

Respuesta del ñame espino a diferentes densidades de siembra y altura de espalderas: densidades de siembra en *Dioscorea rotundata*

Response of with yam to different planting densities and trellis height: planting density in *Dioscorea rotundata*

Ricardo Enrique Tamara Morelos^{1*}; Lily Lorena Luna Castellanos²; Amaury Aroldo Espitia Montes³; Rafael Segundo Novoa Yanez⁴; Sol Mara Regino Hernández⁵; Víctor Alfonso De la Ossa Albis⁶.

Resumen

Los tubérculos de ñame espino constituyen uno de los principales sustentos alimenticios de los productores en la región Caribe de Colombiana. Sin embargo, la productividad del cultivo es baja debido a la escasa utilización de prácticas de manejo sustentables que contribuyan a su mejora. En este sentido, se realizó un estudio en el Centro de Investigación Turipaná de Agrosavia, Sede El Carmen de Bolívar con el objetivo de evaluar la respuesta en rendimiento del ñame espino cv. Tallo morado a diferentes densidades de siembra y altura de espalderas. Se evaluaron 6 tratamientos en un diseño experimental de bloques completos al azar con arreglo en parcelas divididas, la parcela principal correspondió a dos densidades (14.285 plantas ha⁻¹ y 20.000 plantas ha⁻¹) y las subparcelas a tres alturas de espalderas (1,6 m; 2,0 m y 2,4 m). La densidad de siembra fue el único factor que influyó de manera significativa en el rendimiento, la utilización de 20.000 plantas ha⁻¹ permitió incrementar en 28,68% el rendimiento en comparación con la menor densidad. La utilización de soportes con alturas de 2,4 m en combinación con alguna de las dos densidades de siembra indujo la producción de tubérculos no aptos para la comercialización. Los hallazgos de esta investigación sugieren que el aumento de la densidad de las plantas podría ser una medida segura para aumentar los rendimientos y la eficiencia económica del cultivo de ñame espino. Se requieren evaluaciones futuras en torno a la altura de soportes y número de plantas a amarrar por cada soporte.

Palabras clave: Alimento, *Dioscorea*, densidad de población, nutrición, tubérculo, rentabilidad.

Abstract

The tubers of spiny yam are one of the main food sources for producers in the Caribbean region of Colombia. However, the productivity of the crop is low due to the scarce use of sustainable management practices that contribute to its improvement. In this sense, a study was conducted at the Turipaná Research Center of Agrosavia, El Carmen de Bolívar, with the objective of evaluating the response in yield of purple stalk hawthorn yam cv. purple stalk to different planting densities and trellis heights. Six treatments were evaluated in a randomized complete block experimental design with a split plot arrangement, the main plot corresponded to two densities (14,285 plants ha⁻¹ and 20,000 plants ha⁻¹) and the subplots to three trellis heights (1.6 m; 2.0 m and 2.4 m). Planting density was the only factor that significantly influenced yield; the use of 20,000 plants ha⁻¹ increased yield by 28.68% compared to the lowest density. The use of supports with heights of 2.4 m in combination with either of the two planting densities induced the production of tubers unsuitable for commercialization. The findings of this research suggest that increasing plant density could be a safe measure to increase yields and economic efficiency in the cultivation of hawthorn yam. Future evaluations are needed on stand height and number of plants to tie per stand.

Keywords: Food, *Dioscorea*, population density, nutrition, tubercle, profitability.

Recibido: 18/03/2021

Aceptado: 27/09/2021

Publicado: 31/10/2021

Sección: Artículo Original

*Autor correspondiente: rtamara@agrosavia.co

Introducción

El ñame es una planta dioica del género *Dioscorea* que contiene alrededor de 600 especies, de las cuales *D. rotundata* constituye una de las especies de mayor importancia económica alrededor del mundo (Scarcelli *et al.*, 2019). El tubérculo de ñame constituye una de las principales fuentes alimenticias, contiene importantes cantidades de carbohidratos, es fuente moderada de proteína y fibra (Aliyu *et al.*, 2019; Norman *et al.*, 2021), características que hacen de este alimento indispensable para la seguridad alimentaria en los países del continente asiático, americano y africano (Alabi *et al.*, 2019; Aighewi *et al.*, 2020).

¹Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) Córdoba Colombia, ORCID: [0000-0002-7251-1374](https://orcid.org/0000-0002-7251-1374)

²Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) - Córdoba Colombia, ORCID: [0000-0003-2172-7842](https://orcid.org/0000-0003-2172-7842)

³Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) - Córdoba, Colombia. ORCID: [0000-0002-1805-9487](https://orcid.org/0000-0002-1805-9487)

⁴Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) - Bolívar Colombia, ORCID: [0000-0002-5566-618X](https://orcid.org/0000-0002-5566-618X)

⁵Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) - Córdoba Colombia. [0000-0002-9325-7336](https://orcid.org/0000-0002-9325-7336)

⁶Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) - El Carmen de Bolívar Colombia, ORCID: [0000-0002-8057-9483](https://orcid.org/0000-0002-8057-9483)

Como citar: Tamara Morelos, R. E., Luna Castellanos, L. L., Espitia Montes, A. A., Novoa Yanez, R. S., Regino Hernández, S. M., y De la Ossa Albis, V. A. (2021). Respuesta del ñame espino a diferentes densidades de siembra y altura de espalderas. *Revista De Investigaciones Altoandinas*, 23(4), 210-219. DOI: [10.18271/ria.2021.271](https://doi.org/10.18271/ria.2021.271)



Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) Share - Adapt

En Colombia se produce el 22,06% de los tubérculos de ñame que son demandados en muchos países de América, situándose como el segundo productor después de Haití (23,71%) y Cuba (21,54%) (FAO, 2019). Desde Colombia hacia los mercados de Estados Unidos, Puerto Rico y las islas del Caribe se ha realizado la exportación de 32.383 toneladas de ñame espino entre los años 2015 y 2019, lo cual, generó ingresos por valor US\$27.362 millones (MinAgricultura, 2019). Las áreas de cultivo se encuentran restringidas en su mayoría a la región Caribe con un 90% de la producción nacional (Reina *et al.*, 2012). Los departamentos de mayor producción de ñame son: Bolívar (44,10%), Córdoba (34,87%) y Sucre (7,26%) (AGRONET, 2018). La producción del éste tubérculo en Bolívar, se encuentra concentrada principalmente en las zonas de montaña, las cuales, debido a la intensificación de malas prácticas agrícolas como la quema y mal uso de agroinsumos han propiciado la erosión y sufrido modificaciones considerables, disminuyendo la calidad ambiental y la biodiversidad en los ecosistemas de montaña. Las acciones de la agricultura intensiva conllevan a la disminución de ecosistemas saludables y al aumento del calentamiento global, amenazando la producción del sustento alimenticio de los habitantes, por tanto, una mejor comprensión del sistema productivo de ñame en Bolívar y encaminando la producción del cultivo de manera más amigable con el ambiente, puede contribuir a un desarrollo más sostenible (Escobar *et al.*, 2020).

El cultivo de ñame espino en el Caribe colombiano es producido en forma tradicional con escasa adopción de tecnología y prácticas de manejo (Reina, 2012). La baja competitividad del cultivo obedece principalmente a que los productores emplean bajas densidades de población (10.000 plantas ha⁻¹) para su establecimiento, generando bajos rendimientos por unidad de área (11.68 t ha⁻¹), en relación con países productores como África donde se obtienen producciones de 25 t ha⁻¹ al emplear 14.815 plantas ha⁻¹ (Enesi *et al.*, 2018). Esto conlleva a la formación de tubérculos amorfos y de gran volumen que no cumplen con las exigencias del mercado de exportación y son rechazados (Reina, 2012). Una de las formas de aumentar el rendimiento económico de la mayoría de los cultivos es aumentando la densidad de plantas. Law-Ogbomo y Osaigbovo (2014), obtuvieron un aumento en los rendimientos de *Drotundata* al emplear densidades crecientes entre 10.000 y 26.667 plantas ha⁻¹. Por su parte, Enesi *et al.* (2018), indican que la densidad mínima es de alrededor de 14.000 a 15.000 plantas ha⁻¹ para maximizar los rendimientos de tubérculos en el ñame espino. La respuesta de las plantas a la densidad de población varía de una especie a otra y depende en gran medida de condiciones como las características del

suelo, los elementos bióticos, las condiciones climáticas del sitio y la fertilidad (Enesi *et al.*, 2018).

El cultivo de ñame espino requiere de la utilización de tutores para brindar soporte a las guías de la planta durante el ciclo fenológico del cultivo. El establecimiento de cultivos de ñame espino sin el uso de espalderas o tutores reduce en un 32% el rendimiento de tubérculos (Ennin *et al.*, 2014). Sin embargo, esta práctica requiere que el agricultor disponga de grandes cantidades de estacas, lo cual genera incrementos hasta del 20% en mano de obra y los costos de producción del cultivo. Sumado a lo anterior, para el aprovisionamiento de estos soportes el agricultor recurre a tomar madera de linderos del predio o árboles cercanos, contribuyendo a la deforestación en la zona (Akinbo *et al.*, 2019; Wumbei *et al.*, 2019).

La eficiencia productiva y económica en el cultivo de ñame en la región Caribe puede incrementarse incorporando estrategias de manejo integrado sustentables, una de estas podría estar enfocada en el aumento de la densidad de siembra, alternativa que ha demostrado ejercer efectos significativos en la producción de tubérculos de ñame y de los recursos naturales. Las altas densidades de siembra favorecen la disminución en el tamaño y peso del tubérculo e incrementa el número de tubérculos ha⁻¹ (Okpara *et al.*, 2014; Pérez *et al.*, 2015). Las plantas de ñame espino requieren para su óptimo crecimiento y mejora en las funciones fisiológicas un soporte con una altura entre 1,5 m a 3,0 m. La utilización de soportes ayuda a incrementar en un 19% el peso de los tubérculos de ñame, en comparación con los tubérculos obtenidos de plantas sin uso de tutores (Onyeka *et al.*, 2006; Ennin *et al.*, 2014).

Los sistemas productivos de ñame deben establecerse bajo un enfoque transdisciplinario que permita optimizar los rendimientos y rentabilidad económica del cultivo beneficiando a los agricultores desde el enfoque económico y de sostenibilidad, para así contribuir en la preservación de los recursos naturales y las especies vegetales ubicados en los ecosistemas de montaña en la región de Montes de María. La inclusión de prácticas de manejo y tecnologías en el sistema productivo de ñame espino, bajo las condiciones de montaña, deberá incluir un enfoque social-cultural y ambiental que permita comprender el grado de contribución de estas prácticas a la mejora de las condiciones de la agricultura en los ecosistemas de montaña (Haller y Branca, 2020).

En este sentido, la presente investigación se llevó a cabo con el objetivo de evaluar la respuesta del ñame espino a diferentes densidades de siembra y altura de espalderas.

Materiales y métodos

Condiciones experimentales

La presente investigación se realizó en la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) sede El Carmen de Bolívar, ubicada geográficamente a 9°42' 50" N y 75°06' 27" W en el municipio de El Carmen de Bolívar (Bolívar, Colombia). La precipitación promedio anual es de 1,100 mm, temperatura promedio anual de 28°C y humedad relativa del 76% aproximadamente. El área según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1996) corresponde a un bosque seco tropical (BS-T) y pertenece a la zona climática cálido muy seco. La investigación se realizó en condiciones de campo abierto, durante los meses de junio de 2016 a marzo de 2017. El estudio se llevó en un suelo que mostró las siguientes características físicas y químicas: textura franco-arcillosa, pH=7,93; M. O= 2,37%; P=105,39 mg/kg; Ca²⁺= 31,23 Cmol/kg; Mg²⁺= 4,72 mg/kg; K= 0,90 mg/kg; CIC= 37,11 Cmol/kg.

