

Producción de semilla básica del clon de yuca Agrosavia Melúa-31

Shirley Patricia Pérez-Cantero¹
Lily Lorena Luna-Castellanos^{2,§}
Amaury Aroldo Espitia-Montes¹
Jorge Luís García-Herazo¹
Remberto Rafael Martínez-Figueroa¹
Kevin Luis Pérez-Cantero³

1 Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-Centro de Investigación Turipaná. Cereté, Córdoba, Colombia. CP. 230001. Tel. (57+1) 4227300, ext. 2255. (sperezc@agrosavia.co); aespitia@agrosavia.co; jgarciah@agrosavia.co; rmartinez@agrosavia.co).

2 Campus Veracruz-Colegio de Postgraduados. Carretera federal Xalapa-Veracruz km 88.5, Tepetates, Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. CP. 91690. Tel. 229 2010770.

3 Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Tel. +57(1) 605 777214. Sahagún, Córdoba, Colombia. (klpc2116@gmail.com).

Autor para correspondencia: luna.lily@colpos.mx.

Resumen

La enfermedad 'cuero de sapo' cassava frogskin disease, (CFSD) por sus siglas en inglés constituye una de las principales limitantes fitosanitarias para la producción sostenible de yuca, debido a que restringe la tuberización y obtención de material de siembra sano a partir de plantaciones comerciales. El clon de yuca Agrosavia Melúa-31 es de alta relevancia socioeconómica para la Orinoquia colombiana; sin embargo, la alta susceptibilidad a la enfermedad 'cuero de sapo' restringe la siembra comercial de este clon. Por tanto, esta investigación se realizó con el objetivo de desarrollar un protocolo preliminar para la producción de semilla básica del clon de yuca Agrosavia Melúa-31. Este trabajo se llevó a cabo en Agrosavia Centro de Investigación Turipaná en tres fases: micropropagación *in vitro*, aclimatación y endurecimiento *ex vitro* y adaptación a condiciones de campo. Los resultados revelaron que bajo las condiciones de crecimiento *in vitro* la tasa de sobrevivencia del clon Agrosavia Melúa-31 osciló entre el 85 al 90%. En la fase de aclimatación el mayor porcentaje de sobrevivencia (87.5%), producción de biomasa fresca (2.6 g) y seca (0.42 g) e índice de área foliar (0.66) se obtuvieron con un sustrato a base de arena, materia orgánica y aluvión. En la fase de adaptación a condiciones de campo, la tasa de sobrevivencia fue del 98%, se cosecharon raíces sanas y semilla básica (Cangres) de alta calidad fitosanitaria y genética de Agrosavia Melúa-31. La estandarización de protocolos de producción de semilla de calidad constituye una herramienta indispensable para la sanitización de los materiales propagados vegetativamente.

Palabras clave:

cultivo de tejidos, micropropagación, sanidad vegetal, semilla sexual.

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es uno de los tubérculos más importantes de la agricultura familiar y del pancoger en las regiones tropicales y subtropicales del mundo. Se cultiva en más de 100 países y su producción mundial anual supera los 300 millones de toneladas (FAO, 2020). En Colombia, la yuca es el quinto producto agrícola que más se produce por volumen, después de la caña de azúcar, el plátano, la papa y el arroz (Parra-Olarte, 2019).

En Colombia, la yuca se cultiva en seis regiones, de las cuales Caribe, Cauca y Orinoquia constituyen las principales regiones productoras, este tubérculo se cultiva con fines industriales, para la producción de forraje y para el autoabastecimiento de las familias. Los rendimientos del cultivo varían de acuerdo con la región, en el Caribe, estos se encuentran alrededor de las 27 t ha⁻¹ (yuca de almidón dulce), mientras que, en la Orinoquia y el departamento del Cauca, principales productores de yuca de almidón amargo, los rendimientos solo alcanzan las 11.9 t ha⁻¹ (Parra-Olarte, 2019).

