

**BIOTECNOLOGÍA EN EL
SECTOR AGROPECUARIO
Y AGROINDUSTRIAL**

Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial

ISSN: 1692-3561

ISSN: 1909-9959

hwillada@unicauca.edu.co

Universidad del Cauca

Colombia

PARDO-PLAZA, YURI-JANIO; CANTERO-GUEVARA, MIRIAM-
ELENA; MIRANDA- CARDONA, CRISTIAN-ANTONIO
Efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunos componentes de
rendimiento en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad MCol 2066
Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial,
vol. 21, núm. 1, 2023, Enero-Junio, pp. 62-72
Universidad del Cauca
Colombia

DOI: <https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1935>

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=380873851005>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en [redalyc.org](https://www.redalyc.org)

[redalyc.org](https://www.redalyc.org)

Sistema de Información Científica Redalyc

Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso
abierto

Efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunos componentes de rendimiento en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad MCol 2066*

Effect of 1-naftalenacetic acid on some yield components in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) variety MCol 2066

PARDO-PLAZA, YURI-JANIO¹; CANTERO-GUEVARA, MIRIAM-ELENA²; MIRANDA- CARDONA, CRISTIAN-ANTONIO³

Historial del artículo

Recibido para evaluación: 27 de mayo 2021

Aprobado para publicación: 15 de junio 2022

* Proyecto de investigación de origen: "Efecto de bacterias nativas solubilizadoras de fósforo y fijadoras de nitrógeno sobre el desarrollo de cultivos de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad MCol 2066 (chirisa) en condiciones de invernadero". Financiación: Universidad de Córdoba. Convocatoria interna.

- 1 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de Biotecnología del Departamento de Química y de Biología. Dr. Ciencias Agrícolas. Montería, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-5264-1606>
- 2 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de investigaciones Microbiológicas y Biomédicas de Córdoba. Ph.D. Ciencias Básicas Biomédicas, Montería, Colombia. <https://orcid.org/0000-0001-8941-1276>
- 3 Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Grupo de Biotecnología del Departamento de Química y de Biología. Químico. Montería, Colombia. <https://orcid.org/0000-0002-1110-3094>

Correspondencia: miriamcantero@correo.unicordoba.edu.co

Cómo citar este artículo

PARDO-PLAZA, YURI-JANIO; CANTERO-GUEVARA, MIRIAM-ELENA; MIRANDA- CARDONA, CRISTIAN-ANTONIO. Efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunos componentes de rendimiento en yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedad MCol 2066. Revista Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, v. 21, n. 1, 2023, p.62-72 Doi:<https://doi.org/10.18684/rbsaa.v21.n1.2023.1935>

RESUMEN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es uno de los principales alimentos utilizado como fuente de energía, proporciona el alimento básico para alimentar a más de 800 millones de personas en todo el mundo. En algunos países y zonas colombianas productoras de yuca el aumento en la producción ha disminuido, debido a que no se cuenta con la tecnología y conocimiento suficiente para contribuir a la demanda actual de yuca. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del ácido 1-naftalenacético sobre algunas variables de rendimiento de yuca variedad MCol 2066 (chirosa). Se estableció un cultivo homogéneo de yuca y se obtuvieron esquejes de 15 cm de longitud, los cuales se sometieron a tres tiempos de inmersión (5, 10 y 20 min) en cuatro concentraciones de ácido 1-naftalenacético (0, 100, 200 y 300 ppm). Los datos se colectaron a los 240 días después de la siembra. Las variables evaluadas porcentaje de almidón, materia seca, y masa fresca de raíces, presentaron diferencias significativas entre tratamientos. Los valores más altos se observaron en el tratamiento a 20 min de inmersión en 200 ppm de ácido 1-naftalenacético para las variables, almidón (45,56 %), materia seca (51,6 %), y masa fresca (73,270 kg/ha). A las condiciones del estudio, este tratamiento fue el mejor inductor para aumentar el rendimiento del cultivo, debido a que influyó positivamente, mostrando mejores resultados en las variables porcentaje de almidón, materia seca y masa fresca de la raíz, lo cual podría ser favorable para mejorar el rendimiento del cultivo de yuca variedad MCol 2066 (chirosa) en la región.

PALABRAS CLAVE:

Raíz; Materia seca; Almidón; Auxina; Rendimiento; Yuca; Ácido 1-naftalenacético; *Manihot esculenta*; Masa fresca; Esquejes.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) is one of the main foods used as an energy source that is also as one of the staples feeding more than 800 million people worldwide. In some countries as well as some Colombian areas known for their cassava production, there has been a decrease in their production growth due to the fact that there is neither enough technology nor knowledge to contribute to the current demand for cassava. The objective of this study was to evaluate the effect of 1-naphthaleneacetic acid on some yield-related variables on variety MCol 2066 of cassava (chirosa). A homogeneous crop of cassava was established and cuttings of 15 cm in length were obtained, which in turn were subjected to three immersion times (5, 10 and 20 min) in four concentrations of 1-naphthaleneacetic acid (0, 100, 200 and 300 ppm). Data were collected 240 days after planting. The evaluated variables which were percentage of starch, dry matter, and fresh root mass, showed significant differences between treatments. The highest values were observed in the treatment at 20 min immersion in 200 ppm of 1-naphthaleneacetic acid for the variables, starch (45,56 %), dry matter (51,6 %), and fresh mass (73.270 kg/ha). Under the conditions of the study, this treatment was the best inducer to increase the yield of the crop, because it influenced positively on such results, showing better results in the variables percentage of starch, dry matter and fresh mass of the root, which could be favorable to improve the yield of the crop of variety MCol 2066 cassava (chirosa) in the region.

