

MÉTODOS DE DESINFECCIÓN PARA EL ESTABLECIMIENTO *IN VITRO* DE DOS VARIEDADES DE YUCA PARA USO AGROINDUSTRIAL

Disinfection methods for the *in vitro* establishment of two varieties of cassava for agroindustrial use

Germán Andrés Aguilera-Arango¹, Carol Liliana Puentes-Díaz², Eberto Rodríguez-Henao³

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es un cultivo de importancia económica en el departamento del Cauca, ubicado en el Suroccidente de Colombia. La mayoría de los agricultores utilizan como material de siembra ramas de cosechas pasadas, muchas veces con deficiente calidad fitosanitaria, repercutiendo en la producción de almidón. Una forma de obtener material de siembra de yuca con calidad es por medio del cultivo de tejidos vegetales *in vitro*. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar tres métodos de desinfección en dos variedades de yuca para uso agroindustrial, con el propósito de estandarizar el establecimiento *in vitro* de estas variedades para la producción de material de siembra con calidad fitosanitaria. Para ello se utilizaron como explantes segmentos uninodales de tallos de yuca de las variedades Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa, los cuales fueron sometidos a tres métodos de desinfección, donde varió la concentración de hipoclorito de sodio y tiempo de desinfección antes de establecerse en el medio MS. Con los resultados se pudo determinar que el agente que causó mayor porcentaje de contaminación fueron las bacterias seguido de los hongos y que el componente genético de cada variedad tiene un efecto diferencial sobre los métodos de desinfección para el establecimiento *in vitro*. Para este estudio se concluye que el uso de hipoclorito de sodio al 2.5 % por 10 minutos resultó ser el mejor tratamiento de desinfección para la variedad Corpoica La Francesa, mientras que otras metodologías deben ser evaluadas para la variedad Corpoica Cumbre 3.

Palabras clave: Calidad fitosanitaria, Corpoica Cumbre 3, Corpoica La Francesa, *Manihot esculenta*, material de siembra.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is an economically important crop in the department of Cauca, located in the Southwest of Colombia. Most farmers use branches from past harvests as planting material, often with poor phytosanitary quality, affecting the production of starch. One way to obtain quality cassava planting material is through *in vitro* plant tissue culture. The present work aimed to evaluate three disinfection methods in two varieties of cassava for agroindustrial use, in order to standardize the *in vitro* establishment of these varieties to produce planting material with phytosanitary quality. For this, nodal segments of cassava stems of the Corpoica Cumbre 3 and Corpoica La Francesa varieties were used as explants, which were subjected to three disinfection methods, where the concentration of sodium hypochlorite and disinfection time varied before being put to grow in MS medium. With the results it was possible to determine that the agent that caused the highest percentage of contamination was bacteria followed by fungi and that the genetic component of each variety has a differential effect on the disinfection methods for the *in vitro* establishment. For this study, it is concluded that the use of 2.5 % sodium hypochlorite for 10 minutes turned out to be the best disinfection treatment for the Corpoica La Francesa variety, while other methodologies should be evaluated for the Corpoica Cumbre 3 variety.

Keywords: Phytosanitary quality, Corpoica Cumbre 3, Corpoica La Francesa, *Manihot esculenta*, planting material.

¹✉ Investigador máster, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira. Palmira, Valle, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3942-4658>. gaguilera@agrosavia.co

² Profesional de apoyo a la investigación. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira. Palmira, Valle, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0866-304X>. cpuentes@agrosavia.co

³ Investigador máster. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria-AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira. Palmira, Valle, Colombia. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5795-8864>. erodriguezh@agrosavia.co

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) hace parte de la familia Euphorbiaceae y es uno de los diez cultivos principales en el mundo con aproximadamente 277 000 000 t producidas en el año 2016 (Pérez y Rodríguez, 2018). En Colombia, como sistema productivo ocupa el tercer lugar en importancia, después de la caña de azúcar y el plátano, con una producción de 2 000 000 t en un área de 187 000 ha, presentando un rendimiento promedio de 11 t ha⁻¹ (Santos et al., 2019). Además, es un cultivo que tiene gran utilidad en el mercado, ya que puede ser aprovechado para el consumo fresco en la salud humana, como forraje para alimentación animal y como uso en la agroindustria, especialmente para la extracción de almidón (León-Pacheco et al., 2018).

La producción de almidón de yuca es una de las actividades comerciales más importantes para gran parte de los pobladores rurales del Norte del departamento del Cauca, ubicado en el Suroccidente colombiano, debido a que es un sistema productivo importante en la economía de esta región (Hernández, 2019). Sin embargo, una de las principales limitantes del cultivo para la obtención de almidón es el uso de buen material de siembra, debido a que en la mayoría de los casos no cuenta con la calidad sanitaria requerida, llegando incluso a comprometer la producción esperada (León-Pacheco et al., 2019).

