fisiológicos de la misma (Aguilar et al., 2017). Posterior a la producción de *in vitro* plantas en laboratorio, la fase de aclimatación o endurecimiento suele ser la etapa más delicada del proceso de obtención de plantas a través de la propagación *in vitro*, ya que éstas se someten a una transición gradual del ambiente *in vitro* al ambiente *ex vitro*, experimentando estrés debido a los cambios en la humedad relativa, aumento de la intensidad lumínica, crecimiento autótrofo y ambiente séptico (Villanueva et al., 2022), donde se pueden tener pérdidas hasta del 95 % de las *in vitro* plántulas (Gómez-Bonilla et al., 2022).

De acuerdo con lo anterior, se requiere generar un sistema eficiente de la aclimatación, ya que es un factor importante en el proceso de producción de plantas de yuca a través de micropropagación. Por lo

tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar la eficiencia de diferentes contenedores que contribuyan a mejorar el proceso de endurecimiento o aclimatación en invernadero de plántulas de yuca propagadas *in vitro*.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

La investigación fue desarrollada en un invernadero del Centro de Investigación Palmira de AGROSAVIA, ubicado en la ciudad de Palmira, departamento del Valle del Cauca, Colombia, con coordenadas geográficas 3° 30' 54.21" Norte y 76° 18' 55.79" Oeste a una altitud de 1 001 m s.n.m., temperatura media anual de 23.4 °C y precipitación anual de 1 050 mm.

El estudio se desarrolló entre los meses de febrero y marzo del año 2022, donde se registró en el área de estudio una temperatura promedio de 25.6 °C, con un máximo de 42.8 °C y mínimo de 18.9 °C y humedad relativa promedio de 74.7 %, con un máximo de 99.5 % y mínimo de 22.3 %. La variación de estas variables entre el día y la noche se presentó entre 42.8 y 18.9 °C en el día con un valor promedio de 28.7; y en la noche fluctúa entre 19.1 y 32.2 °C, con un promedio de 22.74 °C; la humedad relativa diurna fluctuó entre valores extremos de 99.5 y 22.3 % con un promedio de 63.96 %, y el registro nocturno presentó una variación entre 98.5 y 49.3 % con un valor promedio de 84.91 %.

Metodología

Material vegetal

Se seleccionaron vitro plántulas de las variedades Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa de tres meses de edad, las cuales fueron micropropagadas en el Laboratorio de Producción Vegetal de Agrosavia - Centro de Investigación Palmira, de acuerdo con la metodología descrita por Aguilera-Arango et al. (2021). Los atributos que se tuvieron en cuenta para la selección de las plántulas correspondieron a desarrollo, vigor, color y longitud de raíces. Las vitro plántulas se ubicaron separadamente durante dos días en una superficie plana y fresca con entrada de luz indirecta del sol, con el fin de generar el proceso de aclimatación de las plántulas al nuevo sitio. Posteriormente, se realizó una segunda preselección de las vitro plántulas con la finalidad de escoger aquellas por homogeneidad en su desarrollo para el montaje del ensayo.

Tratamientos

Las vitro plántulas se trasplantaron en contenedores, seleccionados por su facilidad de consecución y su uso reconocido para el proceso de propagación de material de siembra en viveros. Se usaron tres tipos de contenedores: 1) bolsas para vivero de polietileno calibre 2 de color negro de 7 cm de ancho por 14 cm de alto con seis perforaciones laterales en el tercio final de la bolsa, con capacidad de 539 cm³; 2) vasos de poliestireno expandido de color blanco de 8.9 cm de diámetro por 12.3 cm de alto y capacidad de 355 cm³; 3) bandejas de germinación en polietileno de 12 cm de alto y 7 cm de ancho de forma cónica.

Condiciones del ensayo

Desinfección del área de trabajo: para garantizar un área libre de patógenos que pudieran afectar el proceso de endurecimiento de las vitro plántulas, se realizó la desinfección con hipoclorito de sodio (NaClO) al 5 % a todo el lugar de trabajo, recipientes, herramientas e instalaciones del invernadero.