KEYWORDS:

Root; Dry matter; Starch; Auxin; Yield; Cassava; 1-naphthalene acetic acid; *Manihot esculenta*; Fresh mass; Cutting.

INTRODUCCIÓN

La yuca (*Manihot esculenta* Crantz) es uno de los principales alimentos utilizado como fuente de energía en el mundo, debido a que proporciona una cantidad importante de hidratos de carbono, proteínas, minerales y representa el futuro de la seguridad alimentaria en algunos países en desarrollo (Kondhare *et al.*, 2021). Sin embargo, actualmente son necesarios estudios que permitan mejorar su manejo y producción (Delgado *et al.*, 2020). La yuca o mandioca es una dicotiledónea que pertenece a la familia Euphorbiaceae, probablemente originaria de Suramérica (Anikwe and Ikenganyia, 2018). A nivel mundial se producen aproximadamente 280 millones de toneladas de yuca; el 61 % de este total se cosecha en África, el 29 % en Asia y el 9,8 % en América (Corozo *et al.*, 2020; Faostat, 2020).

La yuca es un cultivo robusto que se adapta bien a condiciones climáticas extremas excepto a la lluvia excesiva y las consiguientes inundaciones, es probable que aumente su importancia donde las áreas aptas para cultivos actualmente disponibles, disminuyen debido al cambio climático (Cock, 2021). La yuca se produce como un cultivo de subsistencia por pequeños productores y se integra rápidamente dentro de los sistemas agrícolas tradicionales, es fácil de cultivar y procesar, está disponible durante todo el año, actuando como un amortiguador ante la falta de otros cultivos (Anikwe and Ikenganyia, 2018; Waisundara, 2018) suministrando alimento a millones de personas en el mundo (Howeler *et al.*, 2013; Carvalho *et al.*, 2018). Los esfuerzos de investigación están dirigidos al mejoramiento genético de la planta y del cultivo con el fin de optimizar la producción de raíces de almacenamiento, los valores nutricionales y la utilización industrial (Carvalho *et al.*, 2018).

En Colombia, el área promedio cultivada con yuca en el 2019 fue de 259.931 ha, se cultiva en los 32 departamentos, sin embargo, es preponderante en la costa atlántica, los llanos y el Cauca. Los departamentos con mayores áreas sembradas son Bolívar (19 %), Córdoba (10 %), Magdalena (10 %), Sucre (8 %) y Cauca (4 %), mientras los que aportan mayores volúmenes de producción en concordancia con los niveles de siembras, son Bolívar (17 %), Córdoba (11 %) y Sucre (8 %) (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2019). La región del Sinú medio posee las condiciones requeridas para diferentes sistemas productivos, sin embargo, no se logra contribuir al incremento competitivo en los rendimientos del cultivo de la yuca, por falta de conocimientos y tecnologías adecuadas. En esta zona se ha evidenciado que pequeños productores no cuentan con los conocimientos técnicos ni con los recursos económicos que les permita mejorar la producción y rendimiento de sus cultivos, razón por la cual es importante implementar nuevas alternativas como son sistemas de siembra tecnificados, uso eficiente de productos agroquímicos, semillas mejoradas y certificadas, que permitan potencializar las condiciones del cultivo. Las raíces de yuca son una excelente fuente de materia prima para la producción de almidón, bioetanol, plásticos biodegradables y muchos otros usos (Dissanayake *et al.*, 2020). Dentro de las raíces y tubérculos (yuca, papa, camote y ñame) la yuca presentó la mayor tasa de crecimiento de consumo anual hasta el 2020, con 1,9 % y el segundo lugar en términos de producción de forraje con 0,95 % (Santos *et al.*, 2019).

La yuca se propaga tradicionalmente por estacas o esquejes de tallos y su ciclo de crecimiento es superior a 10 meses (Prosper *et al.*, 2018), por esta razón, la calidad de los tallos y la capacidad de enraizamiento contribuye al establecimiento del cultivo (Burgos *et al.*, 2009). La proliferación y elongación de raíces son reguladas por las auxinas, en general, los reguladores de crecimiento vegetal modifican las características del crecimiento de las plantas y causan diversas respuestas fisiológicas (Lopez *et al.*, 2019). Una de las auxinas más usadas en la investigación de cultivos de tejidos vegetales para manipular las respuestas de crecimiento es el ácido 1-naftalenacético (ANA) (Kondhare *et al.*, 2021), cuya aplicación tanto en viveros como en la producción a campo, ha mostrado la capacidad de inducir el proceso de enraizamiento en diferentes cultivos, particularmente en yuca (Burgos *et al.*, 2009; Elmongy *et al.*, 2018). Estudios han demostrado que la aplicación de ANA sobre estacas de yuca del cultivar amarilla incrementó los parámetros de calidad, porcentaje de materia seca, diámetro y longitud de raíces de reserva, concluyendo además que las variaciones encontradas en cuanto a las variables de rendimiento y calidad están más influenciadas por el cultivar que por el regulador analizado (Burgos *et al.*, 2009). El mejoramiento actual de la yuca se centra principalmente en la resistencia y en rasgos de rendimiento complejos, como el contenido de materia seca y el rendimiento de las raíces (Rüscher *et al.*, 2021).