En ese sentido, la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, con la cooperación del Centro Internacional de Agricultura Tropical - CIAT y el apoyo del Consorcio Latinoamericano y del Caribe de Apoyo a la Investigación y al Desarrollo de la Yuca - CLAYUCA y el Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo - CIRAD, desarrollaron dos nuevas variedades mejoradas denominadas Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa, los cuales se destacan por presentar mayor valor industrial y rendimientos que la variedad comercial con la que se venía trabajando en esta región (Rodríguez-Henao et al., 2016).

De forma natural la yuca se propaga vía sexual mediante semillas (semilla sexual o botánica). Sin embargo, este tipo de propagación no es recomendable si el uso es comercial, debido a que presenta el inconveniente de segregación (variación de sus características), por ser una especie heterocigótica y alógama (Ospina y Ceballos, 2002).

Además, de acuerdo con Aguilera-Arango et al. (2019), el aumento en las capacidades de producción es difícil de lograr si solo depende de la propagación natural a través de la semilla, debido a los largos períodos tanto de germinación, como de desarrollo de las plántulas. Por las razones expuestas anteriormente, la yuca como sistema productivo ha sido perpetuada mediante la propagación clonal (vía asexual), haciendo uso de esquejes y/o cangres de cultivos anteriores. No obstante, este último tipo de propagación se constituye en un riesgo de tipo fitosanitario, debido a que es posible diseminar plagas y enfermedades, siendo una de las principales limitantes en la siembra, producción, rendimiento y expansión del cultivo (Suárez y Mederos, 2011).

Teniendo en cuenta lo descrito anteriormente, se han buscado otras alternativas para la propagación de esta especie, como por ejemplo a través de la herramienta biotecnológica del cultivo de tejidos vegetales *in vitro*, especialmente de la técnica de micropropagación, donde se debe garantizar la eliminación de patógenos presentes en los tejidos vegetales mediante el uso de diferentes métodos y productos de desinfección, lo que asegura la sanidad y calidad del material de siembra (Corozo et al., 2020). Por lo anterior, el objetivo de la presente investigación fue evaluar tres métodos de desinfección en dos variedades de yuca para uso agroindustrial con el propósito de estandarizar su establecimiento *in vitro* para la producción de material de siembra con buenas características fitosanitarias.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación de la zona de estudio

La investigación fue desarrollada en el laboratorio de Producción Vegetal de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA, Centro de Investigación Palmira, 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.

Metodología

Material vegetal

El material vegetal fue colectado a partir de plantas de yuca de seis meses de edad de las variedades Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa, las cuales se encontraban establecidas en un invernadero adyacente a las instalaciones del laboratorio. Los

órganos vegetales seleccionados fueron tallos con crecimiento de yemas axilares, los cuales se empacaron en bolsas de papel y luego fueron dispuestos en bolsas de cierre hermético. Posteriormente las muestras se trasladaron al laboratorio de Producción Vegetal para su procesamiento.

Desinfección de los explantes

Una vez en el laboratorio, se realizaron cortes a los tallos, de manera que como explante se utilizaron segmentos de tallo uninodales. Todos los explantes fueron desinfectados en dos etapas. En la etapa uno, los explantes fueron lavados durante cinco minutos con una solución de detergente Tween al 20 % frotando el material vegetal y eliminando residuos, posteriormente se hicieron tres enjuagues con agua destilada estéril. Los explantes fueron introducidos en una solución de etanol al 70 % (v/v) en agitamiento constante durante un minuto, luego del cual se volvió a lavar con agua destilada esterilizada.

Para la segunda etapa de desinfección, todos los procesos fueron realizados en cámara de flujo laminar. En esta fase se utilizaron los métodos propuestos por Mahdi y Edward (2017), Durango-Ballesteros et al. (2019) y Corozo et al. (2020), denominados en este estudio como método 1 (M1), método 2 (M2) y método 3 (M3) respectivamente, los cuales fueron modificados, utilizando únicamente la concentración y los tiempos de inmersión de los explantes en hipoclorito de sodio (NaClO). Para el M1 se sumergieron los explantes en NaClO al 5.25 % (v/v) por un periodo de 10 minutos, para el M2 se utilizó NaClO al 2.5 % (v/v) por un lapso de 10 minutos, mientras que para el M3 se usó NaClO al 2 % (v/v) durante 15 minutos. Al finalizar cada uno de los periodos contemplados para los diferentes métodos, se realizaron tres enjuagues con agua destilada estéril por el lapso de un minuto cada uno.