El bajo rendimiento de las variedades de yuca industriales en la región Orinoquia y Cauca está asociada a la alta incidencia de la enfermedad 'cuero de sapo' (Cassava frogskin disease (CFSD), por sus siglas en inglés, esta enfermedad afecta la raíz de las plantas de yuca, las cuales no tuberizan y presentan cáscara gruesa con apariencia de corcho y consistencia leñosa.

Para reducir los riesgos de infección por CFSD y otras enfermedades (enfermedad de la raya marrón y enfermedad del mosaico de la yuca) es necesario contar con semillas limpias de variedades resistentes, que mitiguen la amenaza persistente sobre la producción de yuca por estas enfermedades. La micropropagación *in vitro* constituye una estrategia biotecnológica de gran importancia para la limpieza sanitaria de materiales de yuca (Marín *et al.*, 2009).

No obstante, se requiere estandarizar las condiciones de aclimatación *ex vitro* y producción bajo condiciones de campo para asegurar la calidad del material vegetal y las tasas de sobrevivencia. En este sentido, esta investigación se realizó con el objetivo de desarrollar un protocolo preliminar para la producción de semilla básica del clon de yuca Agrosavia Melúa-31.

La investigación se llevó a cabo desde el mes de mayo de 2021 a octubre de 2022 en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia) Centro de Investigación Turipaná, ubicado en el municipio de Cereté, departamento de Córdoba (Colombia) a 8° 50' 79" latitud norte y 75° 47' 58" longitud oeste a una altura de 13 msnm. Esta región ecológicamente corresponde a una zona de sabana húmeda de acuerdo con la clasificación climática de Köppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006).

En la zona se presenta una temperatura promedio anual de 28 ±2 °C, precipitación anual de 1 200-1 300 mm y humedad relativa del 80 al 90%. Para el desarrollo del protocolo se utilizó el clon de yuca Agrosavia Melúa-31 (SM 2792-31), obtenido en el programa de mejoramiento de CIAT-Agrosavia, a partir del policruzamiento de semillas sexuales (Rosero-Alpala *et al.*, 2019).

La semilla de Agrosavia Melúa-31 requiere la limpieza del material vegetal dada su alta susceptibilidad a CFSD bajo las condiciones de la Orinoquia colombiana y la alta demanda de semilla sana para el establecimiento de lotes comerciales.

Para la obtención del protocolo preliminar, la investigación se desarrolló en tres fases: la primera consistió en la multiplicación del material vegetal bajo condiciones *in vitro* en el Laboratorio de Micropropagación de plantas de Agrosavia, la segunda etapa se desarrolló en invernadero (*ex vitro*) y en la fase tres las plántulas endurecidas fueron trasplantadas a condiciones de campo y sometidas a manejo y evaluaciones agronómicas para la producción de semilla básica. El proceso de producción de plántulas (fase 1 y 2) se llevó a cabo bajo las especificaciones detalladas en el plan operativo estándar de micropropagación de yuca de Agrosavia (Espitia *et al.*, 2019).

La fase dos de aclimatación y endurecimiento, se evaluaron tres sustratos bajo un diseño completamente al azar (DCA) con tres réplicas. El sustrato (S1) estuvo conformado por arena y aluvió (1:1). El sustrato (S2) se elaboró con 85% de aluvió, 10% de arena y 5% de materia orgánica (Lombriabono[®]) y el sustrato (S3) estuvo constituido por Turba (Pindstrup Substrate[®]).

En cada repetición se utilizaron ocho plantas, las cuales fueron sembradas en germinadores plásticos. Por cada tratamiento, se emplearon 24 plantas en total. Las características fisicoquímicas de los sustratos se detallan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características fisicoquímicas de los sustratos evaluados en la fase de aclimatación.