Bajo este contexto es posible que la aplicación de diferentes concentraciones de ANA sobre los esquejes de yuca plantada a campo induzca mejor rendimiento, lo cual se reflejará en un mayor porcentaje de almidón y masa fresca de raíces de yuca. De acuerdo con lo anterior, se llevó a cabo la aplicación de cuatro concentraciones de ANA sobre esquejes de yuca de la variedad MCol 2066 (chirosa) con diferentes tiempos de inmersión en presiembra, con el objetivo de determinar la concentración de ANA y el tiempo de inmersión que permita incrementar los parámetros de rendimiento de raíces (número, diámetro, longitud, contenido de materia seca y masa fresca) y su impacto en el porcentaje de almidón.

MÉTODO

El estudio se realizó en la vereda el salado del Municipio de Ciénaga de Oro en el departamento de Córdoba, situado a 8°52' 59.962518'' N. y 75° 36' 24.840215'' W, durante los meses de mayo a diciembre del 2019. El clima de la zona es subtropical, con precipitación anual promedio de 1,350 mm y temperatura media anual de 27,8 °C (Combatt *et al.*, 2017). Los suelos son planos, franco-arenosos, bien drenados, con pH de 5,6.

La investigación fue de tipo cuantitativa. El diseño experimental utilizado fue factorial con un arreglo completamente al azar, utilizando unidades experimentales con dimensiones de 7 por 8 m, separadas entre sí 2 m, ocupando un área total de 120 m por 45 m. En cada parcela se plantaron manualmente 72 estacas en posición vertical, con una distancia de 1 m entre plantas y de 1 m entre surcos, lo cual equivale a una densidad de siembra de 10.000 plantas por hectárea.

Descripción de los tratamientos

En la zona de estudio se estableció un cultivo homogéneo de yuca de la variedad MCol 2066 (chirosa) y a los diez meses después de la siembra, se cortaron y almacenaron los tallos en posición vertical bajo sombra. Posteriormente, a partir de los tallos se obtuvieron esquejes o estacas de 15 cm de longitud, el corte se hizo en forma redonda para facilitar el enraizamiento, seleccionando los esquejes de mejor calidad y homogeneidad en longitud y diámetro. Seguidamente, se realizó la inmersión de los esquejes en ANA, formulado comercialmente como concentrado soluble (Hormonagro A.N.A. 17,2 g/L Colinagro), a cuatro concentraciones (0, 100, 200 y 300 ppm) durante tres tiempos de inmersión 5, 10 y 20 min, dando como resultado 12 tratamientos con 3 repeticiones cada ensayo, para un total de 36 unidades experimentales, como se observa en el cuadro 1. Para el tratamiento con 0 ppm, a los esquejes se les hizo una inmersión en agua destilada. Las concentraciones de ANA y tiempos de inmersión utilizados, resultaron de ensayos preliminares realizados a nivel de invernadero, con el fin de establecer las concentraciones y tiempos de mejor respuesta para el genotipo de yuca MCol 2066

Siembra del material vegetal

Para la siembra de los esquejes se preparó el terreno con dos pases de labranza convencional utilizando rastra de disco la cual rompe la capa superficial a 30 cm de profundidad aproximadamente. Los esquejes se sembraron manualmente según el diseño experimental. A este cultivo se le realizó un manejo integrado de malezas, plagas y enfermedades. El plan de fertilización se realizó con base en el análisis de suelos, el cual fue igual para todos los tratamientos realizados. Las variables de respuesta que se evaluaron en este estudio a los 240 días después de la siembra (DDS) fueron porcentaje de almidón, número, diámetro, longitud, contenido de materia seca y masa fresca de raíces. La longitud de las raíces se midió con ayuda de un flexómetro. Para determinar el contenido de materia seca y de almidón de yuca, se utilizó el método de gravedad específica, descrito por Toro.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos, cada ensayo se realizó por triplicado.

Tratamiento (T)	Concentración ácido 1-naftalenacético (ANA) partes por millón (ppm)	Tiempo de inmersión (minutos)
T1	0	5
T2	0	10
T3	0	20
T4	100	5
T5	100	10
T6	100	20
T7	200	5
T8	200	10
T9	200	20
T10	300	5
T11	300	10
T12	300	20

(1983), aplicando la ecuación 1.

$$GE = \frac{PFRAI}{(PFRAI - PFRAG)} \quad (\text{Ec. 1})$$

Donde:

GE es la gravedad específica, PFRAI es el peso fresco de raíces en el aire y PFRAG es el peso fresco de raíces en el agua.

