



Efecto de la fertilización sobre el rendimiento de rizoma y almidón de achira (*Canna edulis*, Ker) en Nariño, Colombia¹

Effect of fertilization on rhizome and starch yield of achira (*Canna edulis*, Ker) in Nariño, Colombia

Belisario Volveras-Mambuscay², Juan Fernando López-Rendón², Gonzalo Rodríguez-Borray²

¹ Recepción: 19 de octubre, 2021. Aceptación: 29 de abril, 2022. El trabajo formó parte del proyecto, Tecnología para el fortalecimiento y modernización de la cadena agroindustrial de la achira o sagú (*Canna edulis*) en Colombia, ejecutado por la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), financiado por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural de Colombia.

² Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Pasto, Colombia. bvolveras@agrosavia.co (autor para la correspondencia, <https://orcid.org/0000-0002-6571-670X>); jflopezr@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0002-7035-1880>), grodriguez@agrosavia.co (<https://orcid.org/0000-0001-6261-7418>).

Resumen

Introducción. En Colombia la producción de almidón de achira (*Canna edulis*, Ker) es importante en la zona andina, en los departamentos de Nariño, Huila y Cundinamarca. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la densidad de siembra y fertilización en el rendimiento de almidón y rizoma de achira y la relación entre ambos, en el departamento de Nariño, Colombia. **Materiales y métodos.** Entre septiembre de 2016 y octubre de 2017 se instalaron ensayos en dos localidades del municipio La Cruz Nariño, Colombia. Con diseño de BCA fue distribuido en parcelas sub-sub-divididas con los siguientes tratamientos: los bloques estuvieron compuestos de dos parcelas principales correspondientes a dos cultivares regionales de achira, las subparcelas correspondieron a dos densidades de siembra 10 000 y 12 500 plantas/ha y las sub-sub-parcelas correspondieron a tres niveles de N, P₂O₅ y K₂O con fuente química y abono orgánico. **Resultados.** El rendimiento de rizoma fue superior al promedio nacional con todos los tratamientos; el mejor rendimiento se obtuvo en el nivel más alto de fertilización química. Hubo mejor respuesta del cultivar morado con 6,15 t ha⁻¹ de almidón, 15 % más que el cultivar verde y un rendimiento almidón/rizoma 21 % superior. Con la mayor densidad de siembra se obtuvo un 15 % más de almidón y con abono orgánico el rendimiento de almidón fue superior al promedio regional, pero 50 % inferior a la fertilización química, con la cual se obtuvo en promedio 6,23 t ha⁻¹. **Conclusión.** Hubo respuesta de la achira a la aplicación de N-P-K y a la densidad de siembra sobre rendimiento de almidón y rizoma de achira y la relación entre ambos, además se encontró una diferente respuesta agronómica de los cultivares bajo las condiciones de estudio.

Palabras clave: densidad de siembra, suelo, sagú, ladera.

Abstract

Introduction. In Colombia, achira (*Canna edulis*, Ker) starch production is important in the Andean zone, in the departments of Nariño, Huila, and Cundinamarca. **Objective.** To evaluate the effect of planting density and



fertilization on achira starch and rhizome yield, and the relationship between them, in the department of Nariño, Colombia. **Materials and methods.** Between September 2016 and October 2017 trials were installed in two locations in the municipality of La Cruz Nariño, Colombia. With BCA design distributed in sub-sub-divided plots with the following treatments: the blocks were composed of two main plots corresponding to two regional cultivars of achira, the sub-plots corresponded to two planting densities 10,000 and 12,500 plants/ha and the sub-sub-plots corresponded to three levels of N, P₂O₅, and K₂O with chemical source and organic fertilizer. **Results.** The rhizome yield was higher than the national average with all treatments; the best yield was obtained at the highest level of chemical fertilization. There was a better response of the purple cultivar with 6.15 t ha⁻¹ of starch, 15 % more than the green cultivar and a 21 % higher starch/rhizome yield. With the highest planting density, 15 % more starch was obtained, and with organic fertilizer the starch yield was higher than the regional average, but 50 % lower than with chemical fertilization, with which an average of 6.23 t ha⁻¹ was obtained. **Conclusion.** There was a response of the achira to the N-P-K application and the planting density on achira starch and rhizome yield, and the relationship between both, in addition a different agronomic response of the cultivars under the study conditions was found.

Keywords: planting density, soil, sago, slope.

Introducción

En Colombia, la achira (*Canna edulis*, Ker) se cultiva en pequeñas áreas o huertas familiares con muy bajo nivel tecnológico (Banco mundial, 2018; Caicedo et al., 2003), la venta del almidón constituye una fuente de ingreso y de empleo en los departamentos de Cundinamarca, Huila y Nariño que es el mayor productor (Caicedo et al., 2003; Santacoloma-Varón, 2015). El almidón de achira se usa para la elaboración de coladas, arepas, pan casero, bizcochuelos y el famoso “bizcocho de achira”, el cual cuenta con denominación de origen para el departamento de Huila en Colombia (Agudelo et al., 2009). El almidón también es usado como aditivo y derivado fosfatado en la industria de alimentos y productos dietéticos (Caicedo et al., 2003), en el acabado de papel, elaboración de pegantes, cápsulas en la industria farmacéutica y en maquillajes y cremas faciales (Ariza et al., 2013; Caicedo et al., 2003). Es utilizado también en la elaboración de fideos transparentes muy apreciados por los vietnamitas y otros pueblos asiáticos, a nivel ambiental tiene importante tasa de captura de CO₂ (Hong-Zhuo et al., 2009).

