

Componentes del rendimiento en cultivares de ajonjolí *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae), en el departamento de Sucre (Colombia)

Yield components in sesame *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae) cultivars in the department of Sucre (Colombia)

Jhonys de Jesús Pérez-Bolaños,^{1*} Jairo Guadalupe Salcedo-Mendoza²

¹ Investigador, Universidad de Sucre, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (Pades). Sincelejo, Colombia.

Correo: jhjperzbo@unal.edu.co. orcid.org/0000-0002-7571-285X

² Profesor titular, Universidad de Sucre, Facultad de Ingeniería. Sincelejo, Colombia.

Correo: jairo.salcedo@unisucra.edu.co

Editor temático: Javier Orlando Orduz Rodríguez (Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria [Corpoica])

Fecha de recepción: 05/06/2017

Fecha de aprobación: 01/02/2018

Para citar este artículo: Pérez-Bolaños, J. J. & Salcedo-Mendoza, J. G. (2018). Componentes del rendimiento en cultivares de ajonjolí *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae), en el departamento de Sucre (Colombia). *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 19(2), 263-276.

DOI: https://doi.org/10.21930/rcta.vol19_num2_art:660



Esta licencia permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de la obra de modo no comercial, siempre y cuando se dé el crédito y se licencien sus nuevas creaciones bajo las mismas condiciones.

* Autor de correspondencia. Universidad de Sucre, carrera 28 N.º 5-267, barrio Puerta Roja, Bloque Académico, Oficina de Docentes, piso 3, oficina 02.

Resumen

La semilla de ajonjolí, *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae), presenta un gran potencial para el sector agrícola en el departamento de Sucre (Colombia), principalmente en la elaboración de productos alimenticios y biocombustibles, debido a su contenido de aceite y nutrientes. En consecuencia, el presente estudio buscó determinar los componentes del rendimiento en el ajonjolí, por medio de su descripción. Entre ellos se encuentran nudos fértiles en tallo, cápsulas por nudo fértil, semillas por cápsula, peso de mil semillas, cantidad de ramas y nudos fértiles en rama, así como el rendimiento y el contenido de aceite en semilla, para los cultivares Criollo, ICA Matoso y Chino Rojo, en el último trimestre de 2015. Las variables se analizaron mediante un

diseño en bloques completos al azar y modelos de regresión simple entre el rendimiento por planta y los componentes. Se encontró un efecto significativo del factor cultivar en los componentes, excepto en el número de nudos fértiles en rama, y una mayor cantidad promedio de nudos fértiles en tallo (30), semillas por cápsula (68) y peso de mil semillas (2,86 g), en los cultivares Criollo e ICA Matoso. De igual forma, se encontraron rendimientos promedio de semilla de 1.289,8 kg/ha en Criollo, y un contenido de aceite de aproximadamente un 49% en ICA Matoso. Asimismo, el componente que tuvo una mayor asociación lineal con el rendimiento fue el peso medio de semilla, el cual posibilita seleccionar, entre los estudiados, el cultivar con mejor comportamiento.

Palabras clave: contenido de lípidos, semillas, sésamo, *Sesamum indicum*, Sucre (Colombia)

Abstract

Sesame *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae) seeds have a great potential for the agricultural sector in the department of Sucre (Colombia), mainly in the elaboration of food products and biofuels, due to its favorable oil and nutrient content. The aim of this study was to establish yield components in sesame through the description of components such as: fertile nodes in stem, capsules per fertile node, seeds per capsule, weight of 1,000 seeds, number of branches and fertile nodes per branch, as well as yield and oil content in seed, for the cultivars Criollo, ICA Matoso and Chino Rojo, in the last quarter of 2015. The variables were analyzed through a randomized complete block design and simple

regression models between yield per plant and components. A significant effect of the variety factor was found on the components, except for number of fertile nodes in the branch and greater number of fertile nodes in the stem (30), seeds per capsule (68) and average weight of one thousand seeds (2.86 g) in the Criollo and ICA Matoso cultivars. Likewise, average seed yields of 1,289.8 kg/ha in the Criollo cultivar were found, as well as oil content of ca. 49% in the cultivar ICA Matoso. Similarly, the yield component with the highest linear association was average seed weight, which allows the selection of the best performing cultivars among the ones studied.

Keywords: crop yield, lipid content, seed, sesame, *Sesamum indicum*, Sucre (Colombia)

Introducción

Sesamum indicum L., cuyo nombre común en Colombia es ajonjolí, pertenece a la familia Pedaliaceae, y se presume que es originario del este del continente africano y la India (Bedigian, 2003). La característica relevante de este cultivo consiste en el alto contenido de aceite de las semillas de dicha planta, el cual representa entre el 50 % y el 60 % de su peso; además, este vegetal tiene adecuados rendimientos en ambientes con déficit hídrico (Pham, Thi-Nguyen, Carlsson, & Bui, 2010).

Además del alto contenido de aceite, la semilla de ajonjolí presenta cantidades aceptables de calcio, fósforo, hierro y vitaminas como tiamina, rivoftavina y niacina, aspectos que demuestran su alto potencial de uso en la industria alimentaria (Ismaila & Usman, 2012).

Por otro lado, en los últimos años en Brasil, se ha reconocido la importancia socioeconómica de este cultivo en la producción agrícola, principalmente en programas de sustitución de los combustibles fósiles por aquellos de origen vegetal (biodiésel), en los que se contempla como una buena alternativa (Ahmad, Ullah, Khan, Ali, Zafar, & Sultana, 2011; Andrade, 2008; Dawodu, Ayodele, & Bolanle-Ojo, 2014).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) (2013), durante el año 2013 se dedicó a este cultivo un área aproximada de 9.416.369 ha en todo el mundo, y se obtuvieron producciones de 4.847.921 t de semilla. Dicha área se concentra sobre todo en regiones tropicales, donde está ampliamente adaptado, se desarrolla sin mayor dificultad y presenta rendimientos aceptables de semilla (514,8 kg/ha) y aceite (Weiss, 2000).