Se han publicado tablas de conversión que permiten hallar el porcentaje de materia seca y de almidón para variedades de yuca cosechadas entre 10 y 12 meses de edad bajo las condiciones normales de producción en Colombia y valores de gravedad específica entre 1,02 y 1,19. A partir de los datos suministrados en dichas tablas se obtiene la ecuación 2 para estimar el contenido de materia seca (Toro, 1983).

$$\%MS = (GE \times 158,26) - 142,05 \quad (\text{Ec. 2})$$

Donde MS es la materia seca y GE es la gravedad específica.

El porcentaje de almidón en raíces frescas de yuca se determinó teniendo en cuenta que éste constituye alrededor del 85-90 % del contenido de materia seca, entonces el contenido de almidón puede ser estimado tomando un promedio de ese rango (0,875) por medio de la ecuación 3, (Aristizábal *et al.*, 2007).

$$\% \text{ Almidón} = \% \text{ materia seca} \times 0,875 \quad (\text{Ec.3})$$

El rendimiento de raíces frescas se obtuvo a los 240 DDS, para lo cual se tomaron cinco plantas por repetición a las que se le pesó el total de raíces frescas, se promedió el peso por repetición y se expresó en kilogramos por hectárea (kg/ha).

Análisis estadístico

Para el estudio de los datos obtenidos en campo a los 240 DDS, se les realizó un análisis de normalidad, para su posterior análisis de varianza y prueba de medias de Tukey al 5 %. Los análisis se realizaron utilizando el paquete estadístico MINITAB, versión 18.1.0.

RESULTADOS

Los resultados indican diferencias significativas para las variables porcentaje de almidón, materia seca y masa fresca de raíces. No se encontró diferencias estadísticas para diámetro, longitud y número de raíces por planta.

Contenido de materia seca de raíz

Al realizar la prueba de medias de Tukey ($p < 0,05$) se encontraron diferencias significativas entre T9 (51,6 % de materia seca) y los demás tratamientos evaluados. El porcentaje de materia seca de raíz más alto se obtuvo al sumergir los esquejes en una solución de 200 ppm de ANA durante 20 minutos (T9). Los tratamientos T12, T8, T5, T3 y T2, presentaron 45,08 % en promedio y los tratamientos T11, T10, T7, T6, T4, T1 mostraron, en promedio, el contenido más bajo en materia seca con 37,56 % (Figura 1). El Porcentaje más alto de materia seca de raíces hallado en este trabajo (51,6 %), fue superior a los valores de referencia registrados para esta variable en diferentes estudios de Aristizábal *et al.* (2007) con 20-45 %, Fakir *et al.* (2012) con 30-40 %, Mubanga *et al.* (2019) con 40,04-47,25 % y Howeler *et al.* (2013) con 250 a 300 kg por tonelada de raíz fresca. Contenidos de materia seca superiores al 30 % se consideran elevados (Mubanga *et al.*, 2019). Los resultados obtenidos pueden deberse a que el regulador ANA para las condiciones de T9, favoreció la definición de los componentes del rendimiento de manera significativa, lo cual podría indicar que las raíces reservantes presentaron la mayor capacidad de acumulación de materia seca, bajo dichas condiciones de concentración y tiempo de inmersión en ANA.

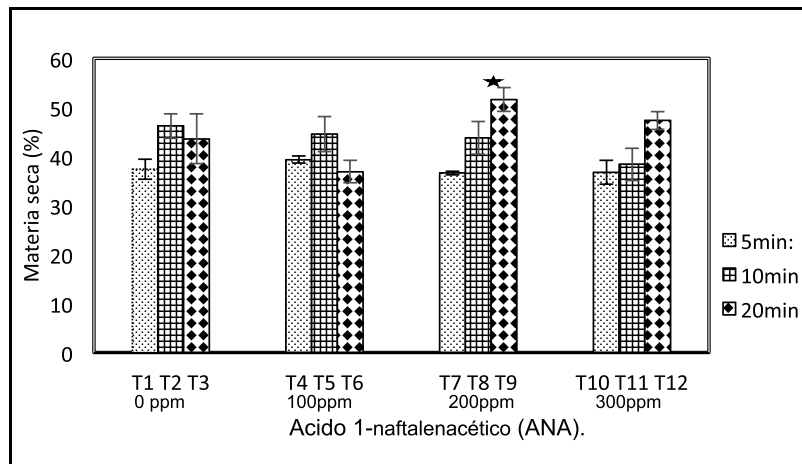


Figura 1: Materia seca de raíz por tratamientos (T): ANA en partes por millón (ppm) con respecto al tiempo de inmersión en minutos. Los valores representan la media $\pm$ Desviación estándar. ■ Diferencias significativas $p < 0.05$.

Masa fresca de raíz

La producción total de raíces frescas presentó diferencias significativas, el T9 mostró el mayor rendimiento con respecto a los demás tratamientos (73.270 kg/ha). Los tratamientos T12, T11, T10, T8, T7, T5, T4, T3 y T2 presentaron un promedio de producción de 58.246 kg/ha y con los tratamientos T6 y T1 se obtuvo en promedio la

producción más baja, de 50.265 kg/ha (Figura 2). Estos valores, en general, son más elevados que los valores de referencia publicados por Howeler *et al.* (2013), quienes en Colombia encontraron producciones desde 12.000 kg/ha para monocultivo de yuca sin fertilizar y 37.000 kg/ha en cultivos fertilizados, en tanto que Fuenmayor *et al.* (2012) evaluaron varios clones de yuca en Venezuela y encontraron valores entre 21.667 y 50.033 kg/ha.