La achira es un cultivo que presenta adaptabilidad a varios pisos térmicos, desde el nivel del mar y hasta los 2650 m s.n.m. con precipitaciones entre 250 y 4000 mm al año y temperaturas entre 16 °C y 32 °C, pero su mayor rendimiento se obtiene entre los 500 y 2500 m s.n.m. Requiere suelos francos, franco-arenosos, franco-limosos con buen drenaje, ya que presenta poca tolerancia a encharcamientos prolongados, con un rango de pH entre 4,5 y 7,5 (Caicedo et al., 2003; Lu & Dah, 1983; 1984). El sistema de producción presenta varias limitantes tecnológicas relacionadas con el manejo agronómico que hacen que en Colombia el promedio de producción de almidón oscile entre 2,1 y 2,6 t ha⁻¹ (Caicedo et al., 2003; Rodríguez & García, 2001), los trabajos de investigación en diferentes áreas del conocimiento y a nivel local sobre *Canna edulis* son escasos (Imai, 2008), en especial los relacionados con la fertilización que representa 32 % de los costos de producción, donde el fósforo se considera como un nutriente limitante para la acumulación de almidón y de baja disponibilidad en Andisoles (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004).

En Colombia, la densidad de siembra y la fertilización tienen muchas variantes según la región. La distancia entre surcos usada para los departamentos productores fluctúa entre 0,7 y 1,0 m, y 0,5 y 1,0 m entre plantas, que corresponde a una población aproximada de 10 000 a 15 000 rizomas-semillas/ha. Respecto a la fertilización, según la zona de producción, del nivel de ingresos del productor y del precio del almidón, se utilizan fuentes químicas de N-P-K, del grado 1-3-1 y abonos orgánicos locales como bovinaza, gallinaza, pollinaza, lombriabono, ceniza o compost. Estas fuentes se suelen aplicar solas o en mezcla y en cantidades y épocas variables (Caicedo et al.,

2003). En el departamento de Nariño, cuando se usa compost se aplica entre 2,0 y 3,0 t ha⁻¹ en la siembra. Cuando se usan las dos fuentes se pueden aplicar 2 t ha⁻¹ de compost a la siembra y entre 0,8 y 1,2 t ha⁻¹ de fertilizante químico (Caicedo et al., 2003; Rodríguez & García, 2001). La achira presenta alta demanda de macronutrientes como nitrógeno y potasio, donde se reporta la absorción de 240 kg ha⁻¹ de N, entre 500 y 1000 kg ha⁻¹ K para una producción de 3,5 a 5,4 kg m⁻² de materia seca total, con un efecto positivo sobre la viscosidad, recristalización y ruptura del almidón (Hosoi e Imai, 2003; Imai et al., 1990; Kishi & Imai, 1995; Lu & Dah, 1984; Reuter & Robinson, 1997). En cuanto a los requerimientos de fósforo, se reporta entre 60 y 300 kg ha⁻¹ de P₂O₅, debido al fenómeno de fijación de fósforo presente en la mayoría de suelos donde se cultiva la achira, lo cual disminuye la eficiencia en la fertilización fosfórica (Imai et al., 1993; Jaramillo, 2002).

En Campo Grande-MS, Brasil, al evaluar el desarrollo agronómico de achira en suelos con contenidos de 4,6 mg dm⁻³ de fósforo, 21,7 g dm⁻³ de MO y 0,04 cmol dm⁻³ de K, se encontró respuesta con 10 kg ha⁻¹ de nitrógeno en la siembra; con dosis crecientes de P₂O₅ (0, 40, 60, 80 y 120 kg ha⁻¹) no se presentó respuesta, debido posiblemente a que la cantidad existente en el suelo era suficiente para abastecer las necesidades del cultivo. Con 0, 30 y 60 kg ha⁻¹ de K₂O se obtuvo mayor diámetro de tallo, altura de planta y número de hojas con la mayor dosis (Benetoli Silva & Ibanhe Mongelo, 2008).

En Colombia, se ha reportado que el fósforo tiene una importante contribución en la producción de almidón y es el nutriente de mayor concentración con 63 ppm por cada 100 g de rizoma (Rodríguez & García, 2001), lo cual está relacionado con los resultados obtenidos con la respuesta positiva a los niveles de N-P-K (niveles N3 y N4) y los altos rendimientos de almidón, rendimientos similares y superiores a los reportados por Herman et al. (1997) en Vietnam (5,0 t ha⁻¹), Yamamoto et al. (2007) en Japón (4,0 a 7,0 t ha⁻¹), Piyachomkwan et al. (2002) en Tailandia (4,9 t ha⁻¹) y Vimala et al. (2012) en India (6,4 y 7,0 t ha⁻¹).

Al igual que en otros cultivos amiláceos, varias prácticas agronómicas, entre ellas la fertilización, tienen efecto sobre el rendimiento agroindustrial almidón/rizoma o la relación entre el peso del almidón seco obtenido y el peso de los rizomas verdes procesados. Esta relación es muy importante desde el punto de vista técnico y económico; debido a que el rizoma tiene que ser cosechado, limpiado, empacado, transportado, lavado y procesado, entre mayor sea este rendimiento mayores son los beneficios en términos de ingresos para los productores. En Colombia, con manejo tradicional del cultivo y de proceso, esta relación fluctúa entre el 8 % y el 13,3 % (Rodríguez & García, 2001).

En algunas zonas productoras de Asia y América se han realizado estudios relacionados con el efecto de fertilizantes minerales sobre el rendimiento de almidón de achira o sagú. En general, se encontró que la aplicación de macronutrientes incrementó los rendimientos de rizoma y almidón; en Brasil, se encontraron incrementos en el rendimiento por la aplicación de N (Benetoli Silva & Ibanhe Mongelo, 2008); en Colombia, se obtuvieron mayores rendimientos con fertilizantes minerales de los grados 1-3-1 o 15-15-15 (Rodríguez & García, 2001). El alto costo de la semilla y de la fertilización, su efecto sobre el rendimiento de almidón y las respuestas agronómicas del cultivo a estos insumos, son factores que indican la importancia de ajustar la densidad de siembra y la fertilización. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la densidad de siembra y fertilización sobre el rendimiento de almidón y rizoma de achira y la relación entre ambos, en el departamento de Nariño, Colombia.