Condiciones de cultivo

Posterior a la desinfección, los explantes se colocaron en medio de cultivo basal Murashige y Skoog (MS) (1962), con sacarosa al 3 % (m/v), 4 % (m/v) de agar y el pH fue ajustado a 5.0 utilizando para ello soluciones de hidróxido de sodio al 0.1N y ácido clorhídrico al 0.1N antes de la esterilización. El ensayo se estableció bajo condiciones controladas en cámara de crecimiento con fotoperíodo de 16/8 horas luz/oscuridad, humedad

relativa al 70 ± 5 %, intensidad lumínica de 1 800 luxes y temperatura de 25 ± 2°C por un periodo de cuatro semanas.

Diseño experimental

Para llevar a cabo el ensayo, se usó un diseño completamente al azar (DCA), con arreglo bifactorial de 3x2 (tres métodos de desinfección por dos variedades de yuca) para un total de seis tratamientos con tres repeticiones cada uno (Tabla 1). La unidad experimental estuvo constituida de un explante por frasco, de esta manera se utilizaron siete explantes por tratamiento por repetición, para un total de 126 explantes distribuidos en los seis tratamientos. Es importante indicar que, durante la ejecución del experimento no se utilizó ningún tratamiento testigo.

Tabla 1. Métodos de desinfección evaluados en dos cultivares de yuca de uso agroindustrial.

Tratamiento	Variedad	Método de desinfección
T1	Corpoica	M1 (Hipoclorito de sodio
	Cumbre 3	5.25 % por 10 minutos)
T2	Corpoica La	M1 (Hipoclorito de sodio
	Francesa	5.25 % por 10 minutos)
T3	Corpoica	M2 (Hipoclorito de sodio
	Cumbre 3	2.5 % por 10 minutos)
T4	Corpoica La	M2 (Hipoclorito de sodio
	Francesa	2.5 % por 10 minutos)
T5	Corpoica	M3 (Hipoclorito de sodio
	Cumbre 3	2 % por 15 minutos)
T6	Corpoica La	M3 (Hipoclorito de sodio
	Francesa	2 % por 15 minutos)

Variables de respuesta

Cada tratamiento se dejó en condiciones de fotoperíodo de 16/8 horas luz/oscuridad y temperatura de 25 ± 2°C por un periodo de cuatro semanas, tiempo durante el cual se evaluaron de forma visual las siguientes variables: Porcentaje de contaminación total = (Número de explantes contaminados por tratamiento/Número total de explantes por tratamiento) * 100; Porcentaje de contaminación por hongos = (Número de explantes contaminados con hongos por tratamiento/Número total de explantes por tratamiento) * 100; Porcentaje de contaminación por bacterias = (Número de explantes contaminados con bacterias por tratamiento/Número total de explantes por tratamiento) * 100; y Porcentaje de sobrevivencia = (Número de explantes vivos por tratamiento/Número total de explantes por tratamiento) * 100.

Análisis estadístico

Para el análisis de los datos 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

Contaminación total de los explantes

Los resultados obtenidos en el análisis de varianza para la variable porcentaje de contaminación (Tabla 2) muestran que no se presentaron diferencias estadísticas entre los métodos de desinfección evaluados conjuntamente para las dos variedades de yuca. Al realizar la prueba de comparación de promedios entre los métodos de desinfección no se detectó diferencias estadísticas entre los tres métodos de desinfección evaluados, donde se presentaron los valores de 40.47 % para el método de desinfección 3 (M3), 38.09 % para el método de desinfección 1 (M1) y 35.71 % para el método de desinfección 2 (M2) en las variedades de yuca evaluadas.

Tabla 2. Análisis de varianza para el porcentaje de contaminación evaluado en dos variedades de yuca con tres métodos de desinfección.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Método de desinfección	2	68.0	34.0	0.6	0.54	ns
Variedad	1	11 609.9	11 609.9	215.0	<0.0001	**
Método x Variedad	2	430.7	215.4	3.9	0.04	*
Error	12	647.9	53.99			
Total	17	12 756.6				

Coeficiente de variación = 19.2%; GL = Grados de libertad; SC = Suma de cuadrados; CM = Cuadrados medios; F = Valor de F; Pr>F = Probabilidad del valor F; Sig. = significancia; * = significativo ($p<0.05$); ** = altamente significativo ($p<0.01$); ns = no significativo.

Sin embargo, en la Tabla 2 también se observa que entre las variedades si hubo diferencias estadísticas altamente significativas ($p<0.01$), lo cual indica que una de las variedades presentó una respuesta de valor promedio de contaminación diferente a la otra. La interacción de método de desinfección por variedad

presentó diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) como resultado de la interacción que se presentaron entre las variedades con el método de desinfección, este resultado demuestra que el componente genético de cada variedad tiene un efecto diferencial sobre los métodos de desinfección para el establecimiento *in vitro* de yuca.