En Colombia, la mayoría del ajonjolí se cultiva en la costa atlántica, en especial en los departamentos de Bolívar, Córdoba, Magdalena y Sucre. Esta región aporta aproximadamente el 50 % de la producción nacional (Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario Colombiano [Agronet], 2013),

la cual es destinada al consumo familiar y, en un porcentaje muy bajo, a la comercialización de semilla. Según reportes de Agronet (2013), en la última década (2003-2013), el área dedicada a este cultivo en el departamento de Sucre pasó de 1.463 a 463 hectáreas, con rendimientos promedio de 600 kg/ha (siendo el nacional de 700 kg/ha).

En algunos casos, esta disminución es causada por el desconocimiento de prácticas de manejo adecuadas, la falta de estudios que ayuden a comprender el crecimiento y el desarrollo del vegetal en la zona (que corresponde a un bosque seco tropical [bs-T]), teniendo como base el reconocimiento y la caracterización de la interacción de las plantas con el medioambiente, el cual modula los patrones de crecimiento, que influyen en aspectos fundamentales, como su fisiología, maduración y la calidad de sus frutos (Fischer, Almanza-Merchán, & Ramírez, 2012).

El cultivo de este vegetal se realiza ante todo en ambientes identificados como bs-T, con temperaturas superiores a los 25 °C, altitud entre 0 y 1.000 m s. n. m., precipitaciones entre 700 y 2.000 mm anuales, con una marcada presencia de uno o dos periodos secos en el año, lo cual promueve el déficit hídrico (Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt [IAVH], 1997).

Por otra parte, la dinámica del cultivo en el departamento de Sucre (Colombia) muestra una tendencia a la reducción de su siembra (Agronet, 2013), causada por múltiples factores, entre los que se destacan la escasa disponibilidad de estudios que ayuden a comprender el comportamiento de los distintos cultivares de ajonjolí (Caicedo, Valencia, Salamanca, & León, 1998), en especial en lo que se refiere al rendimiento y los aspectos que influyen en este, en ambientes de deficiencia hídrica (bs-T).

La carencia de información sobre estos asuntos ha hecho que se disponga de un menor conocimiento sobre el manejo del vegetal, lo que trae como consecuencia el abandono del cultivo en el departamento, donde no se cuenta con diversidad en los sistemas productivos, en los que predominan cultivos de yuca, *Manihot esculenta* Crantz (Euphorbiaceae), y ñame, *Dioscorea* spp. (Dioscoreaceae).

Estos cultivos no han logrado impulsar el sector agrícola, el cual tiene una participación incipiente (4,2 %) en el producto interno bruto (PIB) departamental (Departamento Administrativo Nacional de Estadística [DANE] & Banco de la República, 2016). Por esta razón, la diversificación de productos agrícolas con alto potencial agroindustrial, como el ajonjolí, contribuye al mejoramiento de la economía agrícola regional.

El rendimiento vegetal es un parámetro de medición cuantitativa, que depende de la interacción de la genética con aspectos ambientales, y de muchos factores, llamados componentes, cuyo comportamiento determinará este rendimiento (Ismaila & Usman, 2012).

Los componentes se clasifican en primarios y secundarios, de acuerdo con su relación con el rendimiento. En estudios sobre ajonjolí (Aristya, Taryono, & Wulandari, 2017; Ismaila & Usman, 2012; Laurentin, Montilla, & García, 2004; Sankar & Kumar, 2001; Shakeri, Modarres-Sanavy, Amini-Dehaghi, Tabatabaei, & Moradi-Ghahderijani, 2016), en variadas condiciones ambientales y genéticas, se han logrado esclarecer los componentes que tienen una mayor asociación con el rendimiento, entre los que se destacan el peso de mil semillas y la cantidad de cápsulas por planta; mientras que la altura de la planta, la cantidad de ramificaciones por planta y la longitud del tallo se asocian en menor medida con la producción.

Cabe destacar que las variaciones en los componentes primarios se asocian más con el rendimiento que en los secundarios; asimismo, los componentes del rendimiento no influyen de forma independiente en la productividad, sino que lo hacen de manera conjunta; así, el análisis de la relación entre componentes en los últimos años se ha realizado a través de análisis de regresión simple, en el que puede determinarse el sentido de dicha relación (Fageria, Baligar, & Clark, 2006).

Se han establecido diferentes modelos en los que se describe la relación entre el rendimiento y sus componentes. Por ejemplo, en cereales (Fageria, 1992), se muestra mediante la siguiente expresión:

$$RG = N^{\circ} P/m^2 \times N^{\circ} EP \times P1.000 \text{ granos} \times PELL$$

Donde:

RG = rendimiento en granos

$N^{\circ} P/m^2$ = número de panículas por metro cuadrado

$N^{\circ} EP$ = número de espiguillas por panícula

P1.000 granos = peso promedio de mil granos

PELL = porcentaje de espiguillas llenas

Por su parte, en algunas leguminosas, se observa el siguiente modelo (Fageria et al., 2006):

$$\text{Rendimiento (t/ha)} = V/m^2 \times GV \times P1.000 \text{ granos}$$

Donde:

V/m^2 = número de vainas por metro cuadrado

GV = granos por vaina

Al cultivo de soja, *Glycine max* (L.) Merr. (Fabaceae) (Akhter & Sneller 1996), le corresponde la expresión:

$$\text{Rendimiento por área} = N^{\circ} \text{ de plantas por área} \times [NTP \times VN \times SV \times PPS + (RP \times VR \times SV \times PPS)]$$

Donde:

NTP = nudos en tallo principal por planta

VN = vainas por nudo

SV = semillas por vaina

PPS = peso promedio de semilla

RP = ramificaciones por planta

VR = vainas por ramificación

Según Arcila, Farfán, Moreno, Salazar e Hincapié (2007), en el café, *Coffea arabica* L. (Rubiaceae), la producción por árbol en relación con sus componentes está dada por:

$$\text{Rendimiento/planta} = NR \times Nuf \times FNu \times PF \times FC$$

Donde:

NR = número de ramas con producción

Nuf = número de nudos con fruto por rama

FNu = número de frutos por nudo

PF = peso promedio por fruto

FC = factor de conversión

Conforme con lo anterior, el objetivo de esta investigación fue evaluar el rendimiento de semilla en tres cultivares de ajonjolí (*S. indicum*) en una localidad del departamento de Sucre (Colombia).