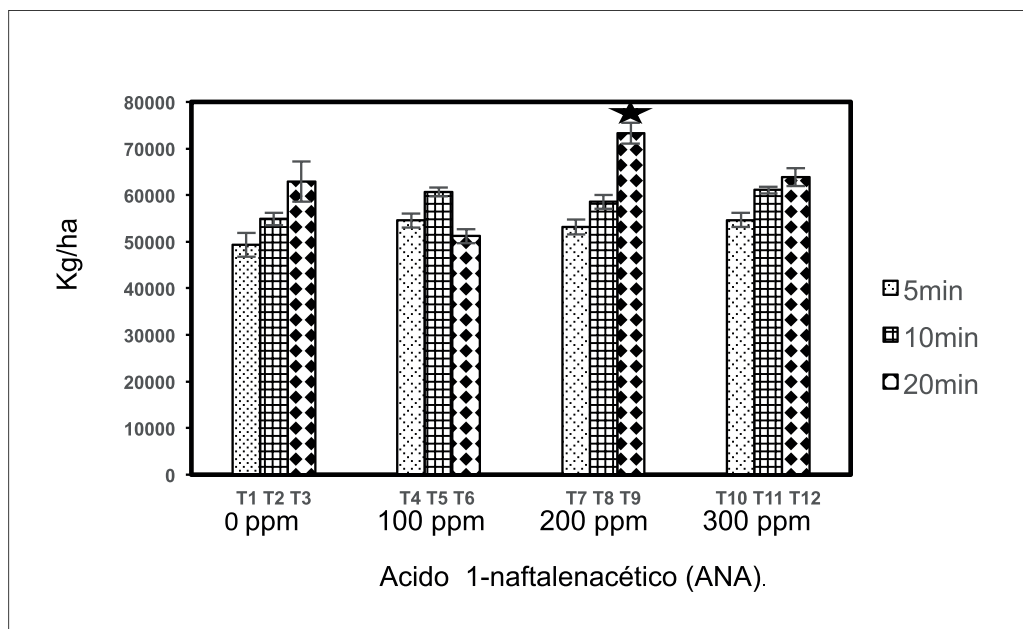


Figura 2: Masa fresca de raíz por tratamientos (T): ANA en partes por millón (ppm) con respecto al tiempo de inmersión en minutos. Valores representan la media $\pm$ Desviación estándar. ■ Diferencias significativas $p < 0,5$.

Porcentaje de almidón

El mayor porcentaje de almidón (45,15 %) se obtuvo en T9 y se demostró que éste es diferente estadísticamente ($p < 0,05$) de los otros tratamientos (Figura 3). T2, T3, T4, T5, T8 y T12 mostraron un promedio de 39,45 %, mientras que los tratamientos de menor porcentaje promedio de almidón (32 %) fueron T11, T1, T6, T10, T7. Estos resultados muestran una relación directa entre el contenido de materia seca y el contenido de almidón, lo cual concuerda con lo discutido por Mubanga *et al.* (2019). El contenido de almidón y materia seca en la yuca son algunas de las características más importantes para el procesamiento industrial, en la mayoría de los procesos, contenidos altos de almidón son sinónimo de alto rendimiento y junto con el contenido de agua, cianógenos y taninos en las raíces, varían según el genotipo, la ubicación y las condiciones ambientales (Aristizábal *et al.*, 2007; Carvalho *et al.*, 2018; Oghenechavwuko *et al.*, 2020). En el presente estudio se obtuvo un porcentaje de almidón que varió entre 32,0 y 45,15 %, superior al rango publicado por Fakir *et al.* (2012) de 25-30 %. El almidón es el segundo componente más abundante en la yuca y representa la mayor parte de los carbohidratos (96 %) que es el principal componente de la materia seca de la raíz. La industria se centra en cultivares con alto rendimiento de almidón y por lo tanto, el contenido de materia seca es la base para seleccionar la yuca por variedad (Mubanga *et al.*, 2019).

En el cuadro 2 se observan los resultados de las variables número, diámetro y longitud promedio de raíces. En los tratamientos T9 y T5 se observó tendencia a un mayor número de raíces, con valores promedio de 14,53 y 14,4 raíces/planta respectivamente. El número total de raíces promedio por planta para los diferentes tratamientos se encontró en un rango entre 11,47 y 14,53 raíces. Resultados obtenidos por Burgos *et al.* (2009) tuvieron una tendencia similar, demostrando que el tratamiento hormonal, favoreció el número de raíces reser-

vantes respecto al testigo en el cultivar de yuca palomita. Por otra parte, estudios sugieren que el número de raíces es un objetivo de mejoramiento para optimizar la producción de yuca Kengkanna *et al.*, (2019).