Parámetro	Unidad	Sustrato 1	Sustrato 2	Sustrato 3
Conductividad eléctrica (CE) (1:5)	(dS m ⁻¹)	0.1	0.22	0.9
Materia orgánica (MO)	(%)	0.23	0.49	0.2
Fósforo (P)	(mg kg ⁻¹)	2.02	4.05	1.01
Capacidad de intercambio catiónico (CIC)	(cmol kg ⁻¹)	3.05	6.48	2.06
Potasio (K)	(cmol kg ⁻¹)	<0.02	<0.09	<0.01
pH (1:2.5)	No aplica	6	6.62	4.89
Textura	No aplica	Franco-arenoso	Arenosa-franco	No aplica

Los sustratos fueron desinfectados de forma química previo a la siembra de las vitroplantas, con el producto comercial Terrasafe West[®] (1.4- diformil propano) en dosis de 5 ml L⁻¹. Las plántulas fueron mantenidas durante una semana a 28 ±2 °C, humedad relativa del 95% con una polisombra del 70% y riego frecuente. Al finalizar este periodo se realizó la aplicación del fertilizante foliar Cerostress[®] en dosis de 5 ml L⁻¹. Seguidamente, las plantas fueron trasladadas dentro del invernadero a una polisombra del 40% para facilitar la captación de luz y mantener una humedad relativa mayor al 80%, se realizaron dos riegos diarios.

Las plántulas fueron mantenidas bajo esta condición durante tres semanas. Desde la quinta hasta la sexta semana, las plantas fueron sometidas a una luminosidad del 60% y humedad relativa del 65%. Se realizaron aplicaciones semanales de fertilizante foliar Agrimins[®] (3 ml L⁻¹) y los fungicidas Amistar top[®] (2 ml L⁻¹) y Oxithane[®] (2 g L⁻¹) y riegos diarios. Al transcurrir seis semanas, se registraron las variables de sobrevivencia (%), índice de área foliar (IAF) con un ceptómetro Accupar LP-80[®], la producción de biomasa fresca (hojas + tallos + raíces) se determinó registrando el peso con una balanza analítica Ohaus[™].

Para la determinación de la biomasa seca, el tejido vegetal fue sometido a secado en estufa durante 48 h a una temperatura de 70 ±2 °C. Se realizó un análisis de varianza (Anova) para evaluar el efecto de los sustratos sobre la sobrevivencia y los parámetros de crecimiento de las plantas. En caso de diferencias significativas entre los tratamientos, se utilizó la prueba de Tukey en el umbral del 5%. Los análisis se hicieron con el lenguaje R v4.3.2 en el entorno de Rstudio (R Development Core Team, 2011).