Materiales y métodos

El ensayo se realizó en el corregimiento de Chochó del municipio de Sincelejo, Sucre, entre octubre y diciembre de 2015, a una altitud de 174 m s. n. m., con precipitación anual acumulada de 1.200 mm, temperatura media de 27 °C y humedad relativa

promedio de 75 % (Arrieta, Baquero, & Barrera, 2006). Con base en lo anterior, y según el sistema de clasificación de zonas de vida, ecológicamente corresponde a un bosque seco tropical (Holdridge, 1965).

Suelos

Las bases intercambiables de suelo (Ca^{+2} , Mg^{+2} y Na^{+}) presentaron contenidos muy altos (tabla 1), y suficientes en K^{+} . En el bosque seco tropical, valores altos en estas bases, como Na^{+} , son promovidos por precipitaciones anuales que resultan insuficientes para satisfacer la evapotranspiración potencial.

Tabla 1. Características físicas y químicas del suelo en el corregimiento de Chochó (bosque seco tropical) (2015)

Textura		pH	MO (%)	Dap (g/cm^3)	CE (dS/m)	CIC (cmol/kg)			
Far		6,26	0,80	1,25	0,563	25,7			
Bases intercambiables (cmol/kg)				Microelementos (mg/kg)					
Ca	Mg	K	Na	Mn	Fe	Zn	Cu	B	P
25,40	13,16	0,16	2,10	6,20	40,40	3,40	2,20	0,10	12,75

Métodos de análisis: textura: Bouyoucos; pH: potenciómetro, relación suelo-agua 1:25; MO: Walkley-Black modificado; P: Bray II; s y B: mediante fosfato monocálcico; Al: extracción con KCl 1N; Bases de intercambio: acetato de amonio; Microelementos: Olsen modificado; MO: materia orgánica del suelo; Dap: densidad aparente del suelo; CE: conductividad eléctrica de suelo; CIC: capacidad de intercambio catiónico de suelo.

Fuente: Elaboración propia

Clima

Las variables climáticas se registraron mediante el uso de una estación meteorológica ubicada a 15 m del cultivo. Se cuantificaron variables ambientales como precipitación (resolución de 0,2 mm) y temperaturas máximas y mínimas (resolución de 1 °C).

Conforme a lo descrito en la figura 1, las temperaturas máximas ($T^{\circ}\text{C}_{\text{max}}$) presentaron una mayor variabilidad que las mínimas, ya que estas últimas fluctuaron entre 22 y 25 °C, con un promedio de 24,5 °C, mientras que las primeras variaron de 31 a 37 °C, con una media de 35 °C. La máxima diurna se estabilizó

en 35 °C desde los 51 DDS (días después de la siembra), y llegó a ser de 37,3 °C a los 87 DDS; así mismo, las mínimas nocturnas (21 °C) se observaron a los 30 y 33 DDS y se estabilizaron en 22 °C después de los 60 DDS.

Las precipitaciones máximas (mayores a 5 mm) se concentraron entre los 13 y 47 días posteriores al establecimiento del cultivo (figura 2), con un intervalo de cinco días entre ellas; además, en este periodo se presentó la máxima precipitación diaria (34 mm), a los 30 días. Posteriormente, entre los 48 y 71 días, las precipitaciones máximas disminuyeron de manera drástica.

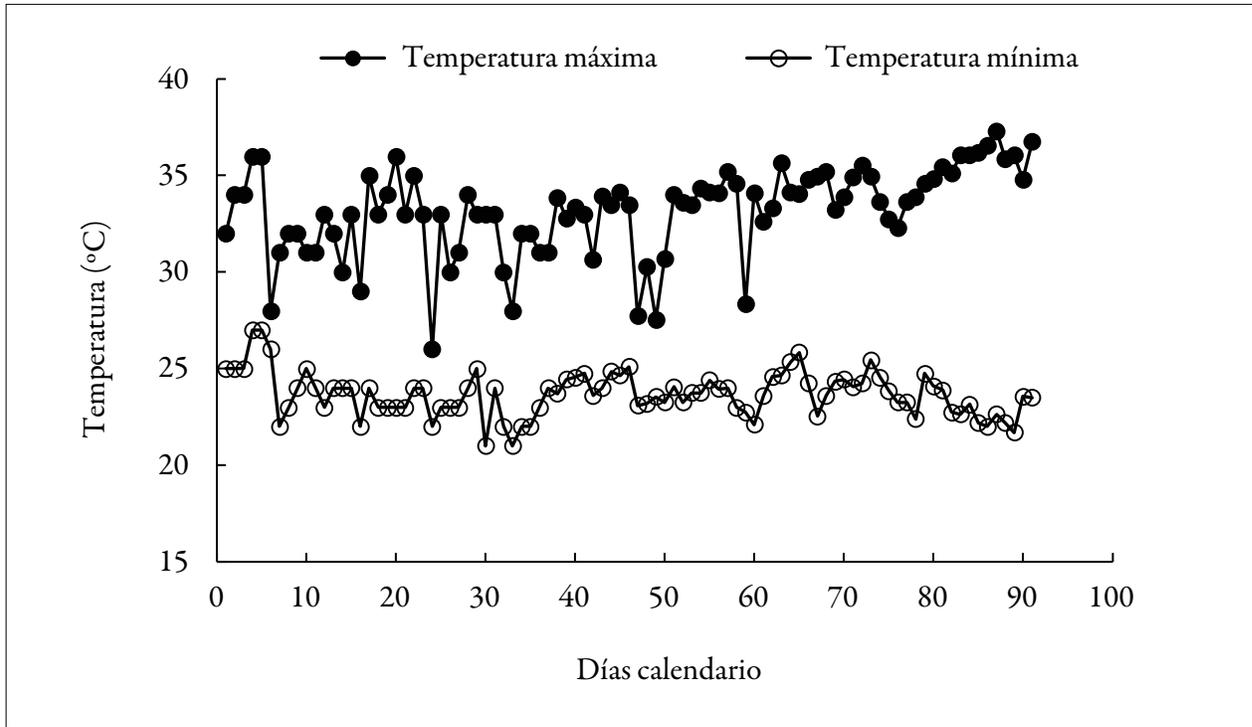


Figura 1. Evolución de las temperaturas máximas y mínimas diarias en el corregimiento de Chochó (Sincelejo, Colombia). Datos registrados entre el 1 de octubre y el 30 de diciembre de 2015.