La prueba de comparación de promedios de Tukey identificó diferencias de contaminación entre las variedades de yuca (Figura 1). La variedad Corpoica La Francesa presentó el menor valor promedio de contaminación con un 12.7 %, mientras que la variedad Corpoica Cumbre 3 presentó el mayor valor promedio de contaminación con un 63.49 %. Los resultados del presente estudio apoyan lo reportado por Menegazzo et al. (2019), quienes en un estudio de establecimiento *in vitro* de cuatro variedades de yuca alcanzaron porcentajes de contaminación por hongos y bacterias entre el 40 y el 56.25 %, indicando que las diferencias en los resultados se obtuvieron debido a las variedades evaluadas por haber un efecto marcado en el genotipo, ya que unas variedades son más susceptibles de contaminación que otras.

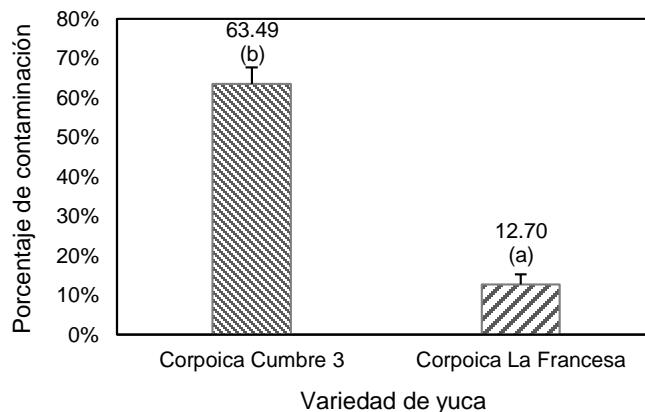


Figura 1. Comparación de valores promedio de contaminación obtenido en dos variedades de yuca a partir de tres métodos de desinfección a base de hipoclorito de sodio. Valores con letra diferente difieren estadísticamente.

Al realizar el análisis de varianza por variedad, se logró identificar que la variedad Corpoica La Francesa presentó diferencias estadísticas altamente significativas ($p<0.01$) entre los métodos de desinfección evaluados, indicando que al menos uno de los métodos de desinfección presentó un valor promedio de contaminación diferente a los demás, mientras que la variedad Corpoica Cumbre 3 no presentó diferencias estadísticas para esta fuente de variación (Tabla 3).

Tabla 3. Análisis de varianza para el porcentaje de contaminación evaluado con tres métodos de desinfección, por variedad.

Fuente de variación	GL	Cuadrados medios	
		Corpoica Cumbre 3	Corpoica La Francesa
Método	2	90.68 ns	158.67 **
Error	6	105.78	2.21
Total	8		
CV		16.2	11.7

GL = grados de libertad* = significativo ($p < 0.05$); ns = no significativo;

** = altamente significativo ($p < 0.01$).

Al analizar los tratamientos por separado, se pudo observar que en la variedad Corpoica La Francesa, la prueba de comparación de promedios de Tukey identificó diferencias entre los tres métodos de desinfección, presentando el de menor valor el tratamiento 4 (T4) con un promedio de contaminación de 4.76 %. Por el contrario, los mayores valores promedio de contaminación se presentaron en la variedad Corpoica Cumbre 3, específicamente en los tratamientos 3 y 5 (T3 y T5 respectivamente), donde en ambos se obtuvo valores del 66.6 % (Figura 2).

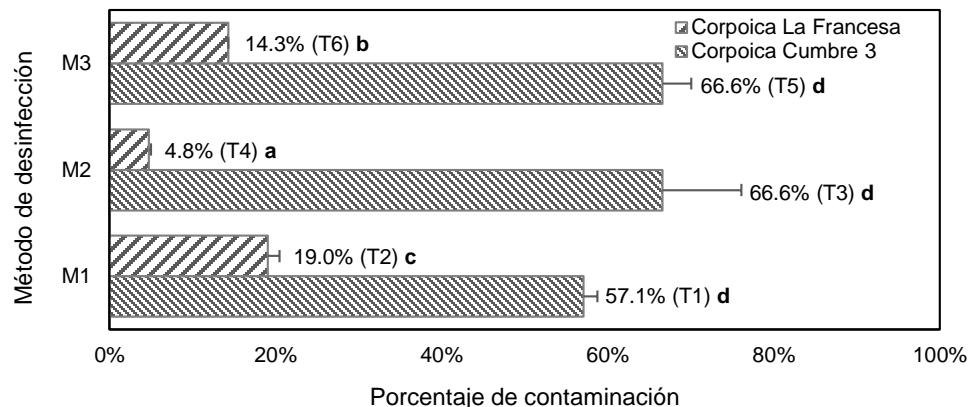


Figura 2. Porcentaje de contaminación encontrado en las variedades de yuca Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa a partir de la implementación de tres métodos de desinfección a base de hipoclorito de sodio. Valores con letra diferente difieren estadísticamente.