Material vegetal

Tubérculos del clon comercial de ñame espino (*D. rotundata* cv. Tallo morado) fueron utilizados como material de siembra para la realización del experimento. Los tubérculos fueron obtenidos de plantas en buen estado fitosanitario. De los tubérculos seleccionados se obtuvieron porciones de 100 g aproximadamente, las cuales fueron depositadas en bolsas negras de 15 cm de alto x 15 cm de ancho (junio 08 de 2016), se depositó una semilla por bolsa. El sustrato empleado estuvo conformado por arena y tierra en proporción 1:1, este fue desinfectado por solarización y la aplicación del

fungicida Vitavax®300 (4g L⁻¹). El semillero en bolsa se realizó bajo condiciones de vivero usando polisombra negra del 80% y su desarrollo se realizó en condiciones semi controladas de luz y agua para garantizar brotación y uniformidad de las plantas antes de llevarlas a sitio definitivo. Una vez las plantas en semillero alcanzaron una altura de 15 a 20 cm, fueron trasplantadas a las parcelas experimentales (agosto 22 de 2016).

Montaje del experimento

El terreno se mecanizó con dos pases de rastra pesada. Para la siembra en las parcelas experimentales y la selección del arreglo espacial se tomaron como referencia los resultados de Enesi *et al.* (2018), con base en esto, las plantas fueron dispuestas en surcos a distancia fija de 1,0 m y distancia entre plantas de 0,5 m, para una densidad de 20.000 plantas ha⁻¹ y 0,7 m, para una densidad de 14.285 plantas ha⁻¹ respectivamente. Cuando se requirió se aplicó riego por aspersión de acuerdo con el requerimiento hídrico de la planta y la precipitación de la zona. El manejo agronómico del cultivo consistió en control químico y manual de malezas, amarre y guía de plantas, manejo fitosanitario de enfermedades y plagas. Se estableció un sistema de espalderas vertical "doble" a diferentes alturas para facilitar el desarrollo de las plantas (Ennin *et al.*, 2014; Danquah *et al.*, 2015). El sistema de espalderas consistió en colocar hileras de postes verticales de madera inmunizada, los cuales sustentaron en la parte superior un hilo de alambre galvanizado N° 12, que se fijó al suelo con tensores metálicos. Las espalderas fueron distribuidas en las parcelas experimentales en relación 1:2 (una espaldera para dos líneas de siembra de ñame) (Figura 1).

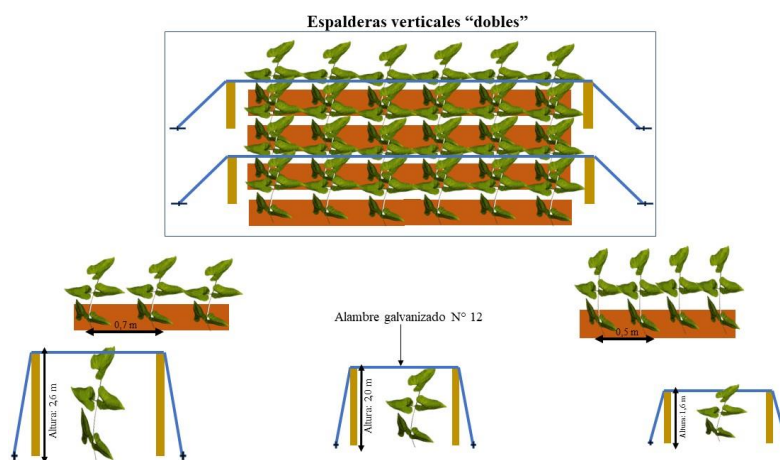


Figura 1. Sistema de espalderas verticales "dobles" en ñame espino y arreglo espacial de plantas.

Fuente: elaboración propia.

La fertilización del cultivo se realizó en forma de sulfato de amonio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, con dosis de fertilización total de 25,80 g planta⁻¹. La aplicación se efectuó de forma fraccionada: 30% a los 30 días después de trasplante (DDT), y la segunda fracción del 70% a los 60 DDT. Las dosis del fertilizante fueron calculadas teniendo en cuenta los requerimientos del cultivo y el análisis de suelo.

Diseño experimental

El montaje del experimento se realizó bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con arreglo en parcelas divididas, y tres repeticiones. La parcela principal estuvo constituida por las densidades de siembra (20.000 y 14.285 plantas ha⁻¹) y las subparcelas correspondieron a las alturas de las espalderas (1,6 m, 2,0 m y 2,4 m), para un total de 6 tratamientos y 18 unidades experimentales (UE). Cada parcela experimental (UE) fue establecida en un área de 24 m² y el área total efectiva de la investigación fue de 432 m².

Variables respuesta

Como variable respuesta se determinó rendimiento total de tubérculos, rendimiento de tubérculos comerciales, rendimiento de tubérculos no comerciales, rendimiento de tubérculos no aptos para comercialización. La cosecha se realizó el 08 de marzo de 2017. Es decir, 7 meses después del trasplante y 9 meses después de la siembra en semillero. Para la evaluación de rendimiento, se recolectaron los tubérculos de los surcos centrales de cada parcela experimental. Estos tubérculos se clasificaron en tres categorías: La categoría 1, correspondió a tubérculos comerciales o tipo exportación, fueron clasificados en esta categoría los tubérculos de forma regular redondeada, libres de daños físicos o por plagas y enfermedades con peso entre 1,5-3,0 kg. La categoría 2, tubérculos destinados al mercado local, con forma irregular, tamaño y peso superior o inferior al tipo exportación. Por su parte, en la categoría 3, fueron agrupados los tubérculos no aptos para la comercialización, con forma irregular, o que registraron daños físicos o daños por plagas y enfermedades durante el muestreo. El rendimiento de cada categoría y el total se expresó en kg ha⁻¹. También se realizó un análisis económico de los tratamientos, para lo cual se calculó la rentabilidad neta con base en la teoría económica de Krugman y Wells citado por Martínez-Reina *et al.* (2021), mediante la expresión:

$$\text{Rent} = \frac{\text{IB} - \text{CT}}{\text{CT}} * 100$$

Donde IB es el ingreso bruto (\$ ha⁻¹); CT es el costo total (\$ ha⁻¹) y Rent es la rentabilidad (%). Los costos se obtuvieron mediante el registro de los costos de producción del cultivo.