Fuente: Elaboración propia

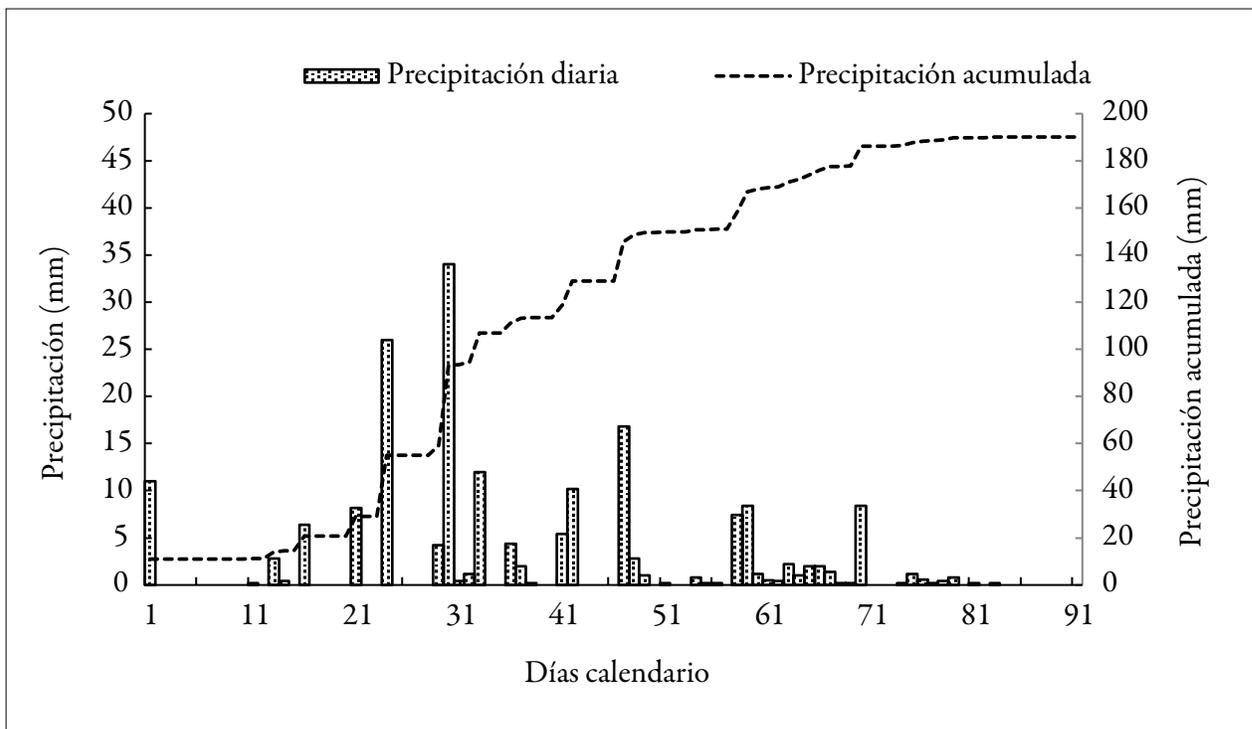


Figura 2. Precipitaciones diarias y acumuladas en el corregimiento de Chochó (Sincelejo, Colombia). Datos registrados entre el 1 de octubre y el 30 de diciembre de 2015.

Fuente: Elaboración propia

Material vegetal

Los cultivares de ajonjolí que fueron objeto del estudio se introdujeron en Colombia en la década de los cincuenta, cuando el desaparecido Instituto de Fomento Algodonero (IFA) se encargó de su promoción y dispersión, distribuyendo diversos cultivares de ajonjolí en los llanos orientales y la costa caribe colombiana (Caicedo et al., 1998). Entre ellos se encuentran los siguientes cultivares, los cuales son mayormente frecuentes en la zona del estudio:

- Chino Rojo: este cultivar tiende a ramificarse y alcanzar una altura aproximada de 2 m. Inicia la floración entre los 45 y 50 días posteriores a la siembra, dependiendo de factores ambientales. Presenta cápsulas (frutos) bicarpelares dehiscentes, con semilla de color marrón oscuro. Este vegetal es susceptible al hongo entomopatógeno *Macrophomina* sp. (Caicedo et al., 1998).
- ICA Matoso: este vegetal presenta ramificaciones y entrenudos cortos, y alcanza altura de 1,80 m en la madurez. Florece entre 45 y 50 días después de la siembra, muestra dos cápsulas por nudo, las cuales son dehiscentes, con semillas de color crema y un contenido aproximado de aceite del 60%. Este cultivar fue liberado por el Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), y su principal característica consiste en la tolerancia a la marchitez (*Macrophomina* sp.) (Caicedo et al., 1998).
- Criollo: no existen muchos reportes sobre las características fisiológicas de este cultivar; sin embargo, es el que cuenta con la mayor aceptación de los agricultores locales, quienes manifiestan que ha presentado un buen desempeño productivo en la zona, con una escasa inversión de recursos de mantenimiento del cultivo.

La densidad de siembra fue de 80.000 plantas/ha, distribuidas en hileras a 0,5 m, con 0,25 m entre plantas. Se sembraron de cinco a siete semillas por sitio, de las cuales germinaron entre tres y seis, por lo cual se realizaron raleos diez días después de la siembra, para dejar una sola planta por sitio. Se dispusieron en el campo 15 parcelas experimentales de 5 m de largo por 4 m de ancho, cada una de las cuales quedó conformada por nueve hileras de 25 plantas.

Diseño experimental

En los tratamientos estuvieron presentes los tres cultivares de ajonjolí antes descritos. La aleatorización se realizó con base en un diseño experimental en bloques completos al azar con cinco repeticiones, en el que el factor de bloqueo fue la pendiente del terreno.

VARIABLES DE EVALUACIÓN

En el momento de madurez fisiológica del cultivo (90 días después de la siembra) se realizaron las siguientes mediciones:

- Nudos fértiles en el tallo (NFT): registrados por conteo en cinco plantas centrales por parcela, en los nudos con cápsulas presentes.
- Cápsulas por nudo (CN): evaluadas por conteo en los nudos fértiles de cinco plantas centrales por parcela.
- Semillas por fruto (SF): registradas mediante el conteo de diez cápsulas por planta (cinco plantas centrales por parcela) en diferentes ubicaciones (tercios superior, medio e inferior, ramas y tallo principal).
- Peso promedio de mil semillas (PPS): se obtuvo mediante la cosecha de semillas de diez plantas centrales por parcela. Se realizaron el conteo y el pesaje de mil semillas, repitiendo este último procedimiento cinco veces por parcela experimental, y se registró el valor promedio.
- Número de ramas (NR): medido contando el número de ramas en diez plantas centrales por parcela.
- Promedio de nudos fértiles en rama (PNFR): se cuantificó en cinco plantas centrales por parcela experimental. Se contó el número de nudos fértiles en cada ramificación, y con ello se registró el promedio.