Preparación de sustrato: para la preparación del sustrato, se utilizó suelo (tamizado, el cual se tomó de la capa arable o primer horizonte) y arena (gruesa, lavada y tamizada) con el fin de proveer a las plántulas buena aireación y drenaje. Se realizó el lavado de arena con agua a presión hasta eliminar las impurezas y se sometió a exposición solar por un día.

Desinfección del sustrato: al día siguiente, se realizó la esterilización del suelo y arena, cada uno por separado, en autoclave por 45 minutos a 121 °C y 18 psi, posteriormente, se extendieron en un plástico limpio previamente desinfectado y se dejaron 24 horas a temperatura ambiente para enfriarse y proceder con su uso. Se procedió a realizar la mezcla homogénea del sustrato compuesto por suelo y arena en una relación 3:2 (3 partes de suelo y 2 partes de arena) en carretillas desinfectadas, con el fin de realizar el llenado de los contenedores.

Preparación para siembra: para la siembra de las vitro plántulas, se incorporó el sustrato hasta llenar $\frac{3}{4}$ del volumen de cada contenedor, comprimiendo fuertemente hasta obtener un sustrato compacto para estimular la producción y desarrollo de las raíces. Posteriormente, se aplicó 10 cm³ de solución desinfectante por medio de un aplicador tipo rocío a cada uno de los recipientes, compuesta por 1.5 g de

un fungicida protectante multisitio para aplicación al suelo en semilleros y presiembra (p. ej. Orthocide®), y 1.5 g de un fertilizante soluble con un adecuado contenido de fósforo para la edad de las plántulas, utilizado principalmente para riego (p. ej., con fórmula 10-52-10 NPK) por cada litro de agua destilada, con el fin desinfectar y humedecer el sustrato.

Trasplante de vitro plántulas: la plántula se extrajo del recipiente de vidrio con cuidado de no dañar las raicillas y se depositó en una cubeta con agua destilada estéril previo a la siembra, para evitar su deshidratación. Con el objetivo de evitar la proliferación de patógenos en las raicillas, se retiró completamente el medio de cultivo con agua destilada. El trasplante se realizó a partir de las 16:00 horas, con el fin de evitar la deshidratación de las plántulas por las condiciones ambientales que presenta el invernadero. Posteriormente, se procedió a realizar la selección de plántulas que presentaron mayor homogeneidad en cuanto a vigor, color verde intenso y longitud de la plántula entre 5 y 7 cm. Cada plántula se introdujo con cuidado en el contenedor sin causar daño a las raicillas y sin hacer molde o hueco en el sustrato, posteriormente se adicionó un $\frac{1}{4}$ de sustrato en cada recipiente, de manera que las raicillas quedaran cubiertas hasta la base de la plántula. Una vez sembrada, se aplicó 10 cm^3 de la solución fungicida con fertilizante, y finalmente se cubrió cada contenedor con una bolsa de polietileno con cierre hermético de primer uso, con el objetivo de generar una cámara húmeda que simula las condiciones de la cámara climática donde se desarrolló la vitro planta.

Verificación del proceso de aclimatación: desde la siembra hasta el momento de la apertura del cierre hermético no se realizó aplicación de solución ni se realizaron actividades que implicaran la apertura de la bolsa hermética, para facilitar esto, la bolsa hermética usada para el proceso de aclimatación no tenía color (transparente), con el objetivo de visualizar el desarrollo de la vitro plántula sin necesidad intervenir los tratamientos. A partir del décimo día de sembradas las vitro plantas en los contenedores, se inició el proceso de apertura del cierre hermético de las bolsas, esta apertura se realizó en horas de la mañana o la tarde, donde la temperatura es más baja en comparación con las horas de mayor exposición solar. La apertura se realizó el primer día cada dos

horas, por periodos de media hora; a partir del segundo día, la apertura se extendió a periodos de una hora, verificando que, en cada apertura, las plántulas no presentaran síntomas de estrés por deshidratación (hojas entorchadas y tallos doblados). A las plántulas que, a partir del tercer día de apertura, y en periodos de tres horas continuas no expresaron síntomas de estrés al exponerse a las condiciones ambientales del invernadero, se les retiró la bolsa y se les realizó revisiones periódicas para garantizar su adaptabilidad al ambiente del lugar. Las plántulas que presentaron estrés se cubrieron nuevamente con la bolsa hermética y se repitió el proceso al día siguiente. Las plántulas que presentaron tolerancia a la exposición ambiental por un periodo de más de 24 horas se consideraron aclimatadas o endurecidas al medio ambiente del lugar y se dejaron a libre desarrollo hasta que alcanzaran un crecimiento adecuado para ser trasplantadas en campo, y dar continuidad al desarrollo del cultivo para el incremento de material de siembra con calidad.