Materiales y métodos

Localización

El trabajo se desarrolló en la región andina de Nariño Colombia, eco región sabana y montaña, en la zona de vida bosque húmedo Montano (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004), municipio de La Cruz, desde septiembre del 2016 hasta octubre del 2017, en dos localidades productoras (Cuadro 1).

Cuadro 1. Ubicación de los sitios experimentales para evaluar el efecto de la fertilización y densidad de siembra sobre el rendimiento de achira (*Canna edulis*, Ker) en la Cruz, Nariño, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016-2017.

Table 1. Location of experimental sites to evaluate the effect of fertilization and planting density on achira (*Canna edulis*, Ker) yield in the Cruz, Nariño, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

Localidad	Altitud (m s.n.m.)	Coordenadas	Temperatura media (°C) ¹	Tipo de suelo ¹
Cofradía	2263	N 01° 37' 25,3" W 76° 58' 01,6"	16	Typic Udivitrands
La Cañada	2322	N 01° 35' 47" W 76° 56' 15,3"	17	Typic Udivitrands

¹ Fuente / Source: Instituto Geográfico Agustín Codazzi (2004).

Los suelos de la región son profundos, de texturas moderadamente finas, bien drenados, moderadamente ácidos y de mediana fertilidad (Cuadro 2); durante el periodo de estudio se tomó información de la precipitación (Cuadro 3).

Cuadro 2. Condiciones químicas de suelo antes del establecimiento de los experimentos para evaluar el efecto de la fertilización y densidad de siembra sobre el rendimiento de achira (*Canna edulis*, Ker), en el municipio La Cruz, Nariño, Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016-2017.

Table 2. Soil chemical conditions before the establishment of the experiments to evaluate the effect of fertilization and planting density on achira (*Canna edulis*, Ker) yield, in the municipality La Cruz, Nariño, Corporacion Colombiana de investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

Condiciones químicas del suelo	La Cofradía	La Cañada
pH	5,10	6,04
CE (dS/m)	0,45	0,16
Materia orgánica (%)	8,01	2,13
P (mg kg ⁻¹)	30,12	45,40
S (mg kg ⁻¹)	22,77	1,18
Al+H (cmol(+)/kg)	0,84	0,00
Al (cmol(+)/kg)	0,57	0,00
Ca (cmol(+)/kg)	2,64	5,79
Mg (cmol(+)/kg)	0,47	2,26
K (cmol(+)/kg)	0,18	0,24
Na (cmol(+)/kg)	0,12	<0,10
CICE (cmol(+)/kg)	4,25	8,39
Hierro (mg kg ⁻¹)	26,39	17,42
Manganeso (mg kg ⁻¹)	2,24	2,39
Zinc (mg kg ⁻¹)	1,63	1,68
Cobre (mg kg ⁻¹)	1,11	1,66
Boro (mg kg ⁻¹)	0,68	0,30

Cuadro 3. Precipitación mensual, acumulada durante el periodo del estudio de densidad de siembra y fertilización del cultivo de achira (*Canna edulis*, Ker) en La Cruz, Nariño, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016-2017.

Table 3. Monthly, accumulated rainfall during the period of the study of planting density and fertilization of the achira (*Canna edulis*, Ker) crop in La Cruz, Nariño, Corporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

Mes	Año	Precipitación mes	Acumulada
Nov	2016	234,6	234,6
Dic	2016	129,9	364,5
Ene	2017	244,2	608,7
Feb	2017	103,5	712,2
Mar	2017	247,2	959,4
Abr	2017	93,5	1052,9
May	2017	184,8	1237,7
Jun	2017	16,2	1253,9
Jul	2017	12,1	1266
Ago	2017	34,3	1300,3
Sep	2017	0	1300,3

Adaptado de / Adapted from Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (2017).

Material vegetal

Se utilizaron dos cultivares regionales de achira o sagú (*Canna edulis*, Ker) conocidos como achira verde y achira morada, los cuales son los más utilizados por los productores de Nariño (Figura 1).

Diseño experimental

Se establecieron dos lotes experimentales en las localidades de La Cofradía y La Cañada, con diseño de parcelas sub-sub-divididas, con distribución en bloques completos al azar con tres repeticiones, donde las parcelas principales correspondieron a los dos cultivares de achira (verde y morada), las sub-parcelas correspondieron a dos densidades de siembra (10 000 y 12 500 plantas/ha) y las sub-sub-parcelas correspondieron a cuatro dosis o niveles de N, P₂O₅ y K₂O (Cuadro 4), con fuentes químicas y orgánicas (testigo). Los niveles de N-P-K se definieron con base en lo que aplica el productor local y los requerimientos de la achira reportados en algunos estudios (Caicedo et al., 2003; Benetoli Silva & Ibanhe Mongelo, 2008). El abono orgánico tuvo una composición de 1,5 % de N; 4,0 % de P₂O₅ y 3,5 % de K₂O.

Unidad experimental

La unidad experimental estuvo constituida por tres surcos de 5 m, distanciados a 1,0 m para un total de 48 parcelas o unidades experimentales en cada localidad.



Figura 1. Cultivar morado y cultivar verde de achira (*Canna edulis*, Ker) utilizados para el estudio de densidades de siembra y fertilización en el municipio La Cruz, Nariño, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016-2017.

Figure 1. Purple and green achira (*Canna edulis*, Ker) cultivar used for the study of planting densities and fertilization in the municipality of La Cruz, Nariño, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

Cuadro 4. Tratamientos del estudio del efecto de la densidad de siembra y la fertilización sobre el rendimiento de almidón de achira (*Canna edulis*, Ker) en La Cruz, Nariño, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016-2017.