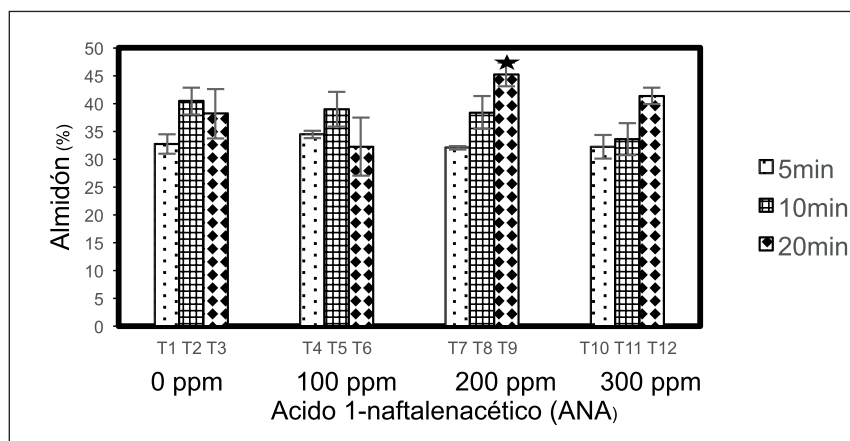


Figura 3: Porcentaje de almidón por tratamientos (T): ANA en partes por millón (ppm) con respecto al tiempo de inmersión en minutos. Valores representan el porcentaje $\pm$ Desviación estándar. ■ Diferencias significativas $p < 0,5$.

Cuadro 2. Número, longitud y diámetro de las raíces.

Tratamiento	Número de Raíces	Longitud Promedio de la Raíz. (cm)	Diámetro Promedio. (cm)
1	13,40 a	26,20 a	4,73 a
2	13,53 a	26,21 a	4,99 a
3	13,47 a	27,74 a	5,22 a
4	12,13 a	29,34 a	4,88 a
5	14,53 a	27,53 a	5,06 a
6	13,00 a	27,61 a	4,81 a
7	12,93 a	28,35 a	4,83 a
8	14,00 a	28,78 a	4,89 a
9	14,40 a	32,15 a	5,00 a
10	13,47 a	29,44 a	4,88 a
11	14,33 a	29,43 a	4,72 a
12	11,47 a	32,51 a	4,98 a
Coefficiente de Variación : CV	12,06	9,33	5,24
Letras iguales no hay diferencias significativas al 0,05% de acuerdo al test de Tukey			

Con respecto a la longitud de la raíz, se observaron tendencias con mayor longitud promedio en los tratamientos T12 (32,51 cm) y T9 (32,15 cm), es decir, los tratamientos con mayor concentración de ANA mostraron una tendencia de mejores resultados para longitud promedio en comparación con los tratamientos de menor concentración (0 y 100 ppm de ANA). Al aplicar la prueba del coeficiente de correlación de Pearson ($r = 0,54$ y $p = 0,05$), se observó una correlación lineal directa entre la concentración de ANA y la longitud promedio de las raíces, resultados que difieren de los hallados por Burgos *et al.* (2009) para el cultivar de yuca palomita.

Con relación al diámetro promedio de las raíces, se puede notar que, aunque no hubo diferencias significativas, los tratamientos que presentaron tendencias de mayor valor fueron T3 (5,22 cm), T5 (5,05 cm) y T9 (5,00 cm). Los resultados observados en este estudio respecto a longitud y diámetro de raíces mostraron tendencias similares a los resultados publicados por Burgos *et al.* (2009) para el cultivar de yuca amarilla.

Los tratamientos con mayor concentración de ANA favorecen mayor longitud de las raíces, lo cual se puede ver reflejado en un buen vigor y crecimiento de las plantas. Se ha demostrado que el efecto de las auxinas depende de varios factores como son el genotipo de la planta, la concentración y el tipo de auxina (Guo *et al.*, 2009). El valor de la yuca deriva de una combinación del rendimiento de raíces frescas y el porcentaje de materia seca que se puede extraer de las raíces frescas, lo que se conoce como rendimiento seco (Okeke *et al.*, 2018). Investigaciones recientes como la de Adiele *et al.* (2020) han evaluado la respuesta de materia seca y fresca de raíz en sistemas agroecológicos del cultivo de yuca en África occidental, aplicando en todos los tratamientos altas tasas de fertilizantes con nitrógeno, fósforo y potasio (NPK), y obtuvieron resultados muy similares a los registrados en el presente estudio, donde se fertilizó con base en un análisis de suelos y se aplicó ANA a diferentes concentraciones y tiempos de inmersión.

CONCLUSIONES

Para los 12 tratamientos evaluados el tratamiento nueve (20 min de inmersión en 200 ppm de ANA) fue el mejor inductor debido a que influyó positivamente, mostrando mejores resultados para las variables porcentaje de almidón, materia seca y masa fresca de la raíz, lo cual podría ser favorable para mejorar el rendimiento del cultivo de yuca variedad MCol 2066 (chirrosa). El número, diámetro promedio y la longitud promedio de las raíces no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los diferentes tratamientos realizados con ANA a concentraciones de 0, 100, 200 y 300 ppm y tiempo de inmersión de 0, 10 y 20 min, sin embargo, el tratamiento T9 tiende a mostrar los valores más altos para las variables mencionadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Lic. +Alonso Segura Delgado, por su valiosa colaboración y apoyo en el análisis estadístico y la asistencia técnica.