Análisis de datos

Después de realizar comprobación del cumplimiento de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas mediante las pruebas de Shapiro–Wilk y Levene, se realizó un análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey ($p \leq 0,05$). Además, se efectuó un análisis de correlación de Pearson ($p \leq 0,05$) para detectar el grado de relación entre la altura de espalderas y el rendimiento por categorías. Se utilizó el paquete estadístico S.A.S versión 9.2 (2008).

Resultados

Rendimiento total de tubérculos

El análisis de varianza para la variable rendimiento total de tubérculos no detectó interacción entre densidad de siembra y altura de espalderas ($P=0,4800$), lo que indicó que la combinación de estos dos factores no influyó en el rendimiento del cultivo de ñame. Sin embargo, en la Tabla 1, se observa que la combinación de los factores tiende a generar incrementos considerables en el rendimiento total. Así mismo, los resultados del análisis estadístico revelaron que entre las alturas de las espalderas empleadas en esta investigación no hay diferencia estadística significativa ($P=0,9202$).

El rendimiento total de tubérculos en ñame espino es influenciado únicamente por el factor densidad de siembra ($P=0,0011$). Los resultados representados en la Tabla 1, demuestran que la densidad de 20.000 plantas ha⁻¹ permitió obtener los valores más altos en el rendimiento total (13.650,90 kg ha⁻¹), en comparación con la menor densidad 14.285 plantas ha⁻¹ donde se obtuvieron rendimientos totales de 9.735,18 kg ha⁻¹, lo que sugiere que al emplear la densidad mayor se genera un incremento de 3.915,72 kg ha⁻¹, es decir, 28,68% respecto a la menor densidad.

Tabla 1. Efecto de la altura de espaldera y la densidad de siembra en la producción del cultivo de ñame, en la Región Montes de María, Bolívar, Colombia, 2016-2017.

Fuente de Variación	Rendimiento 1ra categoría (kg ha ⁻¹)	Rendimiento 2da Categoría (kg ha ⁻¹)	Rendimiento 3ra categoría (kg ha ⁻¹)	Rendimiento total (kg ha ⁻¹)
Parcela principal:				
Densidad				
14.285 plantas ha ⁻¹	4.400,01±1257,20	3.141,20±1166,00	2.193,96±1201,28	9.735,18 ± 1.810,69
20.000 plantas ha ⁻¹	5.682,42±1952,04	4.195,44±1985,61	3.773,10±1540,24	13.650,90 ± 1806,27 a
Media de densidad de siembra	5.041,21	3.668,32	2.983,53	11.693,04
Subparcelas:				
Altura de tutor				
1,6 m	5327,42±1977,37	3981,38±756,25	2.180,58±894,46	11.489,40 ± 1.907,12
2,0 m	5.104,60±1764,75	3422,35±1011,32	3.119,32±1703,12	11.646,18 ± 2.574,73
2,4 m	4691,63±1682,75	3601,23±2773,73	3.650,68±1933,67	11.943,53 ± 3.724,45
Media de Altura del tutor	5.041,22	3.668,32	2.983,53	11.693,04
Interacción:				
densidad x Altura tutor				
14.285 pl ha ⁻¹ x 1,6 m	4462,20±1288,90	3862,77±641,21	1895,00±585,73	10.220,00 ± 1.196,54
14.285 pl ha ⁻¹ x 2,0 m	4799,17±1985,69	3150,83±1199,70	1768,87±1408,51	9.718,87 ± 879,24
14.285 pl ha ⁻¹ x 2,4 m	3938,67±392,33	2410,00±1415,87	2918,00±1727,27	9.266,67 ± 3.198,03
20.000 pl ha ⁻¹ x 1,6 m	6192,63±2422,39	4100,00±988,13	2466,17±1188,44	12.758,80 ± 1.681,36
20.000 pl ha ⁻¹ x 2,0 m	5410,03±1887,59	3693,87±946,82	4469,77±406,16	13.573,50 ± 2.157,87
20.000 pl ha ⁻¹ x 2,4 m	5444,60±2285,68	4792,47±3601,68	4383,37±2243,61	14.620,40 ± 1.718,87
Media General	5.041,22	3.668,32	2.983,53	11.693,04
C.V. (%)	36,59	48,13	49,97	13,8
R square	0,19	0,21	0,42	0,62
Diferencia densidades	ns	ns	*	*
Diferencia Altura	ns	ns	ns	ns
Diferencia Densidad x Altura	ns	ns	ns	ns

*: Significativo ($p \leq 0,05$); n.s: No significativo; Medias con letras no comunes difieren estadísticamente según la prueba de Tukey para $p \leq 0,05$; C.V. Coeficiente de variación, R Square: es el R cuadrado.

Fuente: elaboración propia.

Rendimiento de ñame por categorías

Los resultados del Anova no evidenciaron interacción significativa entre los factores de estudio para el rendimiento obtenido en cada categoría de clasificación de los tubérculos. De igual manera, no se detectó diferencia estadística entre los factores estudiados a nivel individual ($p \geq 0,05$). Este hecho podría indicar que la densidad de población, la altura de espalderas y la mezcla de estos, no influyeron en las categorías de clasificación de los tubérculos (Tabla 1).