Por su parte, el rendimiento de semilla por hectárea (Y) se determinó a partir del peso medio de semillas por planta, encontradas en la cosecha de diez plantas centrales por parcela, multiplicado por el número de plantas en la hectárea (80.000).

Así mismo, se obtuvo el contenido de aceite (CA) en semilla, mediante extracción sólido-líquido con una masa triturada de semillas (5 g), a través de Soxhlet, con etanol como solvente (100 ml), durante ocho horas (Carvalho, Galvão, Barros, Conceição, & Sousa, 2012).

Análisis estadístico

Los datos se analizaron con base en el diseño descrito, usando el programa estadístico SAS 9.3. Para conocer la magnitud de la variación entre cultivares, la comparación de medias se efectuó con la prueba de Tukey, con un nivel de significancia del 5 %.

El análisis de componentes del rendimiento se realizó para cada cultivar de ajonjolí, mediante una regresión lineal simple entre el rendimiento de semilla por planta (R) y cada uno de los componentes del rendimiento antes descritos ($R = \beta_1 \times CP + \beta_0$, donde CP es el componente de rendimiento específico, y β_1 y β_0 son los coeficientes de regresión del modelo o la pendiente de la línea de regresión y el intercepto, respectivamente), considerando en cada uno de ellos la significancia del modelo lineal, representada por el *p* valor, que evalúa la hipótesis $\beta_1 \neq 0$ y el valor R^2 , el cual indica el porcentaje de la variación del R explicada por el modelo.

Resultados y discusión

Número de ramas, nudos fértiles en tallo y promedio de nudos fértiles en ramificaciones

Según el análisis de varianzas, hubo un efecto significativo del cultivar en la cantidad de nudos fértiles en el tallo principal (NFT) ($p < 0,05$), mientras que el promedio de nudos fértiles en rama (PNFR) y la cantidad de ramas (NR) no exhibieron este efecto. Cabe resaltar que en el cultivar Chino Rojo se observó un número promedio de seis ramas, y en los demás estuvo próximo a las cuatro.

El número de ramas (NR) es un parámetro varietal que está íntimamente relacionado con aspectos genéticos y ambientales (Langham, 2008; Peter, 2006).

Además, en el ajonjolí, es usado para categorizar el genotipo. En este estudio, por ejemplo, los cultivares encajan en la categoría de pocas ramificaciones en el dosel (conforme a lo descrito por Peter [2006]), ya que este parámetro no superó los tres pares de ramas, las cuales concentran una mayor cantidad de nudos fértiles, en comparación con el tallo.

Asimismo, el PNFR de los cultivares Criollo e ICA Matoso fue de dieciséis, mientras que en Chino Rojo estuvo próximo a los trece. Los cultivares Criollo e ICA Matoso presentaron el mayor número de nudos, con cerca de 29 nudos productivos en el tallo, y no hubo una diferencia significativa entre ellos (tabla 2), mientras que Chino Rojo exhibió una cantidad de nudos fértiles significativamente menor, en alrededor del 31 % respecto a los demás cultivares.

En general, los cultivares Criollo e ICA Matoso presentaron una menor cantidad de nudos fértiles respecto a Chino Rojo, que, al ser más ramificado, tiene más nudos productivos en el conjunto de tallo y ramas. No obstante, los dos primeros presentaron un mayor número de cápsulas por nudo fértil (tabla 2), estrategia que les permite compensar su menor número de nudos fértiles en planta.

Cápsulas por nudo fértil, semillas por cápsula y peso de mil semillas

El análisis de varianza para el número de cápsulas por nudo (CN), de semillas por cápsula (SC) y el peso promedio de mil semillas (PPS) detectó un efecto significativo del factor cultivar en cada una de estas variables ($p < 0,05$), lo cual indica que al menos dos cultivares difieren en estas.

La cantidad de cápsulas por nudos fértiles presentó mayores valores en los cultivares Criollo e ICA Matoso, con una media de cinco cápsulas (tabla 2), en tanto que Chino Rojo presentó cantidades significativamente menores, con una diferencia del 25 % respecto a los demás. En el ajonjolí es común encontrar entre cuatro y seis cápsulas por nudo fértil, es decir, de dos a tres cápsulas (frutos) por axila (Langham, 2008), mientras que el número por nudo fértil puede variar de dos a ocho (Morris, 2009).

No se evidenció una diferencia significativa en el número de SC entre los cultivares estudiados (tabla 2), y el promedio general estuvo próximo a las 68 semillas por fruto, una cantidad similar a la encontrada por Sheahan (2014), quien reporta 70, pero muy diferente a la hallada por Morris (2009), quien encontró entre 80 y 131 en la evaluación de 192 accesiones de ajonjolí de 38 países. Lo anterior muestra la amplia variabilidad de este parámetro, en respuesta a la interacción de la genética con el ambiente que, en el caso del presente estudio, no mostró muchos cambios en los cultivares estudiados.

El PPS no difirió significativamente entre Criollo e ICA Matoso, con un valor cercano a los 3 g, pero sí superó de manera significativa al de Chino Rojo, en un 26%. No obstante, conforme a lo ya expuesto, este último presentó una mayor cantidad de nudos fértiles y de ramificaciones en planta, lo cual indicaría una alta competencia por asimilados entre cápsulas de tallo y ramas, si se considera que en los demás cultivares hubo menos ramificaciones y nudos fértiles en planta.

En la evaluación de 17 cultivares de ajonjolí, Pham et al. (2010) encontraron pesos de cien semillas en el rango 0,25 a 0,45 g, mientras que, en otro estudio, de cinco cultivares de ajonjolí, se registraron pesos de mil semillas entre 2,4 y 3,9 g (Olowe & Adeoniregun, 2010). El PPS encontrado en el presente estudio guarda correspondencia con lo señalado por estos autores.