REFERENCIAS

- ADIELE, J.G.; SCHUT, A.G.T.; VAN DEN BEUKEN, R.P.M.; EZUI, K.S.; PYPERS, P.; ANO A.O.; EGESI, C.N.; GILLER, K.E. Towards closing cassava yield gap in West Africa: Agronomic efficiency and storage root yield responses to NPK fertilizers. *Field Crops Research*, v. 253, 2020, p.107820.
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107820>
- ANIKWE, MARTIN A.N.; IKENGANYIA, EJIKE E. Ecophysiology and production principles of cassava (*Manihot* species) in Southeastern Nigeria. En: Waisundara, Viduranga Y; Cassava. London (United Kingdom): Intech Open, 2018, p. 3-304.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.70828>
- ARISTIZÁBAL, JOHANA; SÁNCHEZ, TERESA; MEJÍA-LORÍO, DANILLO. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO (FAO)*, v.163, 2007, p. 134.

- BURGOS, ÁNGELA-MARÍA; CENÓZ, PEDRO-JORGE; PRAUSE, JUAN. Efecto de la aplicación de auxinas sobre el proceso de enraizamiento de estacas de dos cultivares de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz). Revista Científica UDO Agrícola, v. 9, n. 3, 2009, p. 539-546.
- CARVALHO, LUIZ J.C.B.; FILHO, JOSEFINO F.; ANDERSON, JAMES V.; FIGUEIREDO, PRICILA W.; CHEN, SONGBI. Storage root of cassava: morphological types, anatomy, formation, growth, development and harvest time. En: Waisundara, Viduranga Y. Cassava. London (United Kingdom): Intech Open, 2018, p.3-304. <https://doi.org/10.5772/intechopen.71347>
- COCK, JAMES H.; CONNOR, DAVID J. Cassava. In Crop Physiology Case Histories for Major Crops, 2021, p. 588-633. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819194-1.00019-0>
- COLOMBIA, MINISTERIO DE AGRICULTURA Y DESARROLLO RURAL. Subsector Productivo de la Yuca. Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural. Marzo 2019. <https://sioc.minagricultura.gov.co/Yuca/Documentos/2019-03-30%20Cifras%20Sectoriales.pdf> [Consultado febrero 5 de 2021].
- COMBATT-CABELLERO, ENRIQUE-MIGUEL; POLO-SANTOS, JANER-MIGUEL; JARMA-OROSCO, ALFREDO-DE JESÚS. Rendimiento del cultivo de yuca con abonos orgánicos y químicos en un suelo ácido. Ciencia y agricultura, v. 14, n. 1, 2017, p. 57-64. <https://doi.org/10.19053/01228420.v14.n1.2017.6088>.
- COROZO, LILIANA; HÉCTOR, EDUARDO; MACÍAS, FATIMA; VÁSQUEZ, BORIS; PINARGOTE, BRYAN; COBEÑA, GLORIA; MENDOZA, ALMA; ARTEAGA, FRANCISCO. Micropropagation of two ecuadorian varieties of yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Chilean Journal of Agricultural & Animal Sciences (ex Agro-Ciencia), v.36, n. 3, 2020, p. 224-232. <https://doi.org/10.29393/CHJAAS36-21MDLC80022>
- DELGADO-MONSANTO, LUISA; VILLA, PEDRO-MANUEL; MOTA, NORMAN; GÓMEZ, XIOMARA. La producción de semillas y raíces del cultivo de yuca se mantiene bajo diferentes densidades de siembra: un enfoque agroecológico. Tropical and Subtropical Agroecosystems, v. 23, n. 95, 2020, p. 1-7.
- DISSANAYAKE, LAKMALI; PERERA, PRASANTHI; ATTANAYAKA, THILAK; HEBERLE, ERWIN; JAYAWARDHANA, MANOSHA. Early Development of Direct Embryos in the Cultured Anthers of *Manihot esculenta* Crantz. Plants, v. 9, n. 10, 2020, p. 1315. <https://doi.org/10.3390/plants9101315>
- ELMONGY, MOHAMED S.; CAO, YAN; ZHOU, HONG; XIA, YIPING. Root Development Enhanced by Using Indole-3-butyric Acid and Naphthalene Acetic Acid and Associated Biochemical Changes of In Vitro Azalea Microshoots. Journal of Plant Growth Regulation, v. 37, n. 3, 2018, p. 813-825. <https://doi.org/10.1007/s00344-017-9776-5>
- FAKIR, M.S.A.; JANNAT, M.; MOSTAFA, M.G.; SEAL, H. Starch and flour extraction and nutrient composition of tuber in seven cassava accessions. Journal of the Bangladesh Agricultural University, v. 10, n. 2, 2012, p. 217-222. <https://doi.org/10.3329/jbau.v10i2.1469>
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization. Corporate Statistical Database. 2018. <http://www.fao.org/faostat/en/#home> [consultado 23 March 2020]
- FUENMAYOR-CAMPOS, FRANCIA C.; MONTILLA, JOAN; ALBARRÁN, JOSÉ-GERARDO; PÉREZ, MARÍA; VACCARINO-ARAY, LUIS-COROMOTO; SEGOVIA-SEGOVIA, VICTOR. Evaluación y selección de clones de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) del Plan Nacional de Semilla del INIA-Venezuela resultados preliminares. Revista Científica UDO Agrícola, v. 12, n. 1, 2012, p. 17-24.
- GUO, XIANFENG; FU, XILING; ZANG, DEKUI; MA, YAN. Effect of auxin treatments, cuttings' collection date and initial characteristics on Paeonia 'Yang Fei Chu Yu' cutting propagation. Scientia Horticulturae, v. 119, n. 2, 2009, p.177-181. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.022>
- HOWELER, REINHARDT-LUTALADIO; NEBAMBI-THOMAS, GRAEME. Save and grow: cassava. A guide to sustainable production intensification. Roma (Italia): Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO, 2013, p. 1-129.