La proporción de rendimiento obtenida para cada categoría de clasificación de los tubérculos utilizando espalderas a diferentes alturas puede observarse en la Figura 2. Los resultados evidenciaron que para obtener una mayor proporción de tubérculos comerciales tipo exportación (categoría 1) se deben emplear espalderas a 2,0 m de altura con 14.285 plantas ha⁻¹ (49%) y para 20.000 plantas ha⁻¹ una altura de 1,6 m (48%).

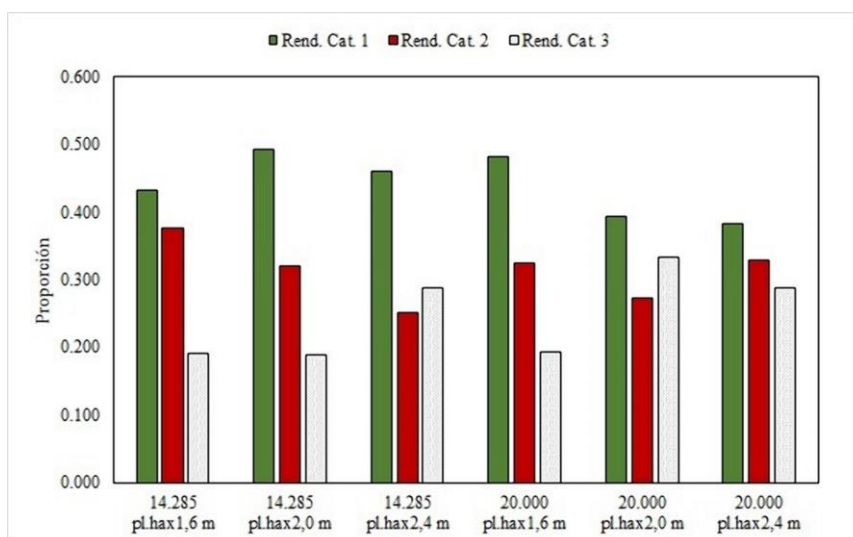


Figura 2. Proporción de rendimiento por categorías de calidad en ñame espino.
Fuente: elaboración propia.

La combinación de cualquiera de las dos densidades de siembra y mayor altura de espaldera (2,4 m) generó incrementos en la producción de tubérculos no aptos para la comercialización (categoría 3), lo cual coincide con los resultados del análisis de correlación (Tabla 2), en donde se determinó que para la densidad de 14.285 y

20.000 plantas ha⁻¹ la altura de espaldera se correlaciono de forma positiva ($r=0,30$ y $r=0,45$) con los rendimientos de la categoría 3. Estos resultados podrían indicar que existe una relación lineal moderada pero no significativa entre estas dos variables.

Tabla 2. Coeficiente de correlación de Pearson entre la densidad de siembra y la altura para las categorías de rendimiento en ñame espino.

Densidad de siembra	Rend. Categoría 1	Rend. Categoría 2	Rend. Categoría 3
14.285 pl ha ⁻¹	-0.18 ^{ns}	-0.54 ^{ns}	0.30 ^{ns}
20.000 pl ha ⁻¹	-0.17 ^{ns}	0.15 ^{ns}	0.42 ^{ns}

Ns: no significativo ($p \geq 0,05$).
Fuente: elaboración propia.

Análisis económico

Para la realización del análisis económico se tuvo en cuenta la rentabilidad de cada uno de los tratamientos (Tabla 3). Se determinó que la mejor rentabilidad (6,82%) se obtuvo con la utilización de 20.000 plantas ha⁻¹ y espalderas de 2,4 metros de altura, así mismo, la utilización de esta combinación generó el menor costo unitario (\$770,419 por tonelada) y el mayor ingreso bruto (\$767,993 por hectárea). Sin embargo, esta

combinación incrementó la producción de tubérculos no comercializables de categoría 3.

La menor rentabilidad se obtuvo con el tratamiento de 14.285 plantas ha⁻¹ y la altura del tutor de 2,4 metros con -11,81%. Esto se debió a que fue el tratamiento que mostró el rendimiento más bajo (9,27 t ha⁻¹), el mayor costo unitario (\$953.726 por tonelada) y el menor ingreso neto (\$-1.044.175 por ha).

Tabla 3. Análisis económico comparativo de costos de producción de ñame espino por efecto de la densidad de siembra y la altura del tutor, Montes de María, 2016-2017.

Tratamientos (Densidad x Altura tutor)	Costos Total (\$ ha ⁻¹)	Costos Unitario (\$ t ⁻¹)	Rend. (t ha ⁻¹)	Ingreso Bruto (\$ ha ⁻¹)	Ingreso Neto (\$ ha ⁻¹)	Rentabilidad (%)
T1: 14.285 pl ha⁻¹ x 1,6 m altura	8.913.457	872.158	10,22	8.492.639	-420.818	-4,72
T2: 14.285 pl ha⁻¹ x 2,0 m altura	8.901.061	915.747	9,72	8.242.960	-658.960	-7,39
T3: 14.285 pl ha⁻¹ x 2,4 m altura	8.841.044	953.726	9,27	7.796.869	-1.044.175	-11,81
T4: 20.000 pl ha⁻¹ x 1,6 m altura	11.069.675	867.529	12,76	10.788.949	-280.726	-2,54
T5: 20.000 pl ha⁻¹ x 2,0 m altura	11.166.738	822.899	13,57	11.122.030	-44.708	-0,40
T6: 20.000 pl ha⁻¹ x 2,4 m altura	11.263.528	770.419	14,62	12.031.521	767.993	6,82

Fuente: elaboración propia.