Resultados similares fueron obtenidos por Menegazzo et al. (2019), quienes informan que las diferencias en el porcentaje de contaminación se deben en gran parte a la acción superficial del hipoclorito de sodio como agente desinfectante y a la presencia endógena de microrganismos contaminantes en los tejidos. De acuerdo con Laynez-Garsaball y Sánchez-Cuevas (2006), las diferencias en los porcentajes de contaminación posiblemente también se deben a la procedencia inicial del material vegetal establecido en el invernadero, debido a que la concentración de agentes patogénicos presente en los tejidos depende

de las condiciones de crecimiento de las plantas donantes, siendo mayor en aquellas que provienen de campo en comparación con las que proceden de lugares con condiciones ambientales controladas como los viveros.

Tipo de contaminación en los explantes

Las evaluaciones realizadas a las unidades experimentales permitieron identificar dos tipos de agentes contaminantes, hongos y bacterias, y en algunos casos la mezcla de estos dos (Figura 3).



Figura 3. Agentes contaminantes en el establecimiento *in vitro* de yuca. A. Hongos. B. Bacterias. C. Combinación de hongos y bacterias. Fotos: Claudia Lorena Narváez. Fuente: Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Palmira, Palmira, Valle del Cauca, Colombia. 2021.

El mayor porcentaje de contaminación presentado fue ocasionado por bacterias con un 19.05 % de explantes contaminados, seguido de contaminación por hongos con un 18.25 % y la mezcla de hongos y bacterias con un 0.79 % de explantes contaminados (Figura 4). Según Dutra y Silva (2009), la contaminación de origen

endógeno es una de las principales causas de pérdida de explantes en la etapa de establecimiento *in vitro*, especialmente si es de origen bacteriano, ya que se pueden alcanzar tasas de contaminación superiores al 90 % cuando se ha empleado hipoclorito de sodio al 1 % como agente desinfectante.

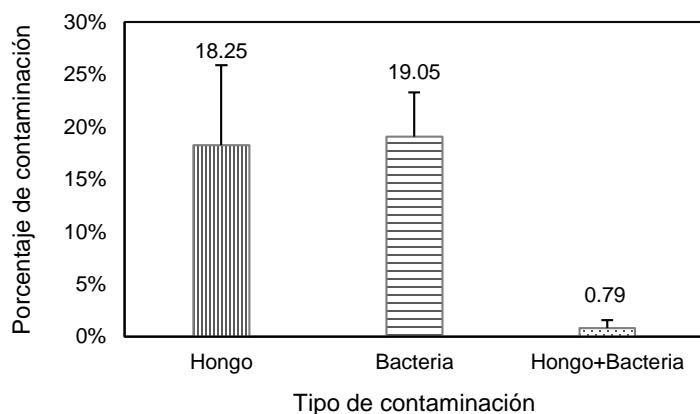


Figura 4. Tipo de contaminación presentada en el establecimiento *in vitro* de yuca, variedades Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa.

De acuerdo con los resultados y al hacer el análisis individual por tratamiento, se observó que para la variedad Corpoica La Francesa el principal agente contaminante fueron las bacterias variando los porcentajes de contaminación entre 4.8 y 14.3 % y en menor medida los hongos (4.8 %), los cuales solo se encontraron en el tratamiento 2. La variedad Corpoica Cumbre 3 presentó los mayores porcentajes de

contaminación para los dos tipos de agentes contaminantes, fluctuando entre 19.1 y 33.3 % para bacterias y entre 28.6 y 38.1 % para hongos. Además, el tratamiento 5 (T5) correspondiente a la variedad Corpoica Cumbre 3 fue el único tratamiento en presentar los tres tipos de contaminación (bacterias, hongos y la mezcla de ambos) (Figura 5).