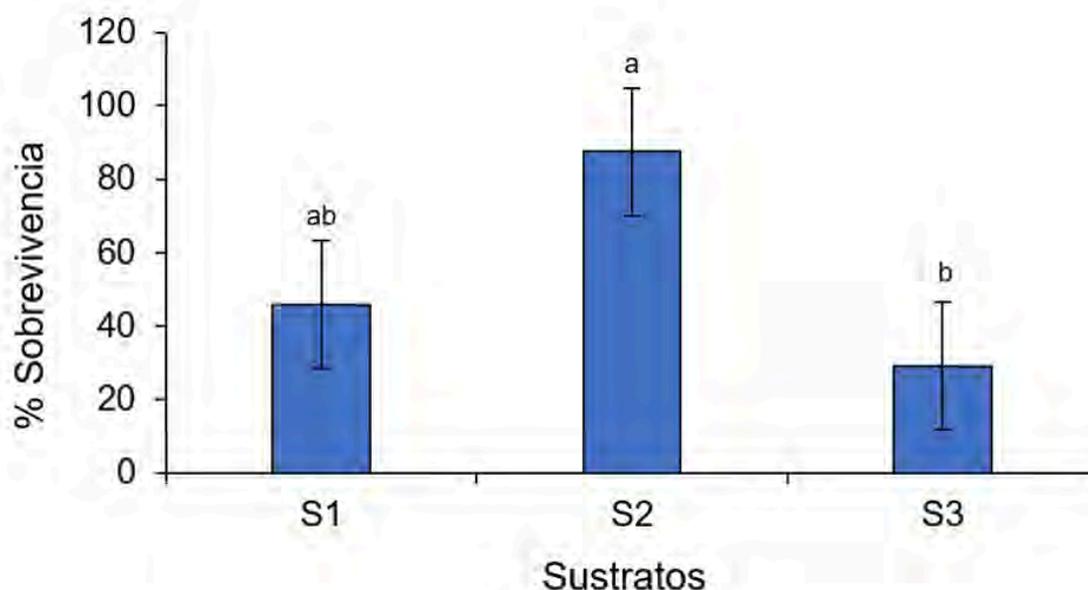
En la fase tres, las plantas endurecidas en el mejor sustrato fueron establecidas bajo condiciones de campo (octubre del 2021) en una parcela de 144 m², en un suelo Vertic Endoaquepts con textura franco arcilloso, Se efectuó preparación mecánica del lote y aplicación del herbicida Diuron al 80% (1.5 kg ha⁻¹) y ocho días después se realizó el establecimiento. Las plantas fueron distanciadas entre sí a 1 m y entre surcos a 1 m (10 000 plantas ha⁻¹). Se realizaron riegos manuales diarios durante los primeros 30 días después del trasplante (DDT). Se realizaron dos controles de malezas con glufosinato de amonio (2 L ha⁻¹) y un control manual. La fertilización se realizó de forma edáfica según las recomendaciones de Cadavid (2002).

En esta fase se evaluó la sobrevivencia de las plantas 30 DDT y la incidencia de plagas y enfermedades con una frecuencia mensual. La cosecha manual se realizó transcurridos 362 DDT, se seleccionaron 10 plantas ubicadas en el área central de la parcela y se evaluó el estado sanitario de las raíces frescas de yuca empleando una escala visual para la enfermedad CFSD propuesta por Álvarez *et al.* (2015).

Adicionalmente, se registró el peso de las raíces frescas por planta y se estimó el rendimiento en kg ha^{-1} . Después se determinó la materia seca de las raíces (%) y el número de estacas o cangres por planta (semilla de categoría básica). Los resultados obtenidos permitieron establecer un protocolo preliminar para la producción de semilla básica del clon de yuca Agrosavia Melúa-31, libre de la enfermedad CFSD y de alta calidad genética y sanitaria.

Los resultados obtenidos indicaron que durante la fase uno de multiplicación *in vitro* la sobrevivencia del material osciló entre el 85 y 90%, con una tasa de multiplicación de uno en tres. La variación en los porcentajes de sobrevivencia está ligada de forma estrecha a la variedad de yuca y las concentraciones de sacarosa y reguladores de crecimiento (Marín *et al.*, 2009). En la fase dos de aclimatación y endurecimiento *ex vitro*, el sustrato S2 permitió la sobrevivencia del 87.5% de las vitroplantas, en comparación con el sustrato S1 con un 45.83% y el sustrato S3 con un 29.17% (Figura 1).

Figura 1. Porcentaje de sobrevivencia de vitroplantas de yuca Agrosavia Melúa-31 en tres tipos de sustratos. Letras diferentes por variable indican diferencias significativas entre sustratos ($p < 0.05$).