Manejo agronómico de plantas aclimatadas: se realizó aplicación de 10 cm^3 de agua destilada por medio de un atomizador (aplicador tipo rocío) cada 24 horas por la mañana a las plántulas aclimatadas y cada ocho días, en el mismo solvente, se les aplicó la dosis del fertilizante utilizado en el proceso de siembra. A las plántulas que presentaron síntomas de pudrición de tallos y hojas o presencia de micelio blanco en las mismas estructuras, se les realizó la aplicación cada 5 días en agua destilada de 1.5 cm^3 de un fungicida sistémico con acción preventiva y curativa (p. ej. Mertect®), con el fin de reducir el crecimiento del micelio y el desarrollo de las esporas.

Diseño experimental

Para llevar a cabo el ensayo, se utilizó un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo bifactorial de 3×2 (tres tipos de contenedores por dos variedades de yuca) para un total de seis tratamientos con cinco repeticiones cada uno y cinco plantas por repetición. La unidad experimental estuvo constituida de una vitro plántula por cada variedad de yuca y cada tipo de contenedor, de esta manera se utilizaron cinco vitro plántulas por tratamiento por repetición, para un total de 150 vitro plántulas distribuidas en los seis tratamientos (Tabla 1).

Tabla 1. Tipo de contenedores evaluados para el endurecimiento de vitro plántulas en cultivares de yuca de uso agroindustrial.

Tratamiento	Tipo de contenedor	Variedad de yuca
T1	Bolsa de polietileno	Corpoica Cumbre 3
T2	Bolsa de polietileno	Corpoica La Francesa
T3	Vaso de poliestireno	Corpoica Cumbre 3
T3	Vaso de poliestireno	Corpoica La Francesa
T5	Bandeja germinadora	Corpoica Cumbre 3
T6	Bandeja germinadora	Corpoica La Francesa

Variable de respuesta

Se evaluó el endurecimiento de las vitro plantas de yuca en cada tratamiento, tomando en cuenta el porcentaje promedio de número de plántulas endurecidas por repetición por cada tratamiento.

Análisis estadístico

Para el análisis de la variable de respuesta se realizó el supuesto de normalidad y de homocedasticidad mediante la prueba de Shapiro Wilks (95 %), se realizó una corrección autorregresiva y el análisis de varianza (ANDEVA). Para los casos en los que se

encontró diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$), se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey (95 %). El análisis de la información se realizó con el programa estadístico SAS ® (Statistical Analysis System versión 9.4) (SAS Institute, 2018).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de normalidad y homogeneidad previo al análisis de varianza (ANDEVA) permitió identificar que los datos trabajados se ajustan a los supuestos de normalidad. Los resultados obtenidos a través del ANDEVA para determinar la respuesta del endurecimiento de plántulas de yuca propagadas *in vitro*, permitió identificar que, entre las dos variedades evaluadas no se presentaron diferencias estadísticas significativas al 95 % de confianza ($p < 0.05$), indicando que, para esta variable los valores promedio de endurecimiento no difieren estadísticamente, lo cual revela que para las condiciones de evaluación de estas dos variedades, el efecto genético no tiene un aporte importante que deba ser considerado para el proceso de obtención de plántulas endurecidas (Tabla 2).

Tabla 2. Análisis de varianza para el efecto del contenedor en el endurecimiento de vitro plántulas de dos variedades de yuca.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	Valor de F	Probabilidad del valor F (Pr > F)	Significancia
Variedad	1	0.63	0.63	0.43	0.5150	ns
Tipo de contenedor	2	21.14	10.57	7.11	0.0012	**
Tipo contenedor x variedad	2	29.75	14.87	10.00	<0.0001	**
Error	114	169.54	1.48			
Total	119	221.07				

Coefficiente de variación = 14.9 %; ns = no significativo; ** = altamente significativo ($p < 0.01$).