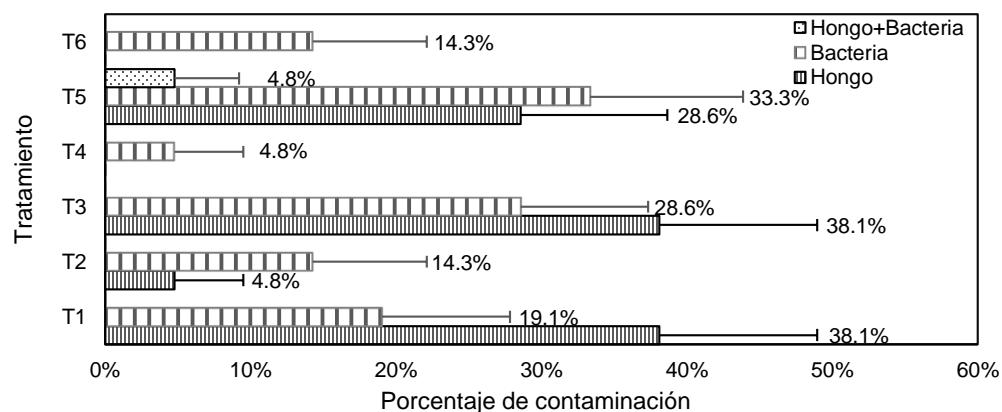


Figura 5. Tipo de contaminación presentada en el establecimiento *in vitro* de dos variedades de yuca por tratamiento de desinfección evaluado. T1: Tratamiento 1 (Corpoica Cumbre 3 + M1), T2: Tratamiento 2 (Corpoica La Francesa + M1), T3: Tratamiento 3 (Corpoica Cumbre 3 + M2), T4: Tratamiento 4 (Corpoica La Francesa + M2); T5: Tratamiento 5 (Corpoica Cumbre 3 + M3), T6: Tratamiento 6 (Corpoica La Francesa + M3).

Según Gutierrez et al. (2019), uno de los factores que podría influir en la obtención de bajos porcentajes de contaminación en los explantes establecidos, es reducir su tamaño en la fase de desinfección. Sin

embargo, los resultados obtenidos también permiten establecer la necesidad de mejorar la metodología de desinfección de la variedad Corpoica La Francesa con el uso de bactericidas, y la búsqueda de una

metodología de desinfección de amplio espectro para la variedad Corpoica Cumbre 3. Una de las alternativas que se podrían evaluar para disminuir pérdidas por contaminación bacteriana en yuca es la reportada por Corozo et al. (2020), quienes indican que con el uso de antibióticos como la amoxicilina en concentraciones de 5 mg l⁻¹ en el medio de cultivo se pueden obtener tasas de contaminación bacteriana del 0 %. Sin embargo, es importante indicar que, el uso indiscriminado de este tipo sustancias no garantiza la eliminación total de bacterias, sino que, por el contrario, podrían generar retardos en su metabolismo, llegando incluso a inducir resistencia a la presencia de antibióticos (Arbeláez et al., 2016).

Con respecto a la contaminación causada por hongos, Ross et al. (2017) informaron que obtuvieron bajos porcentajes de contaminación fúngica en yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.-Hil.) cuando hicieron uso de un fungicida de contacto de amplio espectro en la etapa de desinfección, al sumergir los explantes en una solución de fungicida (Captan®, 0.5 %) durante 20 minutos, obteniendo tasas de contaminación fúngica en los explantes que oscilaron entre el 3.5 y el 5.9 %, por lo que se podría evaluar esa metodología en la variedad Corpoica Cumbre 3.

Sobrevivencia de los explantes

Según lo reportado por Casanova-Alvino et al. (2019), los explantes que son considerados como sobrevivientes, son aquellos que fueron establecidos y mantuvieron su capacidad de poder crecer y desarrollarse. En ese sentido, para la variable porcentaje de sobrevivencia, el análisis de varianza encontró diferencias estadísticas significativas ($p<0.05$) entre las variedades y diferencias altamente significativas ($p<0.01$) para los métodos de desinfección y la interacción entre el método de desinfección y las variedades evaluadas, lo cual indica que se presentaron diferentes valores promedio de sobrevivencia de los explantes de yuca sometidos a los diferentes métodos de desinfección y entre las variedades (Tabla 4).

Tabla 4. Análisis de varianza para el porcentaje de supervivencia registrado en dos variedades de yuca con tres métodos de desinfección.

Fuente de variación	GL	SC	CM	F	Pr > F	Sig.
Método de desinfección	2	839.0	419.5	5.29	0.002	**
Variedad	1	1 133.8	1 133.8	14.29	0.022	*
Método x Variedad	2	839.0	419.5	5.29	0.002	**
Error	12	952.4	79.36			
Total	17	3 764.2				

Coeficiente de variación = 9.7%.

De acuerdo con los resultados, el método 3 (M3) de desinfección presentó el mayor valor promedio de sobrevivencia de explantes con un 100 % para ambas variedades, seguido del método 2 (M2) con un 93 % de sobrevivencia y el método 1 (M1) con 83.5 % (Figura 6). La comparación entre las variedades permitió identificar que la variedad Corpoica Cumbre 3 presentó un 100 % de sobrevivencia, mientras que la variedad Corpoica La Francesa presentó un valor promedio de sobrevivencia del 84.3 %.