Discusión

Los rendimientos en el cultivo de ñame espino cv. Tallo morado bajo las condiciones experimentales fueron influenciados únicamente por la utilización del factor densidad de siembra. El uso de un reducido espaciamiento entre plantas permitió aumentar la cantidad de plantas sembradas ha⁻¹ y el peso de los tubérculos, esto a su vez facilitó su comercialización en el mercado local o de exportación. Al respecto, Enesi *et al.* (2018) informaron que utilizando 20.000 plantas ha⁻¹ se incrementa el rendimiento de los tubérculos y se reduce su tamaño. La respuesta de plantas de ñame a la densidad de población varía de un cultivar a otro y depende en gran medida de condiciones como las características del suelo, los elementos bióticos, las condiciones climáticas del sitio y la fertilidad. Los rendimientos totales obtenidos por Danquah *et al.* (2018) en ñame espino en los cultivares Dente y Pona fueron incrementados con el aumento de la densidad de siembra (20.833 plantas ha⁻¹), obteniendo una mayor cantidad de tubérculos de reducido tamaño. La disminución del tamaño de los tubérculos resultante del aumento de la densidad de plantación podría deberse a la competencia entre las plantas por los nutrientes del suelo.

Los resultados de la presente investigación concuerdan con lo reportado por Pérez y Campo (2017), evaluando densidades en ñame espino cv. Brasilero, donde determinaron que los tubérculos de categoría 1, fueron obtenidos al emplear una densidad de 30.303 plantas. ha⁻¹. Así mismo, las observaciones de Okpara *et al.* (2014)

realizadas durante los años 2013 a 2014, evaluando densidades de siembra (33.333; 40.000; 50.000; 66.666 y 100.000 plantas ha⁻¹), reportaron que las mayores producciones se encontraron con las poblaciones más altas (66.666 y 100.000 planta ha⁻¹). Este arreglo espacial permitió optimizar el desempeño de la planta en el uso de los recursos ambientales y expresar su potencial productivo, favoreciendo la producción y el llenado del tubérculo.

Por su parte, Semaw (2014) plantea, que incrementos importantes en densidades de población trae consigo mayor competencia entre las plantas de ñame espino por los recursos, exigiéndoles mayor habilidad en el uso del agua, radiación solar, CO₂ y los nutrientes del suelo. El uso de reducidas densidades de población es un mecanismo de manejo agronómico que permite producir tubérculos de forma regular y tamaños comprendidos en el rango de los exigidos para exportación. Esta práctica, trae consigo el incremento de los rendimientos por unidad de área, lo cual es una respuesta genética de los tipos de cultivares de ñame espino, su interacción con el medio, las condiciones ambientales y el manejo agronómico.

Los sistemas de soporte, espalderas o tutorado, para la planta de ñame espino constituyen una práctica de manejo que debe ser implementada por los agricultores, debido a que evita quemazón del tallo y guías de la planta al estar en contacto directo con el suelo, facilita las labores de control de malas hierbas, mejoran la captura de luz de la planta y por ende las tasas de fotosíntesis y el rendimiento de los tubérculos (Wunbei *et al.*, 2019). El

sistema de espalderas, además, reduce la exposición del follaje del ñame a patógenos habitantes del suelo. Los rendimientos totales y por categoría de clasificación no son influenciados por la altura de espalderas. Ennin *et al.* (2014), demostraron que el establecimiento de sistemas de espalderas comparados con los soportes individuales no genera incrementos significativos en crecimiento, rendimiento o número de tubérculos de *D. rotundata*. Además, hallaron que el cultivo de ñame espino en ausencia de soportes puede disminuir en un 32,5% los rendimientos, sin embargo, el uso de espalderas o sistema de enrejado ayuda a disminuir la deforestación de árboles, ya que con este sistema se emplea menor cantidad de tutores planta ha⁻¹. Los resultados de las investigaciones de Aiheboria *et al.* (2017) y Claudius *et al.* (2017) lograron demostrar que la implementación de un sistema de espalderas y selección positiva de plantas de manera temprana a virus en campo logró disminuir la incidencia y diseminación del virus, además logro aumentar el peso fresco del tubérculo en 2,25 t ha⁻¹.

Los resultados de Luna *et al.* (2018) informan que la utilización de una espaldera por surco de siembra en ñame espino cv. Brasileiro y una densidad de siembra de 20,000 plantas ha⁻¹ favorece el incremento de rendimientos en este cultivo. Así mismo, evidenciaron que los sistemas de espalderas son más rentables económicamente que el sistema de tutor planta⁻¹. A su vez, el sistema de espalderas contribuye a disminuir la tala de árboles, debido a que los agricultores para poder abastecer a cada planta de un soporte cortan los árboles de los bosques (Frossard *et al.*, 2017).

La integración de varias prácticas en el cultivo de ñame espino puede contribuir a mejorar los rendimientos del cultivo. Danquah *et al.* (2018) determinaron que el uso de un paquete agronómico en el que incluya el uso de surcos para suelos con textura pesada, tratamiento de semillas, sistema de espaldera, aplicación de fertilizantes y mayor población de plantas en *D. rotundata* cv, Dente y Serwaa resultó en un aumento total del rendimiento de tubérculos del 196% y 205% en comparación con los tratamientos sin inclusión de estas prácticas.

Las investigaciones realizadas por Danquah *et al.* (2015) arrojaron que el uso de un sistema de espalderas realizado con estacas de bambú de 1,5 m de altura tiene el potencial de generar mayores ganancias en ñame espino en comparación con los sistemas tradicionales de estacas y siembra en montículos implementados por los agricultores. Akinbo *et al.* (2019) evaluaron cuatro niveles de altura de soporte (0, 1, 2 y 3 m) en *Dioscorea dumetorum* bajo diferentes niveles de fertilización y demostraron que el rendimiento medio de los tubérculos es incrementado con una altura de soporte de 2 m. El resultado mostró evidencia de que una espaldera más alta

de 2 m podría utilizarse con cualquier ventaja. Sebastian *et al.* (2020) realizaron un experimento de campo para estudiar el efecto del tamaño y el espaciamiento del tubérculo semilla en *D. esculenta* empleando un sistema de espalderas cada dos surcos con *Casuarina equisetifolia* a 2,0 m de altura, el estudio indicó que hay margen para maximizar la productividad del ñame mediante la adopción de plantaciones de alta densidad (0,5 m x 0,5 m).