Table 4. Treatments of the study of the effect of planting density and fertilization on achira (*Canna edulis*, Ker) starch yield in La Cruz, Nariño, Corporacion Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

Parcela principal	Sub-parcela	Sub-subparcela (kg ha ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Verde	10 000	30	80	70*
		100	150	50
Morada	12 500	150	300	100
		200	450	150

*Abono orgánico 2 t ha⁻¹. / *Organic fertilizer 2 t ha⁻¹.

Manejo agronómico

La preparación de los lotes se realizó con un pase de arado de disco y uno de rastrillo; la semilla se sometió a desinfección y se sembró en hoyos de 0,1 m por 0,1 m y 0,2 m de profundidad. Se realizaron dos aporques y controles fitosanitarios que permitieran sostener un buen desarrollo del cultivo. Tal como lo hace el productor en

la zona de estudio, el abono orgánico se aplicó en una sola dosis a la siembra y el fertilizante químico se fraccionó por mitades aplicadas a los dos y cuatro meses después de la siembra.

VARIABLES EVALUADAS

Se evaluaron las siguientes variables:

- Rendimiento de rizomas: diez meses después de siembra, se cosecharon las plantas en del surco central de cada unidad experimental y se pesó el rizoma en fresco.
- Rendimiento de almidón: de cada unidad experimental se pesaron en fresco 10 kg de rizoma y en el Centro de Investigación Obonuco de AGROSAVIA se extrajo el almidón.
- Rendimiento almidón/rizoma (%): se obtuvo a partir de la cantidad de almidón obtenida de 10 kg de rizoma en fresco cosechados en cada parcela.

ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

La información se procesó con la ayuda del paquete estadístico SAS. Los datos obtenidos en los experimentos se sometieron a un análisis de varianza (PROC GLM). Se realizó análisis combinado por localidad para determinar diferencias entre los lotes experimentales. Para las variables en donde no se presentaron diferencias estadísticas entre localidades, los datos se analizaron como un solo grupo. Variables en donde se observaron diferencias estadísticas por localidad se analizaron en forma separada. Asimismo, se hicieron las pruebas de normalidad correspondientes y las pruebas Tukey (HSD), para comparación de medias en los casos en que se detectaron diferencias estadísticas significativas a un nivel de $\alpha=0,05$.

Resultados

Rendimiento de rizomas

El rendimiento de rizomas fue afectado en forma altamente significativa ($p<0,001$) por el factor fertilización y por la interacción localidad*fertilización. El incremento de la dosis de N-P-K aumentó significativamente ($p<0,001$) el rendimiento de rizoma; se encontró que el menor rendimiento se obtuvo con abonamiento orgánico, que fue similar al rendimiento promedio nacional (22 t ha⁻¹). Los mayores rendimientos se obtuvieron en los niveles N3 y N4, sin diferencias significativas entre sí. Las dosis o niveles N2, N3 y N4 superaron al abonamiento orgánico en 14,23, 16,89 y 18,58 t ha⁻¹, respectivamente (Cuadro 5).

Respecto al efecto de la interacción localidad*fertilización, la localidad de Cofradía presentó el mayor rendimiento (44,47 t ha⁻¹) con el N4 de N-P-K y en ambas localidades el menor rendimiento se obtuvo con abonamiento orgánico. El rendimiento de rizoma con abono orgánico en la Cañada fue 21 % superior al obtenido en Cofradía; el rendimiento en los niveles N2 y N3 fue similar en las dos localidades (Figura 2).

Rendimiento de almidón

Para rendimiento de almidón hubo efectos altamente significativos ($p<0,001$) de los factores cultivar, densidad, fertilización y de la interacción localidad*fertilización. El mayor rendimiento de almidón lo presentó el cultivar

Cuadro 5. Diferencias entre niveles de fertilización para la variable rendimiento de rizoma ($t\ ha^{-1}$) de dos cultivares de achira (*Canna edulis*, Ker) y dos densidades de siembra en dos localidades del municipio de La Cruz, Nariño, Corporación Colombiana de investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016-2017.

Table 5. Differences between fertilization levels for the variable rhizome yield ($t\ ha^{-1}$) of two achira (*Canna edulis*, Ker) cultivars and two planting densities in two locations in the municipality of La Cruz, Nariño, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

Nivel de fertilización	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Rendimiento de rizomas ($t\ ha^{-1}$) ^a
N1	30	80	70	23,96 c
N2	100	150	50	38,19 b
N3	150	300	100	40,85 ab
N4	200	450	150	42,54 a

^a Los promedios seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes. / ^a Averages followed by the same letter are not significantly different.

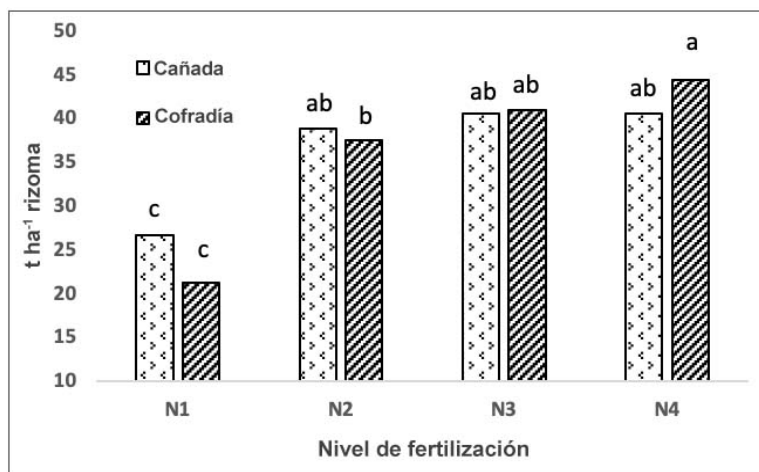


Figura 2. Diferencias para la interacción localidad*fertilización para la variable rendimiento ($t\ ha^{-1}$) de rizoma de achira (*Canna edulis*, Ker) en el municipio de La Cruz, Nariño, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016- 2017.