En la Tabla 2, también se puede observar que, para el efecto del tipo de contenedor, el ANDEVA presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($p < 0.01$), lo cual indica que al menos uno de los tipos de contenedores presentó un valor promedio de endurecimiento diferente a los demás. Igualmente, en la misma tabla se observa que hubo diferencias estadísticas entre tratamientos o combinaciones de la variedad y el tipo de contenedor, mostrando que el efecto del tipo de contenedor a usar en el endurecimiento tiene una influencia con la variedad que se propaga mediante la metodología propuesta en esta investigación, generando una respuesta diferencial entre los contenedores evaluados y las variedades de yuca procedentes de la propagación *in vitro*.

La prueba de comparación de promedios de Tukey no identificó diferencias en la respuesta promedio de endurecimiento de vitro plántulas entre las variedades

de yuca evaluadas (Figura 1). La variedad Corpoica La Francesa presentó el mayor valor promedio de endurecimiento con un 70.00 % y la variedad Corpoica Cumbre 3 presentó el menor valor promedio con un 66.67 %.

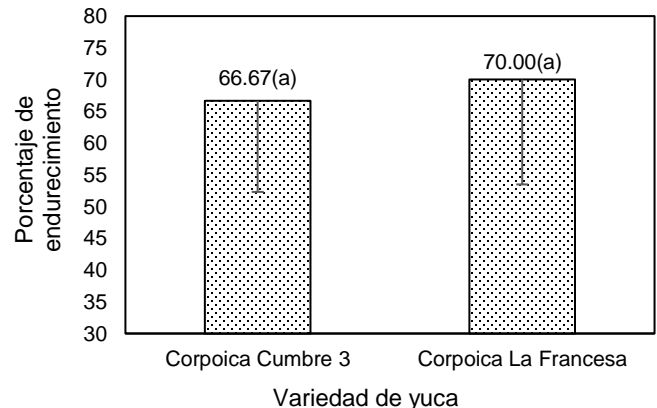


Figura 1. Comparación de valores promedio de endurecimiento de vitro plántulas en dos variedades de yuca.

Los resultados obtenidos en la presente investigación difieren con los descritos con otras investigaciones, como los reportados por Hernández-Leal et al. (2016), quienes afirman que los porcentajes de endurecimiento *ex vitro* de vainilla son diferenciales entre híbridos intraespecíficos, debido a la condición genética de cada uno de ellos y la investigación de Luna-Vicente et al. (2022) quienes sugieren que el genotipo no solamente es un factor determinante en la etapa de aclimatación *ex vitro*, sino también durante todo el proceso de micropropagación de plántulas en familias de diferentes variedades de *Physalis ixocarpa*.

De acuerdo con los resultados, el porcentaje promedio de endurecimiento de plántulas de yuca fue del 68.3 %, lo que indica que hubo un porcentaje promedio de pérdida de material vegetal del 31.7 %, un valor atribuido a la dificultad que tiene este proceso tan importante en la propagación de material de siembra, especialmente para garantizar la propagación de yuca con características de calidad genética y fitosanitaria.

Los resultados contrastan con lo reportado por Gómez-Bonilla et al. (2022), quienes indican que durante la fase de endurecimiento se pueden llegar a tener pérdidas que oscilan entre el 95 y el 98 % de las plántulas de yuca propagadas *in vitro*. La dificultad de endurecer *in vitro* plántulas radica en el hecho de que estas tienen garantizadas las condiciones apropiadas para su desarrollo dentro de un contenedor de vidrio, aisladas de condiciones variables de temperatura, humedad relativa y luminosidad mientras se encuentran en el laboratorio, situación que cambia al llevarlas a condiciones ambientales semi controladas en invernadero, donde las plántulas sufren un cambio brusco en sus procesos fisiológicos, lo cual interfiere con su óptimo desarrollo (Montes-Cruz et al., 2016).