La inclusión de prácticas de manejo en el cultivo de ñame además de proveer beneficios en la mejora del rendimiento propicia el incremento de la relación costo beneficio. Al respecto, Luna *et al.* (2018) determinaron que al utilizar una densidad de 20.000 plantas ha⁻¹ con espaldera simple o espaldera doble es posible obtener una relación beneficio costo de 1,7. Los estudios realizadas por Felix *et al.* (2020) revelaron que, independientemente de la zona geográfica o la temporada de siembra (seca-lluviosa), el ñame espino sembrado con prácticas agronómicas como genotipos resistentes a enfermedades, tratamientos de semillas, densidad de siembra óptima, sistema de espalderas y manejo de malezas genera una relación beneficio/costo más alta en contraste con la práctica tradicional de los agricultores. La relación costo-beneficio para la tecnología mejorada corresponde a 4,76 y la de los agricultores a 1,08. Por lo tanto, cuando un agricultor establece un cultivo con tecnologías mejoradas incrementa la posibilidad de acumular una mayor ganancia durante la comercialización del producto.

Conclusiones

Los rendimientos del ñame espino cv. Tallo morado fueron influenciados únicamente por la densidad de siembra, por lo cual, debe considerarse como un factor determinante para aumentar la eficiencia técnica y económica del cultivo. Este estudio, por tanto, contribuye al manejo sustentable de los recursos naturales y a mejorar el esquema de producción de los tubérculos tipo exportación en la región de Montes de María en el Caribe colombiano. Asimismo, promueve la mejora en los estándares de calidad de vida socio-económicos de los agricultores y asegura el continuo abastecimiento de alimentos a los habitantes rurales.

Agradecimientos

Esta investigación se realizó con recursos financieros del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia bajo el convenio TV-16. Al equipo de investigadores, profesionales de apoyo y asistentes de investigación de la Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) de la sede El Carmen de Bolívar.

Referencias

- Agronet, Red de información y comunicación del sector Agropecuario Colombiano. (2018). Estadísticas área cosechada, producción y rendimiento de ñame, 2000-2018. Recuperado el 1 de marzo de 2021, de Agronet website: <https://bit.ly/3nFu5hk>
- Aighewi, B., Maroya, N., Asiedu, R., Aihebhoria, D., Balogun, M., & Mignouna, D. (2020). Seed yam production from whole tubers versus minisets. *Journal of Crop Improvement*, 34(6), 858-874. DOI: [10.1080/15427528.2020.1779157](https://doi.org/10.1080/15427528.2020.1779157)
- Aihebhoria, D. O., Aighewi, B., & Balogun, M. (2017). The response of white yam (*Dioscorea rotundata* Poir) tuber portions to positive selection for quality seed yam production. *Advances in Crop Science and Technology*, 5(4), 1-7. DOI: [10.4172/2329-8863.1000294](https://doi.org/10.4172/2329-8863.1000294)
- Akinbo, O. K., Okpara, D. A., Chukwu, L. I., & Opara, E. C. (2019). Effect of staking heights and fertilizer level on the yield of trifoliolate yam (*Dioscorea dumetorum*) in Umudike Southeastern Nigeria. *Nigeria Agricultural Journal*, 50(1), 17-21. <https://bit.ly/3yOoFMo>
- Alabi, T. R., Adebola, P. O., Asfaw, A., De Koeper, D., Lopez-Montes, A., y Asiedu, R. (2019). Spatial multivariate cluster analysis for defining target population of environments in West Africa for yam breeding. *International Journal of Applied Geospatial Research (IJAGR)*, 10(3), 1-30. DOI: [10.4018/IJAGR.2019070104](https://doi.org/10.4018/IJAGR.2019070104)
- Aliyu, A., y Shelleng, A. B. (2019). "Analysis of Technical, Allocative and Economic Efficiencies of Yam Producers in Ganye Local Government Area of Adamawa State, Nigeria." *International Journal of Engineering Technologies and Management Research*. 6 (7): 129–143. DOI: [10.29121/ijetmr.v6.i7.2019.426](https://doi.org/10.29121/ijetmr.v6.i7.2019.426)
- Claudius, A. O., Kenyon, L., y Coyne, D. L. (2017). Effect of pre-plant treatments of yam (*Dioscorea rotundata*) sets on the production of healthy seed yam, seed yam storage and consecutive ware tuber production. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics*, 118 (2), 297–306. <https://bit.ly/3BMKjIW>
- Danquah, E. O., Ennin, S. A., Frimpong, F., Acheampong, P. P., y Akom, M. (2018). Producing White Yam for Export: The Influence of Seed Set Size and Planting Density on Tuber Size. *Agricultural and Food Science Journal of Ghana*, 11, 929-936. <https://bit.ly/3odIcnM>
- Danquah, E. O., Ennin, S. A., Frimpong, F., Akom, M., y Acheampong, P. P. (2018). Improved Agronomic Practices for Sustainable Yam Production: The on Farm Experience. *Agricultural and Food Science Journal of Ghana*, 11, 904-908. <https://bit.ly/3k1IteT>
- Danquah, E. O., Ennin, S. A., Lamptey, J. N., y Acheampong, P. P. (2015). Staking Options for Sustainable Yam Production in Ghana. *Sustainable Agriculture Research* 4(1): 106- 113. DOI: [10.5539/sar.v4n1p106](https://doi.org/10.5539/sar.v4n1p106)
- Escobar-Mamani, F., Branca, D., & Haller, A. (2020). Investigación de montaña sobre y para la región andina. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(4), 311-312. DOI: [10.18271/ria.2020.191](https://doi.org/10.18271/ria.2020.191)
- Enesi, R. O., Hauser, S., Lopez-Montez, A., y Osonubi, O. (2018). Yam tuber and maize grain yield response to cropping system intensification in south-west Nigeria. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 64(7), 953-966. DOI: [10.1080/03650340.2017.1404580](https://doi.org/10.1080/03650340.2017.1404580)
- Ennin, S. A., Isaaka, R. N., Acheampong, P. P., Numafo, M. y Danquah, E. (2014). Mechanization, Fertilization and Staking Options for Environmentally Sound Yam Production. *African Journal Agricultural Research* 9(29): 2222-2230. DOI: [10.5897/AJAR2014.8487](https://doi.org/10.5897/AJAR2014.8487)
- FAO, O. de las N. U. para la A. y la A. (2019). Estadísticas de producción del ñame. Recuperado 28 de abril de 2021, de FAO website: <https://bit.ly/3AVRisI>
- Felix, F., Eric, O. D., Kwesi, A. A., Ama, E. S., Henry, A., y Norbert, M. (2020). Demonstrating the efficacy of existing yam technologies in the Forest-Savannah transition zone of Ghana. *Journal of Agricultural Science and Practice*, 5 (2), 107-118. DOI: [10.31248/JASP2020.193](https://doi.org/10.31248/JASP2020.193)
- Frossard, E., Aighewi, B. A., Aké, S., Barjolle, D., Baumann, P., Bernet, T., y Traoré, O. I. (2017). The challenge of improving soil fertility in yam cropping systems of West Africa. *Frontiers in plant science*, 8 (1953), 1-8. DOI: [10.3389/fpls.2017.01953](https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01953)
- Haller, A., y Branca, D. (2020). Montología: una perspectiva de montaña hacia la investigación transdisciplinaria y el desarrollo sustentable. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 22(4), 313-322. DOI: [10.18271/ria.2020.193](https://doi.org/10.18271/ria.2020.193)
- Law-Ogbomo, K. E., y Osaigbovo, A. U. (2014). Effects of plant density and NPK application on the growth and yield of white Guinea yam (*Dioscorea rotundata* Poir) in a forest zone of Nigeria. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 14(6), 2204-2217. <https://bit.ly/3zLCwUd>
- Luna, L.L., Tamara, R.E., y Peña, J.A. (2018). Efecto de tipo de tutores y densidad de siembra sobre el rendimiento de ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir.). *Revista FAVE-Ciencias Agrarias*, 17(2), 53-62. DOI: [10.14409/fa.v18i2.7967](https://doi.org/10.14409/fa.v18i2.7967)
- Martínez-Reina, A. M., Tordecilla-Zumaqué, L., Grandett-Martínez, L. M., Regino-Hernández, S. M., Luna-Castellanos, L. L., & Pérez-Cantero, S. P. (2021). Analysis of the technical efficiency of the cultivation of yam (*Dioscorea* spp.) in the Caribbean Region of Colombia. *Revista Colombiana de*