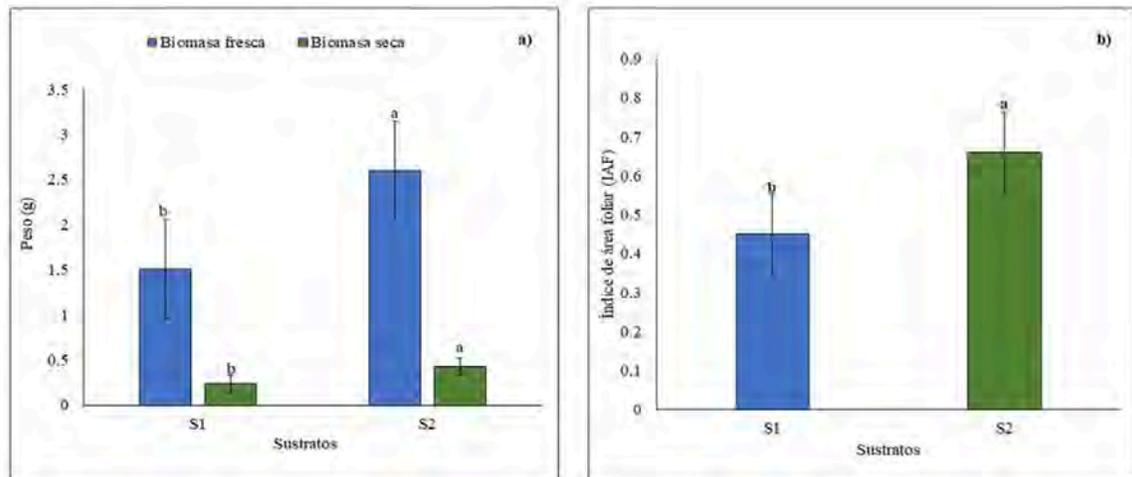


Dado que el porcentaje de sobrevivencia en el S3 fue estadísticamente inferior que, en el resto de los sustratos, los datos de biomasa e IAF fueron registrados solamente para los sustratos S1 y S2. En análisis de varianza detectó diferencias altamente significativas para las variables biomasa fresca (p -valor= 0.0052) y biomasa seca (p -valor= 0.0028). Para el IAF se hallaron diferencias significativas (p -valor= 0.02767).

Los resultados detallados en la sección 2a y 2b de la Figura 2, indican que el sustrato S2 propició una mayor acumulación de biomasa e índice de área foliar entre un 49 y 51% más en comparación con el sustrato S1. A este respecto, algunos autores han referido que los sustratos con buenos contenidos de materia orgánica ayudan a mejorar los parámetros de crecimiento de vitroplantas de yuca, aumentar la retención de agua y estimular el desarrollo óptimo del sistema radicular (Cacaï *et al.*, 2021).



Figura 2. Variables de crecimiento de vitroplantas de yuca en dos tipos de sustratos. a) biomasa fresca y seca y b) índice de área foliar (IAF). Letras diferentes por variable indican diferencias significativas entre sustratos ($p < 0.05$).



Asimismo, las plántulas endurecidas en sustratos enriquecidos con nutrientes pueden presentar mayor área foliar, número de hojas y entrenudos lo cual se traduce en mayor vigor del material. Bajo condiciones de campo abierto la supervivencia del material proveniente del sustrato S2 fue del 98%. Durante el ciclo fenológico, la incidencia de ácaros (*Mononychellus tanajoa* y *Oligonychus peruvianus* y trips (*Frankliniella* sp., fue inferior al 2%. No se observaron signos o síntomas de infecciones fitopatogénicas.

Asimismo, las evaluaciones visuales del estado sanitario de las raíces frescas de yuca con la escala de Álvarez *et al.* (2015), permitió establecer que las raíces se encontraban libres de CFSD. Las plantas tuvieron un rendimiento promedio de $62.53 \pm 2.5 \text{ t ha}^{-1}$, producción de materia seca del 34.04% y producción de 22.2 semilla básica (cangres) por planta. Los rendimientos de Agrosavia Melúa-31 superaron los reportes técnicos para esta variedad correspondientes a $26.22 \pm 2.3 \text{ t ha}^{-1}$ y otras variedades de uso industrial bajo las condiciones habituales de siembra en la Orinoquia colombiana (Rosero-Alpala *et al.*, 2019). Asimismo, los resultados de esta investigación permitieron obtener semilla básica libre de patógenos para la propagación vegetativa de Agrosavia Melúa-31.