Por otra parte, el efecto del tipo de contenedor en el endurecimiento de *in vitro* plántulas de yuca presentó una respuesta variable entre 60 y 75 %, presentando diferencias en la prueba de comparación de promedios de Tukey, donde el contenedor tipo Bolsa presentó el mayor valor promedio en la respuesta de endurecimiento de *in vitro* plántulas de yuca de ambas variedades con un 75 % de endurecimiento, seguido del vaso de poliestireno expandido donde se obtuvo un 70 % de endurecimiento de las plántulas de yuca,

mientras que el resultado más bajo de endurecimiento fue obtenido en el contenedores tipo bandeja de germinación con un valor del 60 % (Figura 2).

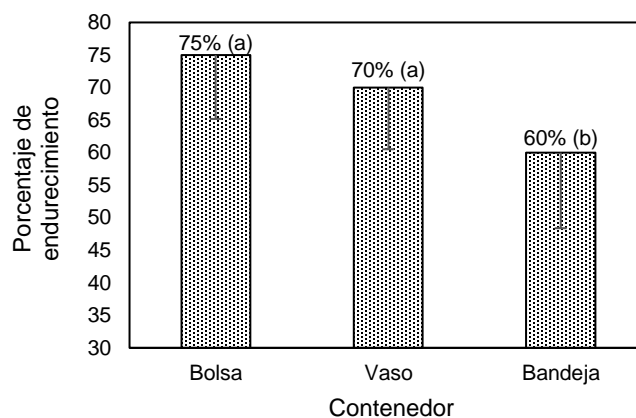


Figura 2. Porcentaje promedio de endurecimiento presentado *in vitro* plántulas de dos variedades de yuca con tres tipos de contenedores.

Resultados similares fueron obtenidos por Cordero-Sánchez (2019), quien evaluó dos tipos de contenedor (bolsas de polietileno y macetas) para la producción de semilla prebásica de dos variedades de papa, donde se destacó de manera superior la bolsa de polietileno. Lo anterior se debe posiblemente a que, la bolsa de polietileno es un contenedor no rígido, donde las raíces presentan una menor restricción en su crecimiento, lo que les permite explorar de una mejor manera en el sustrato tanto requerimientos nutricionales como hídricos, mejorando así su anclaje y desarrollo (Gil y Díaz, 2016).

Al analizar los tratamientos de forma separada, se pudo observar que, hubo diferencias de promedios según la prueba de comparación de medias de Tukey, siendo el tratamiento T2 el de mayor porcentaje de endurecimiento, representado por la interacción del contenedor tipo bolsa con la variedad de yuca Corpoica La Francesa, donde se observa un 85 % de endurecimiento, seguido del tratamiento T4 con 76 %, T5 con 70 %, T1 y T3 con 65 %, y finalmente el menor valor promedio de endurecimiento con un 50 % para el tratamiento T6 (Figura 3). Como se observa en la gráfica, es posible que este resultado se vea influenciado principalmente por la variación que presentó la variedad de yuca Corpoica La Francesa entre los tres tipos de contenedores con respecto a la variación que presentó la variedad de yuca Corpoica Cumbre 3.

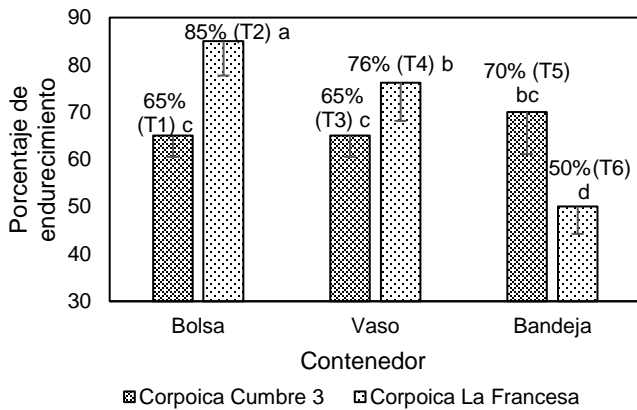


Figura 3. Porcentaje promedio de endurecimiento presentado en vitro plántulas en seis tratamientos con la interacción de dos variedades de yuca y tres tipos de contenedores.