Rendimiento y contenido de aceite

Hubo un efecto significativo del cultivar de ajonjolí en el rendimiento de semilla y su contenido de aceite (CA) ($p < 0,05$), lo cual muestra diferencias en estos dos aspectos en al menos dos cultivares.

El rendimiento fue significativamente superior en Criollo, con cerca de 1.290 kg/ha (tabla 2), seguido de ICA Matoso, con alrededor de 95 kg de semilla menos que el primero, mientras que Chino Rojo presentó el menor rendimiento, significativamente inferior, en un 42% y un 32%, en relación con Criollo e ICA Matoso, respectivamente.

El CA en el ajonjolí varía según factores ambientales y genéticos (Peter, 2006), lo cual es evidente en este estudio, en el que estadísticamente los cultivares ICA Matoso y Criollo produjeron el mismo contenido, pero superior al de Chino Rojo (tabla 2). En términos porcentuales, ICA Matoso contenía alrededor de un 5% más de aceite en semillas que Criollo y Chino Rojo, que no difieren significativamente, al igual que Criollo e ICA Matoso, lo que sugiere cierta correspondencia con lo ocurrido en la producción de semilla.

En estudios realizados en ocho genotipos de ajonjolí bajo estrés hídrico (Golestani & Pakniyat, 2015), los rendimientos de semilla encontrados fueron de 879,8 kg/ha, mientras que en plantas no estresadas alcanzaron valores medios de 1.404 kg/ha. Esto indica una disminución de la productividad del vegetal ante el déficit hídrico, lo cual pudo suceder en este estudio, ya que, en la etapa de desarrollo de cápsulas, cuando disminuyeron las precipitaciones, aumentaron las temperaturas ambientales y el suelo de estudio presentó un alto contenido de bases intercambiables (tabla 1). Todo esto, en conjunto, favorece el déficit hídrico en estos ambientes (Gasca, Menjivar, & Trujillo, 2011), que afectaría en mayor proporción a Chino Rojo que a los otros cultivares.

Además, existe una correspondencia de rendimientos superiores en aquellos cultivares que presentaron mayores pesos promedio de semillas (PPS) (tabla 2), nudos fértiles en el tallo principal (NFT) (tabla 2) y cápsulas por nudo fértil (CN), pese a que no se encontró el efecto de los cultivares en el número de ramas (NR), ni diferencias en la cantidad de semillas en cápsula (SC) entre ellos.

Lo anterior indica que estas últimas variables no influyen demasiado en el rendimiento de semilla, lo que permitió que se encontraran valores adecuados en Criollo e ICA Matoso, dada la asociación positiva entre estas variables y el rendimiento de semilla por planta (Ismaila & Usman, 2012).

Normalmente, el CA en el ajonjolí varía entre el 37% y el 63% (Peter, 2006). Las semillas pueden calificarse como *prémium* si poseen CA aproximados

del 50 % (Bennett, Imrie, Raymond, & Wood, 1998); esto implica que los cultivares ICA Matoso y Criollo podrían tener dicha calificación (tabla 2).

En lo que se refiere al ambiente, según estudios realizados por Were, Onkware, Gudu, Welander y Carlsson (2006), el CA está muy influenciado por la cantidad de precipitaciones recibidas durante el cultivo, sobre todo en la etapa de desarrollo de cápsulas. Cabe resaltar que en este estudio las precipitaciones disminuyeron a los 70 días después de la siembra.

Por otra parte, el CA está asociado con el color de la semilla. Las semillas oscuras contienen menos aceite que las claras (Akinoso, Aboaba, & Olayanju, 2010; Peter, 2006). Esto podría explicar el caso particular del cultivar Chino Rojo, que tiene una semilla de color marrón, con un bajo contenido de aceite, en comparación con los demás cultivares, en los que predominan colores claros.

Análisis de componentes del rendimiento

El rendimiento de semilla por planta (R) exhibió una asociación significativa ($p=0,001$) con la cantidad de nudos fértiles en el tallo principal (NFT) en Chino Rojo (tabla 3), mientras que en los otros dos no se observó tal relación. En ese cultivar se estimó que, por cada NFT, se da un incremento cercano a 0,08 g en R, lo cual contrasta con la baja cantidad de NFT encontrada, que indica que en

este vegetal es importante favorecer el desarrollo de nudos fértiles, pues una adecuada emisión de estos en el tallo se asocia con incrementos de producción.

Criollo mostró una asociación lineal ($p=0,013$) entre R y la cantidad de semillas por cápsula (SC) (tabla 3), lo que hace posible explicar un 38 % de las variaciones en R a partir de aquellas en semillas por fruto (SF), con un aumento cercano a 0,26 g por cada SC de este cultivar.

En los cultivares no se encontró una relación significativa entre el número de ramificaciones y el rendimiento de semilla (tabla 3), lo cual indicaría una mayor influencia de las cápsulas en tallo en R, sobre todo en Chino Rojo, en el que se asocian en mayor grado ($R^2=0,54$) los incrementos de R que los de NFT.

La tabla 3 muestra la inexistencia de asociación significativa ($p > 0,05$) entre el promedio de nudos fértiles en rama (PNFR) y R. Sin embargo, en Chino Rojo se obtuvo $p=0,056$, que sugiere una leve asociación entre dichas variables, a causa de la mayor cantidad de ramificaciones en este vegetal.

En todos los cultivares el peso promedio de mil semillas (PPS) exhibió asociación lineal con R (tabla 3). En ICA Matoso y Chino Rojo el modelo logra explicar la variabilidad de R, a partir de las variaciones en el PPS, en un porcentaje superior al 70 %, lo cual también indica que por cada aumento en la

Tabla 2. Atributos fisiológicos del rendimiento en cultivares de ajonjolí (*Sesamum indicum*), en una localidad de Sucre (Colombia) (2015)

Cultivar	NFT	CN	SF	PPS (g)	Y (kg/ha)	CA (%)
Criollo	28,26 ^a	5,06 ^a	67,50 ^a	3,12 ^a	1.289,81 ^a	46,321 ^{ab}
ICA Matoso	30,13 ^a	4,93 ^a	68,92 ^a	3,11 ^a	1.195,41 ^b	51,407 ^a
Chino Rojo	22,26 ^b	4,00 ^b	68,69 ^a	2,37 ^b	905,49 ^c	44,933 ^b

NFT: nudos fértiles en el tallo; CN: cápsulas por nudo; SF: semillas por fruto; PPS: peso promedio de mil semillas; NR: número de ramas; PNFR: promedio de nudos fértiles en rama; Y: rendimiento de semilla por hectárea. Promedios con la misma letra no mostraron diferencias significativas conforme a la prueba de Tukey al 5 %.

