

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO



Producción de Semilla de Ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en la Región Sureste del Estado de Coahuila

Por:

ISABEL CRUZ DURAN

Presentado como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio, 2021.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE FITOMEJORAMIENTO

Producción de semilla de Ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) en la región sureste del
Estado de Coahuila

Por:

ISABEL CRUZ DURAN

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN PRODUCCIÓN

Aprobada por el Comité de Asesoría:



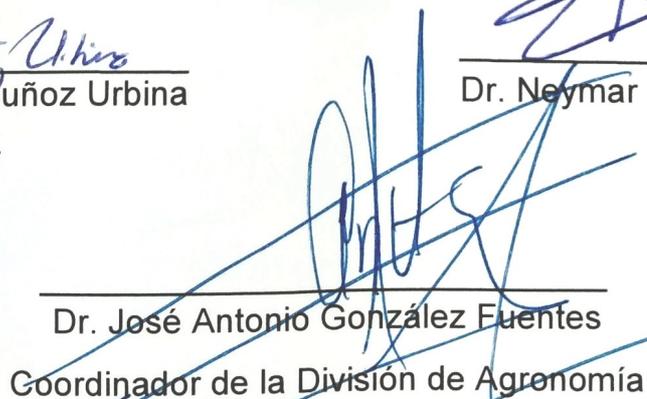
Dr. Antonio Flores Naveda
Asesor Principal


Dr. Armando Muñoz Urbina

Coasesor


Dr. Neymar Camposeco Montejo

Coasesor


Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
Junio, 2021.



Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

Pasante

A handwritten signature in blue ink, consisting of several overlapping, fluid strokes that form a cursive-like shape. The signature is positioned above a horizontal line.

Isabel Cruz Duran

AGRADECIMIENTOS

A mi **ALMA MATER**

Por acogerme durante estos 4 años y que en cada una de sus aulas donde me forme guarda tantas historias, ilusiones y recuerdos que jamás olvidare, por brindarme la oportunidad de superarme profesionalmente, por permitirme conocer a maravillosas personas que estuvieron durante todo mi proceso de desarrollo y que formarán siempre parte de esta historia que sé que no acaba aquí, porque no solo tuve compañeros sino una familia ¡Buitres por siempre!

¡Alma Terra Mater!

¡Alma Terra Mater!

¡Arda troya y en combate muera marte!

¡Arda troya y en combate muera marte!

Buitres, buitres, ¡al ataque!

A mi **Familia:**

Gracias por todo ese apoyo que me han brindado durante todo el tiempo que estuve fuera de casa, porque en cada dificultad que se me presento siempre estuvieron ahí, a mi hijo por ser inspiración y motivación, a mi padre por ser el hombre que me ha dado aliento y amor, a mis hermanas María del Rosario y Yolanda por sus consejos, a Juan Pedro, a mis sobrinos Aarón, Alma, Hannia, Miguel Ángel, Ángel, Neri, a mi madre.

A mis **amigas:**

A Gabriela Rojo Garcia “Gabrielita” y Ana Lizeth Osornio Frías “Anita” que fueron mis hermanas desde el primer día que llegamos a esta universidad, y estoy segura que esta amistad seguirá por mucho más tiempo y que podré contar con ustedes, tantas historias que pasamos que jamás olvidare, gracias por sus consejos, sus ocurrencias, esas pijamadas y apoyo incondicional, gracias por estar ahí cada

que metía la pata y tenían que ir por mí al hospital. Siempre estaré agradecidas por todo su cariño, las quiero mis loquillas.

Al Ing. Ivan Benetti “gordo” gracias por tu apoyo, por sus consejos, Hazael gracias por tus ocurrencias y bromas haciendo los días divertidos y sobre todos los viajes, a J. Álvaro.

Al Dr. Antonio Flores Naveda:

Sin duda un gran ser humano, gracias por todo su apoyo durante este trabajo, por ser un excelente académico y motivo de inspiración profesional, por su motivación a seguir formándome profesionalmente, por su comprensión, por ser una persona comprometida y apasionada a su trabajo y a su ALMA MATER, sin duda alguna que profesores dedicados y humildes como usted merecen un gran reconocimiento. Gracias por compartir su conocimiento conmigo y por sus consejos.

A los miembros de mi comité de **asesores**.

- Dr. Armando Muñoz Urbina.
- Dr. Neymar Camposeco Montejo.
- Dr. Perpetuo Álvarez Vázquez

Muchas gracias por su disposición, apoyo y solidaridad para hacer posible esto. Agradezco infinitamente que formaran parte del comité. Un gusto enorme poder trabajar con ustedes y conocer parte de su trayectoria.

Al Biólogo Carlos Mata:

Sensei: porque cuando me equivocaba me ayudaba, cuando dudaba me aconsejaba y siempre que necesitaba ayuda estaba ahí, Un gran hombre y fuente de inspiración, humilde, carismático, honesto, por ser como un padre durante estos

4 años, gracias porque cada vez que pensaba en rendirme me recordaba porque estaba ahí. ¡Siempre lo recordé!

A mis maestros:

Al Dr. Antonio Flores Naveda, M.C. Víctor M. Villanueva, M.C Graciela “Grace” que durante mi estancia me apoyaron y aconsejaron en alguna dificultad que se me presentaba y recurría a ustedes nunca me dijeron que no y si no podían apoyarme me dirigían con la persona adecuada, gracias por formar parte de este mi proyecto de vida les guardo un gran cariño, gracias por compartir su conocimiento y ser motivación.