Conclusiones

El desarrollo de protocolos de producción de semilla básica de yuca constituye una herramienta útil para asegurar la calidad genética, sanitaria y fisiológica de la semilla, además, permite disminuir las pérdidas de material vegetal durante las etapas de micropropagación *in vitro*, aclimatación *ex vitro* y adaptación a condiciones de campo. Adicionalmente este proceso garantiza el refrescamiento de la semilla (cangres) para la multiplicación masiva del material genético. El proceso de elaboración del protocolo preliminar en esta investigación para la producción de semillas de Agrosavia Melúa-31 ha permitido identificar un sustrato altamente eficaz para la fase dos del protocolo de producción de plantas.

Bibliografía

- 1 Álvarez, E.; Pardo, J. M.; Mejía, J. F.; Santos-Oliveira, S. A.; Zacher, M.; Cardozo, L. y Gómez, Y. 2015. Manejo del 'cuero de sapo' enfermedad limitante de la yuca. 1-20 pp. <https://hdl.handle.net/10568/70086>.

- 2 Cacaï, G. H. T.; Ahanhanzo, C.; Ahoya, D. K. D.; Houédjissin, S. S. and Houngue, J. A. 2021. Effects of non-conventional substrate and NPK fertilizer on cassava plantlets acclimatization for plant material production. *Agricultural Sciences*. 12(10):1058-1069. <https://doi.org/1058-1069.10.4236/as.2021.1210068>.
- 3 Cadavid, L. F. 2002. Suelo y fertilización para la yuca. La yuca en el tercer milenio. Sistemas modernos de producción, procesamiento, utilización y comercialización. CIAT, Cali, Colombia. 76-103 pp.
- 4 Espitia, M. A.; Regino, H. S. y Pérez, C. S. 2019. Procedimiento operativo estándar (POE). Micropropagación de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Agrosavia. 1-7 pp.
- 5 FAO. 2020. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Bases de datos estadísticas sobre producción de yuca. <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize>.
- 6 Kottek, M.; Grieser, J.; Beck, C.; Rudolf, B. and Rubel, F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 15(3):259-263. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.
- 7 Marín, A.; Albarrán, J. G.; Fuenmayor, F. y Perdomo, D. 2009. Evaluación del efecto de los reguladores de crecimiento en la regeneración *in vitro* de cinco cultivares élites de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). *Revista Científica UDO Agrícola*. 9(3):556-562.
- 8 Parra-Olarte, J. L. 2019. Subsector productivo de la yuca: Dirección de cadenas agrícolas y forestales [Documento técnico]. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Recuperado de <https://acortar.link/FMbvob>.
- 9 R Development Core Team. 2011. R: a language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-070. <http://www.R-project.org>.
- 10 Rosero-Alpala, E. A.; Ceballos, H.; Calle, F.; Salazar, S.; Morante, N.; Beltrán, F.; Becerra-Campiño, C. J. y Sandoval, C. H. A. 2019. Agrosavia Melúa-31. Nueva variedad de yuca industrial para la Orinoquía colombiana. Mosquera, Colombia: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Agrosavia). 7-17 pp. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/35643>.



Producción de semilla básica del clon de yuca Agrosavia Melúa-31

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 02 January 2025
Date accepted: 01 February 2025
Publication date: 23 March 2025
Publication date: Jan-Feb 2025
Volume: 16
Issue: 1
Electronic Location Identifier: e3498
DOI: 10.29312/remexca.v16i1.3498

Categories

Subject: Nota de investigación

Palabras clave:

Palabras clave:

cultivo de tejidos
micropropagación
sanidad vegetal
semilla sexual

Counts

Figures: 2

Tables: 1

Equations: 0

References: 10

Pages: 0