Fuente: Elaboración propia

unidad gramo en el peso de mil semillas R aumenta entre 46,00 y 47,00 g en ICA Matoso, y 18,45 g y 7,60 g en Chino Rojo y Criollo, respectivamente. Ello indica que, en los primeros cultivares, en el rendimiento de la planta hay una mayor dependencia de una adecuada acumulación de biomasa en semilla, aspecto que depende en gran medida de la relación entre el genotipo y el ambiente.

En términos generales, el componente con mayor influencia en la producción de semilla en el ajonjolí es el PPS, que en promedio aumenta el rendimiento de semillas en 24 g por cada gramo de peso en mil semillas. Por su parte, elementos como los NFT y las SC mostraron influencia en cultivares particulares:

el primero se asocia con los rendimientos por planta en Chino Rojo y el segundo con los de Criollo.

Estudios similares sobre componentes de rendimiento en ajonjolí (Adebisi, Ajala, Ojo, & Salau, 2005; Ismaila & Usman, 2012) muestran adecuadas asociaciones del PPS y las SC con el rendimiento de semilla, por lo que estos elementos podrían ser considerados primarios en la producción de semilla.

De igual forma, Morris (2009) encontró una mayor influencia de los componentes de número y peso de las semillas en la producción de ajonjolí y la altura de planta, la cual guarda estrecha relación con la cantidad de nudos fértiles en el tallo.

Tabla 3. Modelos de regresión lineal entre el rendimiento de semilla por planta y los componentes del rendimiento en cultivares de ajonjolí, en una localidad de Sucre (Colombia) (2015)

Relación entre R y NFT			
Cultivar	Modelo	R²	p valor
Criollo	$R = -0,0087 \times \text{NFT} + 16,369$	0,0002	0,956
ICA Matoso	$R = 0,1330 \times \text{NFT} + 10,914$	0,0700	0,351
Chino Rojo	$R = 0,8166 \times \text{NFT} - 6,863$	0,5400	0,001***
Relación entre R y SC			
Cultivar	Modelo	R²	p valor
Criollo	$R = 0,261 \times \text{SC} - 1,487$	0,380	0,013**
ICA Matoso	$R = 0,273 \times \text{SC} - 3,904$	0,183	0,111
Chino Rojo	$R = 0,458 \times \text{SC} - 20,163$	0,108	0,230
Relación entre R y NR			
Cultivar	Modelo	R²	p valor
Criollo	$R = 1,053 \times \text{NR} + 14,508$	0,0400	0,434
ICA Matoso	$R = 1,296 \times \text{NR} + 12,956$	0,0430	0,456
Chino Rojo	$R = 0,309 \times \text{NR} + 10,680$	0,0032	0,840

(Continúa)

(Continuación tabla 3)

Relación entre R y PNFR			
Cultivar	Modelo	R ²	p valor
Criollo	$R = 0,156 \times \text{PNFR} + 13,617$	0,0400	0,460
ICA Matoso	$R = -0,011 \times \text{PNFR} + 15,124$	0,0002	0,953
Chino Rojo	$R = 0,481 \times \text{PNFR} + 4,904$	0,2520	0,056*
Relación entre R y PPS			
Cultivar	Modelo	R ²	p valor
Criollo	$R = 7,645 \times \text{PPS} - 7,720$	0,320	0,03500**
ICA Matoso	$R = 46,581 \times \text{PPS} - 130,334$	0,906	< 0,0001***
Chino Rojo	$R = 18,451 \times \text{PPS} - 32,501$	0,728	< 0,0001***

*** Significancia menor al 1 %; ** Significancia menor al 5 %; *Significancia menor al 10 %. NFT: nudos fértiles en el tallo; CN: cápsulas por nudo; SF: semillas por fruto; PPS: peso promedio de mil semillas; NR: número de ramas; PNFR: promedio de nudos fértiles en rama; R: rendimiento de semilla por planta.

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

En las condiciones de bosque seco tropical en una localidad del departamento de Sucre, los cultivares Criollo e ICA Matoso presentaron un mejor desempeño productivo que Chino Rojo, con rendimientos de semilla y contenidos de aceite con promedios de 1.242 kg/ha y 49 %, respectivamente.

Los componentes del rendimiento: nudos fértiles en el tallo, cápsulas por nudo fértil y peso de mil semillas mostraron una correlación positiva superior en Criollo e ICA Matoso, lo que permitió una mayor producción.

En todos los cultivares, el rendimiento de semilla en ajonjolí presentó una asociación lineal con el peso promedio de mil semillas, y se espera un incremento promedio de 24 g en el rendimiento de semilla por cada gramo de aumento en ese peso promedio.

Agradecimientos

Esta investigación formó parte de la tesis de grado de maestría en Ciencias Agrarias, titulada *Crecimiento e intercambio gaseoso del ajonjolí (Sesamum indicum L.), bajo la oferta ambiental del bs-T, Sucre, Colombia*, y desarrollada con el apoyo del grupo de investigación Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (Pades), en la Universidad de Sucre (Colombia). Los autores agradecen al comité asesor de dicho trabajo.

Descargos de responsabilidad

Se declara que esta investigación fue financiada con fondos propios y que, por consiguiente, no existen conflictos de intereses en relación con los resultados de la misma.