*N: nivel de fertilización; promedios seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes.

Figure 2. Differences for the locality*fertilization interaction for the variable achira (*Canna edulis*, Ker) rhizome yield ($t\ ha^{-1}$) in the municipality of La Cruz, Nariño, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

*N: fertilization level; averages followed by the same letter are not significantly different.

morado, 15 % superior al cultivar verde; el rendimiento de almidón de los dos cultivares superó al rendimiento promedio nacional en 55 % y 62 %, respectivamente. A su vez, el porcentaje de conversión de almidón del cultivar morado fue 21 % superior al cultivar verde, lo que indica que por cada tonelada de rizoma cosechado, el cultivar morado produjo 37,4 kg más de almidón que el cultivar verde (Cuadro 6).

Cuadro 6. Diferencia entre cultivares de achira (*Canna edulis*, Ker) para la variable rendimiento de almidón (t ha⁻¹), la Cruz, Nariño. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016-2017.

Table 6. Difference between achira (*Canna edulis*, Ker) cultivars for the variable starch yield (t ha⁻¹), La Cruz, Nariño. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA) Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

Cultivar	Rendimiento de almidón (t ha ⁻¹)	Conversión de almidón/rizomas (%)
Verde	5,19	13,92
Morado	6,15	17,66
Pr > tI	0,0043	0,0015

Para densidad de siembra, hubo diferencias significativas ($P > 0,0445$); el mayor rendimiento de almidón (6,11 t ha⁻¹) se obtuvo con 12 500 plantas por hectárea, 14 % más (0,87 t ha⁻¹) que la menor densidad (10 000 plantas por hectárea) con 5,24 t ha⁻¹. Los rendimientos de las dos densidades de siembra superaron en 55 % y 61 % al rendimiento promedio nacional.

Para los niveles o dosis de fertilización, se encontró que el rendimiento de almidón se incrementó al aumentar las cantidades de N-P y K; el menor rendimiento se obtuvo con abonamiento orgánico y el mayor con la dosis N3 y N4. El rendimiento con 2 t de abono orgánico superó al promedio nacional en 1,64 t ha⁻¹. El cambio de abonamiento orgánico a fuente química incrementó el rendimiento de almidón en 1,72 t ha⁻¹ (30 %), 2,17 t ha⁻¹ (35 %) y 2,83 t ha⁻¹ (41 %) para los niveles N2, N3 y N4, respectivamente. Respecto al rendimiento promedio nacional, en su orden los niveles N1, N2, N3 y N4 lo superaron en 41 %, 59 %, 62 % y 65 %, respectivamente (Cuadro 7).

Cuadro 7. Diferenciación entre niveles de fertilización para la variable rendimiento de almidón (t ha⁻¹) de dos cultivares de achira (*Canna edulis*, Ker) y dos densidades de siembra en dos localidades del municipio de La Cruz, Nariño. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016-2017.

Table 7. Differentiation between fertilization levels for the variable starch yield (t ha⁻¹) of two achira (*Canna edulis*, Ker) cultivars and two planting densities in two localities of the municipality of La Cruz, Nariño. Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria (AGROSAVIA), Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

Nivel de fertilización	N	P ₂ O ₂	K ₂ O	Rendimiento de almidón (t ha ⁻¹) ^a
N1	30	80	70	3,99 c
N2	100	150	50	5,72 b
N3	150	300	100	6,16 ab
N4	200	450	150	6,82 a

^a Promedios seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes. / ^a Averages followed by the same letter are not significantly different.

La interacción localidad*fertilización para rendimiento de almidón (Figura 3) mostró que el mayor rendimiento se obtuvo en Cofradía con la dosis N4 y el menor rendimiento se presentó con abonamiento orgánico en las dos localidades. El rendimiento de almidón con abono orgánico en la Cañada fue 21 % superior al obtenido en Cofradía. En las dos localidades todos los tratamientos de fertilización superaron al promedio nacional (2,35 t ha⁻¹) y algunos triplicaron este rendimiento.

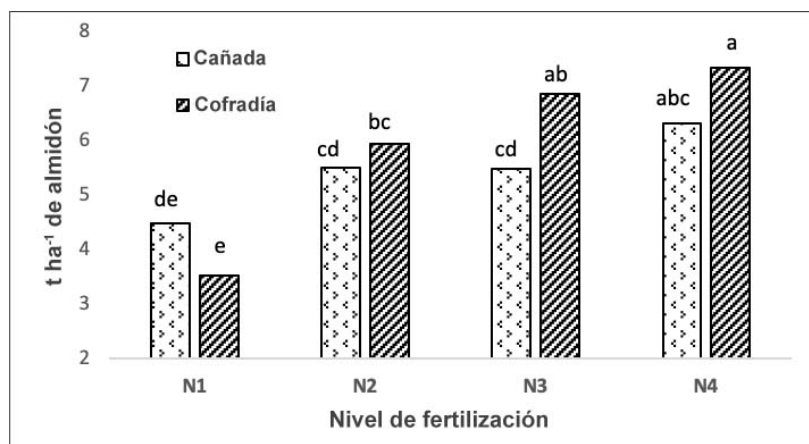


Figura 3. Diferencias para la interacción localidad*fertilización para la variable rendimiento de almidón ($t\ ha^{-1}$) de achira (*Canna edulis*, Ker). La Cruz Nariño, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Centro de Investigación Obonuco, Colombia. 2016-2017.

*Promedios seguidos por la misma letra no son significativamente diferentes.

Figure 3. Differences for the locality*fertilization interaction for the variable starch yield ($t\ ha^{-1}$) of achira (*Canna edulis*, Ker). La Cruz Nariño, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA), Obonuco Research Center, Colombia. 2016-2017.

*Averages followed by the same letter are not significantly different.