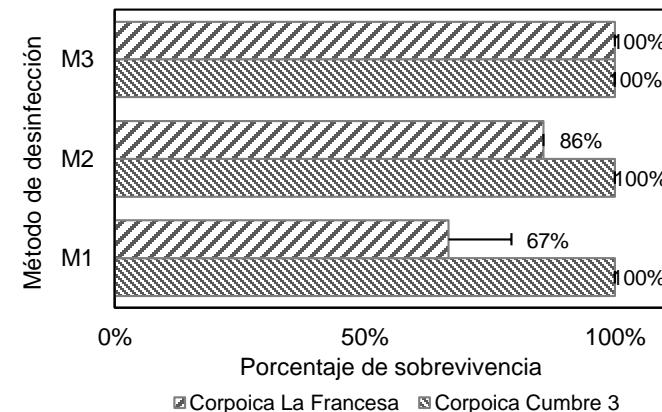


Figura 6. Porcentaje de sobrevivencia encontrado en las variedades de yuca Corpoica Cumbre 3 y Corpoica La Francesa a partir de tres métodos de desinfección.

Resultados similares fueron obtenidos por Laynez-Garsaball y Sánchez-Cuevas (2006), quienes observaron que los tratamientos con mayores porcentajes de sobrevivencia de los explantes, son aquellos en donde las concentraciones de hipoclorito de

sodio fueron menores, mientras que el porcentaje de sobrevivencia disminuyó en los tratamientos con altas concentraciones de este desinfectante, indicando el efecto tóxico de este compuesto en los tejidos y señalando una relación inversamente proporcional entre el porcentaje de sobrevivencia y la concentración del hipoclorito de sodio. De acuerdo con los resultados obtenidos en esta investigación, sería importante evaluar otras metodologías más eficientes de desinfección que contemplen el uso de antibióticos o antibacteriales y que a la vez no sean tan tóxicos y/o dañinos con los tejidos de los explantes para la variedad Corpoica la Francesa, mientras que para la variedad Corpoica Cumbre 3 valdría la pena identificar métodos de desinfección que sean más efectivos contra hongos y bacterias, pero que sigan manteniendo los porcentajes de sobrevivencia de los explantes, para que de esta manera se puedan establecer protocolos eficaces para la desinfección y establecimiento de estas variedades de yuca *in vitro* y así poder obtener material de simbra con características de calidad sanitaria y bajas pérdidas de material vegetal por contaminación.

CONCLUSIONES

Es posible identificar métodos de desinfección específicos por cada variedad de yuca a establecer *in vitro*, ya que se observó que el componente genético tiene un efecto diferencial sobre los métodos de desinfección. La desinfección de los explantes a base hipoclorito de sodio al 2.5 % por 10 minutos presenta ventajas en comparación a los otros métodos evaluados, ya que se obtuvo un porcentaje de contaminación del 4.8 % y un porcentaje de sobrevivencia del 86 %, por lo que para este estudio le permite ser considerado como el de mejores resultados para el establecimiento *in vitro* de yuca variedad Corpoica La Francesa. Se recomienda la evaluación de metodologías y productos de desinfección de amplio espectro para la variedad Corpoica Cumbre 3, ya que es más susceptible a contaminación por hongos y bacterias que la variedad Corpoica La Francesa.

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 “Vinculación de tecnologías para contribuir a mejorar la producción, la productividad y calidad de la yuca destinada al consumo fresco y la

transformación industrial en regiones productoras de Colombia” ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - AGROSAVIA. A Claudia Lorena Narváez por facilitar las imágenes. A los revisores de la revista, cuyas observaciones y sugerencias mejoraron los contenidos desarrollados en el presente trabajo.

BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera-Arango, GA; Gómez-López, ED; González-Mejía, A. 2019. Callogénesis en cultivares híbridos de *Cocos nucifera* L. mediante cultivo *in vitro* de inflorescencias inmaduras (en línea). Biotecnología Vegetal 19(4): 277-284. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <http://scielo.sld.cu/pdf/bvg/v19n4/2074-8647-bvg-19-04-277.pdf>
- Arbeláez, LM; Montoya, J; Saavedra, SA. 2016. Evaluación de protocolos para el establecimiento y desinfección *in vitro* de meristemos de plátano *Musa* spp. (en línea). Vitae 23:S391-S395. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <https://www.proquest.com/docview/1783661064>
- Casanova-Alvino, FE; Domínguez-Torrejón, G; Tapia-Figueroa, ML. 2019. Determinación de medios de cultivo para el establecimiento *in vitro* de bambú (*Guadua weberbaueri*) (en línea). Anales Científicos 80(1): 150-159. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <https://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/acu/article/view/1380>
- Corozo, L; Héctor, E; Macías, F; Vásquez, B; Pinargote, B; Cobaña, G; Mendoza, A; Arteaga, F. 2020. Micropagación de dos variedades ecuatorianas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) (en línea). Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences 36(3): 224-232. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <https://revistas.udec.cl/index.php/chjaas/article/view/2985/3069>
- Durango-Ballesteros, E; Suárez-Gómez, AM; Padilla-Pérez, Y. 2019. Formación de callos y embriones somáticos en dos variedades de yuca (en línea). RIADS: Revistas de Investigación Agropecuaria y Desarrollo Sostenible 4(1):28-33. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <http://revistas.sena.edu.co/index.php/riads/article/view/3283>
- Dutra, LF; Silva, NDG da. 2009. Establecimiento *in vitro* de Erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) (en línea). Consultado 28 abril 2021. Disponible en:

- <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/747440/1/comunicado215.pdf>
- Gutierrez, Y; Folgueras, M; Santos, A; López, J; Medero, V; Reinaldo, D; Alvarado-Capó, Y. 2019. Manejo de la contaminación bacteriana en la propagación *in vitro* de yemas axilares de *Colocasia esculenta* cv. 'INIVIT MC-2012' (en línea). *Biotecnología Vegetal* 19(2):147-152. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2074-86472019000200147&script=sci_arttext&tlang=es
- Hernández, J. 2019. Gestión de vertimientos líquidos de la industria del almidón de yuca en Santander de Quilichao (en línea). *Revista SENNOVA: Revista del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación* 4(1):44-56. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <http://revistas.sena.edu.co/index.php/sennova/article/view/2091>
- Layne-Garsaball, JA; Sánchez-Cuevas, MC. 2006. Desinfección de ápices de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) cv. 'Querepa Rosada' con hipoclorito de sodio (en línea). *Revista Científica UDO Agrícola* 6(1):60-66. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2252782>
- León-Pacheco, R; Pérez-Macias, M; Fuenmayor-Campos, F; Rodríguez-Izquierdo, A; Rodríguez-Izquierdo, G; Marín-Rodríguez, C. 2018. Calidad de las raíces en cuatro clones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) y efecto del régimen de riego (en línea). *Bioagro* 30(1):87-91. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en http://ve.scieno.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-33612018000100009
- León-Pacheco, RI; Fuenmayor-Campos, FC; Rodríguez-Izquierdo, AJ; Montilla, J; Pinto, O; Flores, Y; Romero, A; García, M; Correa, E. 2019. Selección de clones promisorios de yuca provenientes del programa de mejoramiento genético del INIA-CENIAP, Venezuela (en línea). *Bioagro* 31(2):143-150. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <http://bdigital2.ula.ve:8080/xmlui/handle/654321/4240>
- Mahdi, H; Edward, R. 2017. *In vitro* propagation of Malaysian cassava (*Manihot esculenta* Crantz) variety through low-cost tissue culture media (en línea). *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology* 2(4):2165-2168. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <https://ijeab.com/detail/in-vitro-propagation-of-malaysian-cassava-manihot-esculenta-crantz-variety-through-low-cost-tissue-culture-media/>
- Menegazzo, RF; Rickli, ME; Menegazzo, AW; Lopes, AD; Manfio, CE; Koefender, J. 2019. *In vitro* multiplication of cassava varieties (en línea). *Arquivos de Ciências Veterinárias e Zoologia da UNIPAR* 22(4):101-107. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <https://revistas.unipar.br/index.php/veterinaria/article/view/7618>
- Murashige, T; Skoog, F. 1962. A revised medium for rapid growth and bioassay with tobacco tissue cultures (en línea). *Physiologia Plantarum* 15(3):473-497. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
- 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.
- Pérez, H; Rodríguez, I. 2018. Cultivos tropicales de importancia económica en Ecuador (arroz, yuca, caña de azúcar y maíz). UTMACH, Machala, Ecuador. 242 p.
- 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.
- Ross, S; Arriaga, ME; Pechi, E. 2017. Establecimiento *in vitro* de Yerba mate (*Ilex paraguariensis* A. St.- Hil.) nativa de Uruguay (en línea). *Agrociencia Uruguay* 21(1):15-23. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en http://www.scieno.edu.uy/scielo.php?pid=S2301-15482017000100015&script=sci_arttext
- Santos, JA; Narváez, L; Salcedo, SM; Acevedo, AN; Mercado, LC; Salcedo, JG. 2019. Fisiología del cultivo de yuca en el bosque seco tropical de Sucre – Colombia (en línea). *Temas Agrarios* 24(1):17-26. Consultado 7 dic. 2021. Disponible en <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/218/21889002/218897002.pdf>

SAS Institute. 2018. SAS User's Guide: Statistics, version 9.4. SAS Institute. Cary, North Caroline USA.

Suárez, L; Mederos, V. 2011. Apuntes sobre el cultivo de la yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Tendencias actuales (en línea). Cultivos tropicales 32(3):27-35. Consultado 7 dic. 2021.

Disponible en
http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0258-59362011000300004&script=sci_arttext&tlang=en

Artículo recibido en: 25 de octubre 2021

Aceptado en: 13 de diciembre 2021