Referencias

- Adebisi, M. A., Ajala, M. O., Ojo, D. K., & Salau, A. W. (2005). Influence of population density and season on seed yield and its components in Nigerian sesame genotypes. *Journal of Tropical Agriculture*, 43(1-2), 13-18.
- Ahmad, M., Ullah, K., Khan, M. A., Ali, S., Zafar, M., & Sultana, S. (2011). Quantitative and qualitative analysis of sesame oil biodiesel. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 33(13), 1239-1249.
- Akhter, M., & Sneller, C. H. (1996). Genotype \times planting date interaction and selection of early maturing soybean genotypes. *Crop science*, 36(4), 883-889.
- Akinoso, R., Aboaba, S. A., & Olayanju, T. M. A. (2010). Effects of moisture content and heat treatment on peroxide value and oxidative stability of un-refined sesame oil. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 10(10), 4268-4285.
- Andrade, P. B. (2008). *Potenciais polinizadores e requerimentos de polinização do gergelim (Sesamum indicum)* (tesis de maestría). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Brasil.
- Arcila, P. J., Farfán, V. F., Moreno, B. A. M., Salazar, G. L. F., & Hincapié, G. E. J. (2007). *Sistemas de producción del café en Colombia*. Chinchiná, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé).
- Aristya, V. E., Taryono, T., & Wulandari, R. A. (2017). Genetic variability, standardized multiple linear regression and principal component analysis to determine some important sesame yield components. *Agrivita*, 39(1), 83-90.
- Arrieta, A. J., Baquero, U. M., & Barrera, J. L. (2006). Caracterización fisicoquímica del proceso de maduración del plátano 'Papocho' (Musa ABB Simmonds). *Agronomía Colombiana*, 24(1), 48-53.
- Bedigian, D. (2003). Evolution of sesame revisited: domestication, diversity and prospects. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 50(7), 779-787.
- Bennett, M. R., Imrie, B. C., Raymond, L., & Wood, I. M. (1998). *Sesame growers guide*. Darwin, Australia: Northern Territory Department of Primary Industry and Fisheries.
- Caicedo, S., Valencia, R., Salamanca, C., & León, G. (1998). El cultivo del ajonjolí en los Llanos Orientales. En Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria (Corpoica) (Ed.). *Actualización tecnológica en ajonjolí, caucho, hortalizas y frutales para la Orinoquia colombiana* (pp. 35-45). Villavicencio, Colombia: Corpoica.
- Carvalho, R. H. R., Galvão, E. L., Barros, J. A. C., Conceição, M. M., & Sousa, E. M. B. D. (2012). Extraction, fatty acid profile and antioxidant activity of sesame extract (*Sesamum Indicum* L.). *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 29(2), 409-420.
- Dawodu, F. A., Ayodele, O. O., & Bolanle-Ojo, T. (2014). Biodiesel production from *Sesamum indicum* L. seed oil: An optimization study. *Egyptian Journal of Petroleum*, 23(2), 191-199.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE), & Banco de la República. (2016). *Informe de coyuntura económica regional (ICER)*. Departamento de Sucre 2015. Bogotá, Colombia: DANE y Banco de la República.
- Fageria, N. K. (1992). *Maximizing crop yields*. Nueva York, EE. UU.: Marcel Dekker.
- Fageria, N. K., Baligar, V. C., & Clark, R. B. (2006). *Physiology of crop production*. Binghamton, EE. UU.: Food Products Press.
- Fischer, G., Almanza-Merchán, P. J., & Ramírez, F. (2012). Source-sink relationships in fruit species: A review. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 6(2), 238-253.
- Gasca, C. A., Menjivar, J. C., & Trujillo, A. T. (2011). Cambios en el porcentaje de sodio intercambiable (psti) y la relación de absorción de sodio (RAS) de un suelo y su influencia en la actividad y biomasa microbiana. *Acta Agronómica*, 60(1), 27-38.
- Golestani, M., & Pakniyat, H. (2015). Evaluation of traits related to drought stress in sesame (*Sesamum indicum* L.) genotypes. *Journal of Asian Scientific Research*, 5(9), 465-472.
- Holdridge, L. R. (1965). The tropics, a misunderstood ecosystem. *Bulletin Association for Tropical Biology*, 5, 21-30.
- Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt (IAVH). (1997). *Caracterización ecológica de cuatro remanentes de bosque seco tropical de la región caribe colombiana* (Manuscrito inédito). Villa de Leyva, Colombia: IAVH.
- Ismaila, A., & Usman, A. (2012). Genetic variability for yield and yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *International Journal of Science and Research (IJSR)*, 3, 358-361.
- Langham, D. R. (2008). *Growth and development of sesame*. San Antonio, EE. UU.: American Sesame Growers Association.
- Laurentin, H., Montilla, D., & García, V. (2004). Relación entre el rendimiento de ocho genotipos de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) y sus componentes. Comparación de metodologías. *Bioagro*, 16(3), 153-162.
- Morris, J. B. (2009). Characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm regenerated in Georgia, USA. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56(7), 925-936.
- Olowe, V. I., & Adeoniregun, O. A. (2010). Seed yield, yield attributes and oil content of newly released sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 56(2), 201-210.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2013). *Crops*. Recuperado de <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/E>.
- Peter, K. V. (2006). *Handbook of herbs and spices*. Boca Ratón, EE. UU.: CRS Press.
- Pham, T. D., Thi-Nguyen, T. D., Carlsson, A. S., & Bui, T. M. (2010). Morphological evaluation of sesame (*Sesamum indicum* L.) varieties from different origins. *Australian Journal of Crop Science*, 4(7), 498-504.
- Red de Información y Comunicación del Sector Agropecuario (Agronet). (2013). *Estadísticas. Agrícola. Área, producción, rendimiento y participación*. Recuperado de <http://www.agronet.gov.co/estadistica/Paginas/default.aspx>.

- Sankar, P. D. & Kumar, C. R. A. (2001). Heterosis for yield and yield components in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Sesame and Safflower Newsletter*, 16, 6-8.
- Shakeri, E., Modarres-Sanavy, S. A. M., Amini-Dehaghi, M., Tabatabaei, S. A., & Moradi-Ghahderijani, M. (2016). Improvement of yield, yield components and oil quality in sesame (*Sesamum indicum* L.) by N-fixing bacteria fertilizers and urea. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 62(4), 547-560.
- Sheahan, C. M. (2014). *Plant guide for sesame (Sesamum orientale)*. Cape May, EE. UU.: United States Department of Agriculture (USDA).
- Weiss, E. A. (2000). *Oilseed crops* (2.^a ed.). Oxford, Inglaterra: Blackwell Science Ltd.
- Were, B. A., Onkware, A. O., Gudu, S., Welander, M., & Carlsson, A. S. (2006). Seed oil content and fatty acid composition in East African sesame (*Sesamum indicum* L.) accessions evaluated over 3 years. *Field Crops Research*, 97(2-3), 254-260.