Discusión

A pesar de la demanda de nutrientes como el N y K, que presenta la achira y de la fertilidad baja en comparación con la media para el suelo donde se desarrolló el estudio (Cuadro 2), el rendimiento de rizomas con las dosis de N-P-K fue superior al rendimiento promedio en los Andes y similar a los rendimientos de algunos países asiáticos, que obtienen entre 25 y 70 $t\ ha^{-1}$ (Hermann et al., 1997; Sudomo & Hani, 2014). Con abono orgánico se obtuvo un rendimiento superior al rendimiento promedio nacional (20 $t\ ha^{-1}$) con fertilizante químico; algunos estudios han demostrado que, aunque los abonos orgánicos no son una fuente suficiente de nutrientes, sí generan efectos positivos sobre algunas propiedades del suelo, por ejemplo, la reducción de acidez mejora la disponibilidad de Ca y P (Baquero, 2002), aumenta la retención de humedad y la actividad microbiana (Burbano, 1998; Sulistyaningsih et al., 2018)

En general, se observó que el mayor rendimiento se obtuvo en los niveles N3 y N4 con fuente química, debido a los requerimientos reportados de N-P-K; se presentó mayor respuesta a las dosis de aplicación más altas, principalmente en la localidad con menores contenidos de estos nutrientes en el suelo con 0,30 $mg\ kg^{-1}$ de P y 0,18 $ccmol$ de K, catalogados como niveles medio y bajo en suelo, respectivamente (Cuadro 3), donde hubo aumento de producción de rizomas y almidón a medida que se aumentaron los niveles de N-P-K (Figuras 2 y 3). Además, al tomar en cuenta el suministro de agua de lluvia durante noviembre y diciembre, épocas durante las cuales se aplicó el fertilizante químico, este contribuyó a presentar una eficiencia adecuada en la práctica. La achira absorbe cerca 240 $kg\ ha^{-1}$ de N, entre 500 y 1000 $kg\ ha^{-1}$ de K y cerca de 70 $kg\ ha^{-1}$ de P (Imai, 2008; Rahayu & Wijayanto, 2014), razón por la cual el rendimiento de los niveles de fertilización N3 y N4 casi duplicaron el rendimiento frente al abono orgánico. Lo anterior está relacionado con estudios según los cuales el contenido de macro y micronutrientes en hojas y tallos fue de 1,5 a 3,6 % y 0,4 a 2,2 %, respectivamente, y la absorción de N de 240 $kg\ ha^{-1}$; el contenido K de los tallos de achira (6-14 %) se ubicó en el puesto alto en comparación con otros cultivos de raíces y tubérculos

como papa (17,6 %) y batata (Imai et al., 1990; Reuter & Robinson, 1997). La achira es muy sensible al contenido natural de nutrientes del suelo (Benetoli Silva & Ibanhe Mongelo, 2018), de tal manera que presenta alta respuesta a la aplicación de fertilizantes cuando los nutrientes del suelo no suplen las demandas del cultivo. Además, en los Andisoles la eficiencia del fósforo y el nitrógeno es baja (Instituto Geográfico Agustín Codazzi, 2004). En un estudio de fertilización con P en cultivos de aguacate en Andisoles, se encontró que en este tipo de suelos se incrementaba el requerimiento de este nutriente (Tamayo, 2005), por lo tanto, al aplicar dosis de macronutrientes superiores a lo que aplica el productor, el cultivo contó con mejor suministro y disponibilidad de nutrientes.

El efecto de los niveles de N-P-K sobre el rendimiento de almidón fue consistente para las dos localidades, en las cuales se obtuvo menor rendimiento con abonamiento orgánico y mayor en los niveles N3 y N4 con fertilizante químico, debido en gran parte a la baja fertilidad del suelo, a la demanda de N-P-K de la achira y la respuesta positiva del cultivo a fuentes químicas de macronutrientes, de tal manera que con los niveles aplicados, las plantas tuvieron disponibilidad de nutrientes adicionales a los del suelo para la acumulación de almidón.

Otros factores agronómicos a tener en cuenta y que también se relacionan con los resultados obtenidos en el rendimiento de almidón en esta investigación, son, en primer lugar, que la cosecha se realizó en la época más apropiada, ya que los reportes en Colombia muestran que, por necesidad de ingresos, los productores cosechan antes de los diez meses, periodos en los que aún son bajas las concentraciones de almidón (Caicedo et al., 2003) y según Benetoli Silva & Ibanhe Mongelo, 2008, el ciclo de cultivo para máxima extracción de almidón varía entre 10 y 12 meses. En segundo lugar, que los nutrientes se aplicaron en las épocas recomendadas, pues de acuerdo con Rahayu & Wijayanto (2014), la fertilización debe fraccionarse como mínimo dos veces, la primera cuando el rizoma-semilla presenta raíces activas y la segunda a los cuatro meses después de la siembra, ya que es el momento en que las plantas comienzan a formar rizomas y acumulación almidón.

El rendimiento de una tonelada más de almidón del cultivar morado frente al cultivar verde, que a precios actuales representan cinco millones de pesos colombianos (US\$ 1436) más por hectárea, pudo estar relacionado con la mejor adaptación del cultivar a las zonas productoras, su mayor rendimiento almidón/rizoma y al conocimiento del manejo agronómico que del cultivar tienen los productores, pues en Colombia es el cultivar que se ha sembrado por décadas y en mayor área frente a otros (Rodríguez & García, 2001). El cultivar morado presentó mejor arquitectura como mayor altura de planta, mayor número y tamaño de hojas, mayor producción de materia seca y mejor tolerancia a plagas y enfermedades frente a otros cultivares, lo cual le proporciona mejor capacidad de respuesta a las condiciones del entorno, a la competencia de malezas, a la toma de nutrientes y su respectiva acumulación de carbohidratos producto de la fotosíntesis (Lobo et al., 2017).