- KENGGANNA, JITRANA; JAKAEW, PHISSINEE; AMAWAN, SUWALUK; BUSENER, NATALIE; BUCKSCH, ALEXANDER; SAENGWILAI, PATOMPONG. Phenotypic variation of cassava root traits and their responses to drought. Applications in plant sciences, v. 7, n. 4, 2019, p. e01238.
<https://doi.org/10.1002/aps3.1238>
- KONDHARE, KIRTIKUMAR R.; PATIL, ARUNA B.; GIRI, ASHOK P. Auxin: An emerging regulator of tuber and storage root development. Plant Science, v. 306, 2021, p.110854.
<https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2021.110854>
- LOPEZ-CORONA, BETZABE-EBENZEZER; MONDACA-FERNANDEZ, IRAM; GORTARES-MOROYOQUI, PABLO; PEÑA, JAIME-HOLGUÍN; MEZA-MONTENEGRO, MARÍA-MERCEDES; BALDERAS-CORTES, JOSE; VARGAS-LOPEZ, JUAN-MANUEL; RUEDA-PUENTE, EDGAR-OMAR. Technique of cutting in agriculture: an alternative at the vanguard. Tropical and Subtropical Agroecosystems, v. 22, n.2, 2019, p. 505-517.
- MUBANGA-CHISENGA, SHADRACK; SEYOUM-WORKNEH, TILAHUN; BULTOSA, GEREMEW; LAING, MARK. Proximate composition, cyanide contents, and particle size distribution of cassava flour from cassava varieties in Zambia. AIMS Agriculture and Food, v. 4, n. 4, 2019, p. 869-891.
<https://doi.org/10.3934/agrfood.2019.4.869>
- OGHENECHAVWUKO-UDORO, ELOHOR; ASHIM-ANYASI, TONNA; OBIEFUNA-JIDEANI, AFAM-ISRAEL. Characterization of the root and flour of South African *Manihot esculenta* Crantz landraces and their potential end-use properties. International Journal of Food Properties, v. 23, n. 1, 2020, p. 820-838.
<https://doi.org/10.1080/10942912.2020.1759625>
- OKEKE, UCHE-GODFREY; AKDEMIR, DENIZ; RABBI, ISMAIL; KULAKOW, PETER; JANNINK, JEAN-LUC. Regional heritability mapping provides insights into dry matter content in african white and yellow cassava populations. The plant genome, v. 11, n. 1, 2018, p. 170050.
<https://doi.org/10.3835/plantgenome2017.06.0050>
- PROSPER-YANDIA, SIMPLICE; BERNARD-GANDONOU, CHRISTOPHE; SILLA, SEMBALLA; ZINGA, INNOCENT; TOUKOUROU, FATIOU. Response of four cultivars of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) plantlets free of cassava mosaic virus to micropropagation in different media. African Journal of Biotechnology, v. 17, n. 1, 2018, p. 9-16.
<https://doi.org/10.5897/AJB2016.16235>
- RÜSCHER, DAVID; CORRAL, JOSÉ-MARÍA; CARLUCCIO, ANNA-VITTORIA; KLEMENS, PATRICK A.W; GISEL, ANDREAS; STAVOLONE, LIVIA; NEUHAUS, H-EKKEHARD; LUDEWIG, FRANK; SONNEWALD, UWE; ZIERER, WOLFGANG. Auxin signaling and vascular cambium formation enable storage metabolism in cassava tuberous roots. journal of Experimental Botany, v. 72, n. 10, 2021, p. 3688-3703.
<https://doi.org/10.1093/jxb/erab106>
- SANTOS, JOSETH A.; NARVÁEZ, LAINER; SALCEDO, SAULA M.; ACEVEDO, ALBA N.; MERCADO, LUIS C.; SALCEDO, JAIRO G. Fisiología del cultivo de yuca en el bosque seco tropical de Sucre-Colombia. Temas Agrarios, v. 24, n. 1, 2019, p. 17-26
<https://doi.org/10.21897/rta.v24i1.1774>
- TORO, JULIO-CÉSAR; CAÑAS, ALFONSO. Determinación del contenido de materia seca y almidón en yuca por el sistema de gravedad específica. International Center for Tropical Agriculture, 1983, p. 567-575.
- WAISUNDARA, VIDURANGA Y. Introductory Chapter: Cassava as a Staple Food. En Waisundara, Viduranga Y; Cassava. London (United Kingdom): Intech Open, 2018, p. 3-304.
<https://doi.org/10.5772/intechopen.70324>