Para asegurar el adecuado proceso del endurecimiento de las plántulas de yuca en la bolsa de polipropileno, esta última no debe manipularse demasiado, debido a que genera ruptura de raíces en comparación con el vaso de poliestireno o la bandeja germinadora, ya que estos al tener paredes rígidas no presentan esta dificultad. Se recomienda dejar las plántulas endurecidas en invernadero por un periodo superior a un mes antes de ser llevadas a campo, debido a que durante este tiempo las plántulas se fortalecen, presentan mejor crecimiento, desarrollo de hojas y grosor de tallo, ganando más vigor, lo que facilita su adaptación en campo (Bonilla-Morales et al., 2015).

CONCLUSIONES

Bajo las condiciones experimentales evaluadas, el componente genético no es un factor determinante en la aclimatación de plántulas de yuca en invernadero, debido a que no hubo respuesta diferencial entre las variedades Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa. La aclimatación *ex vitro* de plántulas de yuca propagada *in vitro* se ve favorecido al usar como contenedores bolsas de polietileno con sustrato estéril en proporciones 3:2 de suelo:arena y el uso de bolsas de cierre hermético para simular las condiciones de una cámara húmeda. Se recomienda la evaluación de diferentes sustratos que favorezcan el proceso de endurecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia (MADR) por la financiación de la presente investigación que hace

parte del proyecto “Multiplicación de semilla bajo plan de mínimos” ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. A los revisores de la revista, cuyas observaciones y sugerencias mejoraron los contenidos desarrollados en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- AGRONET. 2020. Evaluaciones Agropecuarias Municipales – EVA. Estadísticas (en línea). Consultado 11 oct. 2022. Disponible en <https://www.datos.gov.co/Agricultura-y-Desarrollo-Rural/Evaluaciones-Agropecuarias-Municipales-EVA/2pnw-mmge/data>
- Aguilar, E; Segreda, A; Saborío, D; Morales, J; Chacón, M; Rodríguez, L; Acuña, P; Torre, S; Gómez, Y. 2017. Manual del cultivo de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria - INTA. Costa Rica. 96 p.
- Aguilera-Arango, GA; Puentes-Díaz, CL; Rodríguez-Henao, E. 2021. Métodos de desinfección para el establecimiento *in vitro* de dos variedades de yuca para uso agroindustrial (en línea). Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, 8(3): 21-30. DOI: 10.53287/kdux7546xv19l. Consultado 10 oct. 2022. Disponible en <https://riiarn.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/198>
- Aristizábal, J; Sánchez, T; Mejía-Lorío, D. 2007. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Boletín de servicios agrícolas de la FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Roma, Italia. 138 p. ISBN: 978-92-5-305677-4.
- Becerra López-Lavalle LA; Ovalle TM; Marín DV; Gutiérrez JP; Moreno MP; Moreno M; Calle F; Luna J; Belalcázar J; Labarta R; Ocampo J; Dufour D; Pantoja RD. 2020. Catálogo de variedades de yuca, Cauca - Colombia. Publicación CIAT No. 507. Centro Internacional de Agricultura Tropical – CIAT, Cali, Colombia. 82 p
- Bonilla-Morales, MM; Sánchez-Ordoñez, SA; Pachón-García, J. 2015. Evaluación de sustratos orgánicos para la aclimatación y endurecimiento de vitroplantas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (en línea). Revista De Investigación Agraria y Ambiental, 6(2): 31–36. Consultado 10 oct. 2022. Disponible en <https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/riaa/article/view/1402/1726>
- Canales, N; Trujillo, M. 2021. La red de valor de la yuca y su potencial en la bioeconomía de Colombia. Stockholm Environment Institute - SEI, Estocolmo, Suecia. 30 p.
- CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). 2019. Qué hacemos: Yuca (en línea). Consultado 11 oct. 2022. Disponible en <https://ciat.cgiar.org/what-we-do/breeding-better-crops/rooting-for-cassava/>
- Cordero-Sánchez, SE. 2019. Efecto de dos tipos de sustrato en dos tipos de contenedores para la producción de semilla prebásica de papa en dos