Otros estudios también reportaron mejor respuesta de los cultivares morados de achira. Al comparar diferentes genotipos o accesiones de achira de los Andes y vietnamitas, se encontraron diferencias en la producción y las accesiones negras o moradas fueron las de mayor rendimiento de almidón y de materia seca (Hermann et al., 1997). Al evaluar cultivares de color verde, púrpura y morada, se encontró que los cultivares morados rindieron 25 % más de rizoma y 5 % más de materia seca (Vimala et al., 2012).

Obtener 900 kg ha⁻¹ más de almidón en la mayor densidad de siembra (1 m x 0,8 m), demostró que la achira es sensible a las distancias de siembra y que son fundamentales para obtener buenos rendimientos. Este resultado puede estar asociado a varios factores agronómicos como, por ejemplo, que la achira al ser una planta casi perenne, herbácea, cuyo tallo se desarrolla en ramificaciones que dan origen a vástagos aéreos que forman macollas y hojas de hasta 0,8 m de largo, en altas densidades puede generar competencia entre plantas que conlleva a una baja acumulación de asimilados y un bajo rendimiento del cultivo (Sudomo & Hani, 2014). Es de esperar que, si se utilizan densidades bajas en achira como las utilizadas en este estudio, no haya buen cierre de calles y las malezas encuentren condiciones necesarias para proliferar y competir por nutrientes, agua y luz (Imai & Kiya, 2017). De igual manera, si se utilizan altas densidades, por el ciclo vegetativo y tipo de crecimiento, se presenta volcamiento, tallos débiles y competencia por recursos (Lu & Dah, 1984).

En cultivares de achira de menor porte que los cultivares aquí estudiados, se reportó mayores rendimientos con 27 000 plantas/ha (Imai, 2008). En la India, con distancias de siembra de 0,9 m por 0,9 m (12 300 plantas/ha), encontraron rendimientos promedios de rizoma de 33 t ha⁻¹ (Vimala et al., 2012), resultados similares a los obtenidos en el presente estudio.

En igualdad de condiciones de manejo, suelo y clima, el cultivar de achira morada presentó mayor nivel de acumulación de almidón (17,7 %) que el cultivar verde (13,9 %), lo que significa que para que el cultivar verde iguale el rendimiento de almidón del cultivar morado en una hectárea, se deben cosechar, limpiar, transportar y procesar 8 t más de rizoma verde, lo que implica menor rentabilidad.

Si se considera que el almidón lo sintetizan las plantas a partir del dióxido de carbono, es claro que esta capacidad, además de genética, depende de factores como el clima, la fertilidad del suelo y el manejo (Molina Sánchez et al., 2017) y dado que el cultivar morado es el más cultivado en el tiempo y área en Colombia, se ha adaptado mejor a las condiciones del entorno donde se cultiva (González et al., 2017; Lobo et al., 2017).

Conclusiones

Los dos cultivares de achira, respondieron a la aplicación creciente de N-P-K, todos los niveles con fuente química superaron al abonamiento orgánico y el aumento de la densidad de siembra incrementó el rendimiento de almidón y rizoma de achira.

El cultivar morado presentó mayor rendimiento de almidón y porcentaje de conversión almidón/rizoma, lo que implica que a partir de este material se podrían desarrollar nuevos trabajos enfocados no solo a mejorar la práctica de la nutrición si no todo el manejo agronómico, que permita mantener o aumentar el rendimiento de este cultivar.

Agradecimientos

Los autores expresan sus agradecimientos a la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (AGROSAVIA) y al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) de Colombia quien financió con recursos públicos el macroproyecto en el que se realizó esta investigación; asimismo, al personal de la Revista Ciencia y Tecnología Agropecuaria de AGROSAVIA por su apoyo en la traducción y aportes, y al asistente de investigación Arturo Mesias Ceron Melo que participó activamente en el manejo agronómico de los lotes experimentales.

Referencias

- Agudelo, I., Montenegro, J., Gurni, A., Schimpf, J., Vignale, N., & Bassols, G. (2009). Análisis micrográfico de rizomas de *Canna coccinea* Mill. (Cannaceae). *Boletín Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromáticas*, 8(4), 312–316. <https://www.redalyc.org/pdf/856/85611265014.pdf>
- Ariza, L. E., Castro, C. A., & Gómez, C. J. (2013). Factibilidad del uso del almidón de achira como agente controlador de filtrado en lodos de perforación base agua. *Revista Ion*, 26(1), 63–71. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/3534>