- Ciencias Hortícolas*, 15(2), e12445-e12445. DOI: [10.17584/rcch.2021v15i2.12445](https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12445)
- MinAgricultura (2019). Organización de la Cadena Nacional del Ñame. Dirección de Cadenas Agrícolas y Forestales. Recuperado el 09 de agosto, 2020, de Minagricultura website: <https://bit.ly/3zVbN8E>
- Norman, P. E., Tongoona, P. B., Danquah, A., Danquah, E. Y., Agre, P. A., Agbona, A., y Asfaw, A. (2021). Genetic parameter estimation and selection in advanced breeding population of white Guinea yam. *Journal of Crop Improvement*, 1-26. DOI: [10.1080/15427528.2021.1881012](https://doi.org/10.1080/15427528.2021.1881012)
- Okpara, D., A.; Ikoru, E., Mbah., y Akpaninyang, F. (2014). Growth and yield of white yam (*Dioscorea rotundata* Poir.) microsett in response to plant population and NPK fertilizer. *Nigerian Journal Crop Science* 2(1): 72-76. <https://bit.ly/2VnIAnG>
- Onyeka, T. J.; Petro, D.; Ano, G.; Etienne, S., y Rubens, S. (2006). Resistance in water yam (*Dioscorea alata*) cultivars in the French West Indies to anthracnose disease based on tissue culture-derived whole-plant assay. *Plant pathology* 55(5): 671-678. DOI: [10.1111/j.1365-3059.2006.01436.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2006.01436.x)
- Pérez-Polo, D. J. y Campo-Arana, R. O. (2017). Efecto de la densidad poblacional sobre el rendimiento de ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir.) tipo exportación. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 10(1): 89-98. [10.17584/rcch.2016v10i1.5072](https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5072)
- Pérez-Polo, D.; Campo-Arana, R., y Jarma-Orozco, A. (2015). Respuesta fisiológica del ñame espino (*Dioscorea rotundata* Poir.) a las densidades de siembra. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 32(2): 117-124. DOI: [10.22267/rcia.153202.18](https://doi.org/10.22267/rcia.153202.18)
- Reina, Y. (2012). El cultivo de ñame en el Caribe colombiano. Documentos de Trabajo Sobre Economía Regional. No. 168. Banco de la República. 34 p. DOI: [10.32468/dtseru.168](https://doi.org/10.32468/dtseru.168)
- Scarcelli, N., Cubry, P., Akakpo, R., Thuillet, A. C., Obidiegwu, J., Baco, M. N., y Vigouroux, Y. (2019). Yam genomics supports West Africa as a major cradle of crop domestication. *Science advances*, 5(5),1-8. DOI: [10.1126/sciadv.aaw1947](https://doi.org/10.1126/sciadv.aaw1947)
- Sebastian, A., Prameela, P., y Menon, M. V. (2020). Productivity of lesser yam (*Dioscorea esculenta* (Lour.) Burkill) as affected by seed tuber size and spacing. *Journal of Tropical Agriculture*, 58(1), 119-124. <https://bit.ly/39Es6Lr>
- Wumbei, A., Bawa, J. K. A., Akudugu, M. A., y Spanoghe, P. (2019). Absence of Effects of Herbicides Use on Yam Rots: A Case Study in Wulensi, Ghana. *Agriculture*, 9(5), 95-110. DOI: [10.3390/agriculture9050095](https://doi.org/10.3390/agriculture9050095)