- cultivares Canchán y Única (en línea). Tesis Lic. El Mantaro, Jauja, Perú. Universidad Nacional del Centro de Perú. 117 p.
- FAO (Food and Agricultural Organization of United Nations). 2020. FAOSTAT. Consultado 11 oct 2021. Disponible en <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>
- Gil, CAI; Díaz, MLJ. 2016. Evaluación de tipos de contenedores sobre el crecimiento radical de café (*Coffea arabica* L. cv. Castillo) en etapa de vivero (en línea). Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas, 10(1), 125-136. DOI: 10.17584/rcch.2016v10i1.4461. Consultado 10 oct. 2022. Disponible en http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2011-21732016000100011
- Gómez-Bonilla, Y; Avilés, J; Mena, H; Ortiz, G. 2022. Producción de plántulas de yuca bajo la técnica de sistema autotrófico hidropónico (SAH) (en línea). Alcances Tecnológicos, 15(1): 116-132. Consultado 10 oct. 2022. Disponible en http://revista.inta.go.cr/index.php/alcances_tecnologicos/article/view/226
- Hernández, J. 2019. Gestión de vertimientos líquidos de la industria del almidón de yuca en Santander de Quilichao. Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación, 4 (1): 44-56. DOI: 10.23850/23899573.209. Consultado 10 oct. 2022. Disponible en <https://revistas.sena.edu.co/index.php/sennova/article/view/2091>
- Hernández-Leal, E; Castillo-Martínez, CR; Reyes-López, D; Corona-Torres, T; Avendaño-Arrazate, CH; García-Zavala, OJJ; Vaquera-Huerta, H; Villalobos-Navarro, F; Bonilla-Barrientos, O. 2016. Aclimatación de híbridos intraespecíficos de *Vanilla planifolia* Jacks. ex Andrews, obtenidos *in vitro* (en línea). Agro Productividad, 9(11): 72-77. Consultado 5 oct. 2022. Disponible en <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/848/712>
- ICA (Instituto Colombiano Agropecuario). 2015. Resolución 3168. "Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto de mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones". Consultado 5 oct. 2022. Disponible en <https://www.ica.gov.co/getattachment/4e8c3698-8fcb-4e42-80e7-a6c7acde9bf8/2015R3168.aspx>
- Luna-Vicente, H; Peña-Lomelí, A; Magaña-Lira, N; Rodríguez-de la O, JL; Martínez-Solís, J. 2022. *In vitro* propagation of select tomatillo (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) plant families (online). Revista Chapingo. Serie horticultura, 28(1): 35-49. Consultado 5 oct. 2022. Disponible en https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1027-152X2022000100035&script=sci_arttext
- Montes-Cruz, S; Lalama-Aguirre, JM, Echeverría-Félix, JM; Salazar-Torres, SM. 2016. Factores bióticos y abióticos que influyen en la aclimatación de las vitroplantas en invernadero (en línea). Dominio de las Ciencias, 2(2), 63-89. Consultado 10 oct. 2022. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5761558>
- Ospina, B; Ceballos, H. 2002. La Yuca en el Tercer Milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT); Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca (CLAYUCA), Palmira, Colombia. 586 p. Publicación CIAT No. 327.
- Parra, J. 2020. Cifras Sectoriales: Subsector productivo de la yuca (en línea). Consultado 7 oct. 2022. Disponible en <https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2020-12-31%20Cifras%20Sectoriales%20yuca.pdf>
- Rodríguez-Henao, E; Rosero-Alpala, EA; Ceballos, H; Calle, F; Salazar, S; Osorio-Cardona, O. 2016. Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria – AGROSAVIA, Mosquera, Colombia. 18 p.
- SAS Institute. 2018. SAS User's Guide: Statistics, version 9.4. SAS Institute. Cary, North Carolina USA.
- Villanueva, D; Restrepo, C; Cardenas L. 2022. Orquídeas endurecidas. Natural Vitro (en línea) Universidad EAFIT. Consultado 12. oct. 2022. Disponible en <https://www.eafit.edu.co/innovacion/spinoff/natural-vitro/Paginas/orqu%C3%ADdeas-endurecidas.aspx#:~:text=El%20endurecimiento%20es%20t%C3%A9cnicamente%20conocido,vitro%20al%20ambiente%20ex%20vitro>

Artículo recibido en: 14 de octubre 2022

Aceptado en: 02 de diciembre 2022