- Baquero, J. E. (2002). *Estudio de la interacción suelo planta resultante de la adición de materiales orgánicos en cultivares de Maíz (Zea mays L.) en un Oxisol de la Orinoquia Colombiana* [Tesis de Maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio de la Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/21693>
- Banco Mundial. (2018, 20 de enero). *Población rural (% de la población total) – Colombia*. <https://datos.bancomundial.org/indicador/SP.RUR.TOTL.ZS?locations=CO>
- Benetoli Silva, T. R., & Ibanhe Mongelo, A. (2008). Adubação de plantio na cultura do Biri (*Canna edulis* Kerr-Gawler). *Agrarian, 1*(1), 37–42. <https://ojs.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/26>
- Burbano, H. (1998). Las enmiendas orgánicas. En R. Guerrero Riascos (Ed.), *Fertilización de cultivos de clima frío* (pp. 363–403). Monómeros Colombo Venezolana. <http://www.monmeros.com/descargas/dpmanualfrio.pdf>
- Caicedo, D., Rozo, L., & Rengifo, G. (2003). *La achira: alternativa agroindustrial para áreas de economía campesina*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/13024>
- González, G., Ciciarelli, M., & Roller, C. (2017). Estudios citogenéticos en cuatro taxones de *Canna* (Cannaceae) de la provincia de Buenos Aires, Argentina. *Botanica Complutensis, 41*, 93–98. <https://doi.org/10.5209/BOCM.56867>
- Hermann, M., Uptmoor, R., Freire, I., & Montalvo, J. L. (1997). Crop growth and starch productivity of edible canna. In International Potato Center (Ed.), *Program report 1995-1996* (pp. 295–301). International Potato Center. <https://bit.ly/3KnEr6M>
- Hosoi, J., & Imai, K. (2003). Respiration of adventitious roots in edible canna. *Japanese Journal of Crop Science, 72*(2), 227–228. <https://doi.org/10.1626/jcs.72.227>
- Hong-Zhuo, T., Zai-Gui, L., & Bin, T. (2009). Starch noodles: History, classification, materials, processing, structure, nutrition, quality evaluating and improving. *Food Research International, 42*(5–6), 551–576. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.02.015>
- Imai, K. (2008). Edible Canna: A prospective plant resource from south America. *Japanese Journal of Plant Science, 2*(2), 46–53.
- Imai, K., Adachi, N., & Yoritaka, S. (1990). Studies on matter production of *Edible canna*: Absorption of mineral nutrients. *Japanese Journal of Crop Science, 59*(Extra 2), 89–90.
- Imai, K., Kawana, T., Shimabe, K., Intabon, K., & Tanaka, K. (1993). Studies on matter production of *Edible canna*: II. Changes of dry matter production with growth. *Japanese Journal of Crop Science, 62*(4), 601–608. <https://doi.org/10.1626/jcs.62.601>
- Imai, K., & Kiya, R. (2017). A mechanical study on the mitigation of lodging in edible canna. *Plant Production Science, 20*(1), 55–66. <https://doi.org/10.1080/1343943X.2016.1255148>
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. (2004). Descripción de los suelos. En L. Burgos (Ed.), *Estudio general de suelos y zonificación de tierras: Departamento de Nariño* (pp. 61–168). Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. (2017). *Valores mensuales de temperatura y precipitación de Nariño, 1956–2017*. <https://bit.ly/3OMjtBJ>
- Jaramillo, D. F. (2002). *Introducción a la ciencia del suelo*. Universidad Nacional de Colombia.

- Kishi, Y., & Imai, K. (1995). Starch accumulation during the growth of *Edible canna*. *The Crop Science Society of Japan*, 10, 57–58.
- Lobo Arias, M., Medina, Cano, C. I., Grisales, Arias, J. D., Yepes, Agudelo, A. F., & Álvarez-Guzmán, J. A. (2017). Caracterización y evaluación morfológicas de la colección colombiana de achira *Canna edulis* Ker Gawl. (Cannaceae). *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 18(1), 47–73. http://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num1_art:558
- Lu, A. N., & Dah, P. N. (1983). Yield trial of edible canna varieties. *Annual Report, Dryland Food Crops Improvement*, 24(1), 314–315.
- Lu, A. N., & Dah, P. N. (1984). Effect of planting density on tuber production of edible canna (II). *Annual Report Dryland Food Crops Improvement*, 25(1), 272–273.
- Molina Sánchez, P. Y., Encalada Flores, K. S., & Valle Álvarez, L. V. (2017). Estudio preliminar del efecto de $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ en la oxidación del almidón de achira (*Canna edulis*) con peróxido de hidrógeno. *Revista Politécnica*, 39(2), 67–72. https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/798
- Piyachomkwan, K., Chotineeranat, S., Kijkhunasatian, C., Tonwitawat, R., Prammanee, S., Oates, C. G., & Sriroth, K. (2002). Edible canna (*Canna edulis*) as a complementary starch source to cassava for the starch industry. *Industrial Crops and Products*, 16(1), 11–21. [https://doi.org/10.1016/S0926-6690\(02\)00003-1](https://doi.org/10.1016/S0926-6690(02)00003-1)
- Rahayu, A., & Wijayanto, N. (2014). Pengaruh dosis pupuk NPK dan kompos terhadap pertumbuhan ganyong merah (*Canna edulis* Ker.) di bawah tegakan sengon (*Falcataria moluccana* Miq.). *Jurnal Silvicultura Tropika*, 5(2), 119–123. <http://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/67895>
- Reuter, D. J., & Robinson J. B. (1997). *Plant analysis: An interpretation manual*. CSIRO Publishing.
- Rodríguez, B. G., & García, H. R. (Coord.) (2001). *Análisis socioeconómico y técnico de la minicadena agroindustrial de la achira* [Reporte técnico]. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <https://repository.agrosavia.co/handle/20.500.12324/12828>
- Santacoloma-Varón, L. E. (2015). Importancia de la economía campesina en los contextos contemporáneos: una mirada al caso colombiano. *Entramado*, 11(2), 38–50. <http://doi.org/10.18041/entramado.2015v11n2.22210>
- Sudomo, A., & Hani, A. (2014). The influence of agroforestry silviculture on productivity and quality of *Canna edulis* Ker on private forest land. *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 1(3), 137–142. <https://doi.org/10.15243/jdmlm.2014.013.137>
- Sulistyaningsih, L. N., Susilawati, & Setiyawan, R. P. (2018). The application of organic materials on growth of edible *Canna* (*Canna edulis* ker) in tidal swamp. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences*, 82(10), 226–233. <https://doi.org/10.18551/rjoas.2018-10.25>
- Tamayo, A. (2005). *Nutrición y fertilización*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. <http://hdl.handle.net/20.500.12324/13461>
- Yamamoto, Y., Tanaka, N., Hayafuji, M., Iwahara, Y., & Miyazaki, A. (2007). Growth and productivity of edible canna 3 lines in hot southwestern. *Japanese Journal of Tropical Agriculture*, 51(1), 95–96.
- Vimala, B., Moorthy, S. N., & Nambisan, B. (2012). Rhizome yield and starch properties of *Canna edulis*. *Journal of Root Crops*, 38(1), 81–83. <https://journal.isrc.in/index.php/jrc/article/view/63>