A la Dra. Elizabeth Galindo, Dra. Marisela muchas gracias por su tiempo siempre los recordare, al Dr. Víctor Zamora Villa, Dr. Francisco Javier Sánchez, Dr. Reyna por su disposición en apoyarme con mis dudas.

Y como no agregar a estos agradecimientos a todas las personas que han formado parte de mi formación durante mi vida, amigos y grandes personas que me ha tocado conocer durante mi proceso de formación académica y que han dejado huella en mi persona a Paty, Cat, Kary, Lety, Mario, Juan Pablo “el niño”, Memo, Dario, Charly.

DEDICATORIA

A mi padre:

Desde el día de mi nacimiento no me has dejado sola a pesar de mis tropiezos y caídas siempre estás ahí con tus cálidas charlas y tu enorme corazón, por amarme sin importar mi estado de ánimo, por ser una inspiración, tú valentía, tu carisma, por alentarme a ser mejor que tú, porque ante todas las dificultades en el pasado siempre estuvieron “tus niñas” primero, nunca podré pagarte todo lo que has hecho por mí. Te dedico este logro que sin ti no fuese posible gracias por todo tu amor mi gran maestro: eternamente te diré gracias mi maestro **Prof. Brígido Cruz Pérez.**

A mi hijo:

Mateo: eres la persona que no imagine cambiaria mi mundo y que este ahora gira y avanza con tu pequeño mundo, a tus 2 años me has dado grandes lecciones y me haces ser mejor persona cada día, me alientas, me cobijas, eres la razón de mis acciones, tan valiente, noble, el mejor hombre que podre tener en mi vida y que me inspira a seguir formándome profesionalmente por nosotros sin duda eres mi todo. **¡Te amo mi pequeño Tedi!**

A mis hermanas **María del Rosario y Yolanda Cruz Duran:**

Gracias por ser las mejores madres y amigas, por sus preocupaciones, por motivarme y ser ejemplo para que siguiera estudiando, gracias por los regaños, las risas, las convivencias, sé que no fue fácil este camino, pero esto es por y para ustedes. **¡Las adoro!**

A Juan Pedro Villegas Juárez:

En estos 5 años que me has acompañado me has dando lecciones importantes, siempre tan paciente, ocurrente y carismático, gracias por tu paciencia y por tu apoyo a que este sueño se terminara de cumplir.

A mis sobrinos:

Alma Denisse, Aarón, Hannia y Miguel Ángel: mis niños siempre tan alegres y ocurrentes los adoro, fueron motivo de inspiración para mi proyecto, gracias por su amor. **¡Los quiero!**

A Citlalli Reyes Gonzales:

Soy afortunada de que nuestros caminos se cruzaran en el tiempo exacto, eres una gran persona, mi amiga y hermana, has estado en mis buenos momentos y los peores, gracias por ser parte de este logro, gracias por tus consejos, tu alegría y motivación, sin duda que nos sigue esperando un largo camino lleno de proyectos y mil historias que nos falta por escribir. **¡Gracias por ser tú!**

A “Mugroso”:

Eres una excelente persona, gracias por tu honestidad, tu sinceridad, tus consejos, tu motivación, por preocuparte por mí de cosas que no te correspondían, gracias por cuidar de mí. También fuiste parte de mi proceso. **¡Gracias por ser un gran hombre!**

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN	1
1.1.	OBJETIVOS.....	3
1.1.1	Objetivo general	3
1.1.2	Objetivos específicos	3
1.2.	HIPÓTESIS.....	4
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1.	Origen	6
2.2.	Clasificación taxonómica	7
2.3.	Morfología de la planta	8
2.3.1.	Tallo	8
2.3.2.	Hojas.....	8
2.3.4.	Fruto.....	9
2.3.5.	Semillas	9
2.3.6.	Raíz.....	9
2.4.	Clima.....	9
2.5.	Distribución geográfica	10
2.6.	Situación actual.....	10
2.7.	Composición química de la semilla de ajonjolí	13
2.8.	Usos y aplicaciones	14
2.9.	Manejo agronómico	16
2.9.1.	Ajonjolí en riego	16
2.9.2.	El cultivo de ajonjolí, bajo condiciones de temporal.....	22
2.10.	Emparve	25

2.11. Aporreo	25
2.12. Limpieza o zarandeo.....	25
2.13. Acopio, almacenamiento y procesamiento del ajonjolí	25
2.14. Criterios para la selección de la semilla.....	26
2.15. Variedades recomendadas para el estado de Sinaloa	26
2.16. Variedades registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales	26
2.17. Factores que afectan el deterioro de la semilla	27
2.18. Almacenamiento	28
2.19. Procesamiento.....	28
2.20. Bancos de germoplasma	29
2.21. Análisis multivariado	30
III. MATERIALES Y MÉTODOS	31
3.1. Localización del sitio experimental.....	31
3.2. Material genético.....	31
3.3. Variables agronómicas consideradas en el experimento	32
3.4. Análisis estadísticos.....	33
3.5. Análisis de Conglomerado (AC):.....	33
3.6. Análisis de componentes principales (ACP)	34
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1. Análisis de Conglomerados (AC)	38
4.2. Análisis de componentes principales	41
4.3. Análisis de correlaciones	43
V. CONCLUSIONES.....	46
VI. LITERATURA CITADA.....	47

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación botánica de la semilla de <i>Sesamum indicum</i> L.....	7
Cuadro 2. Expectativas de la producción nacional del cultivo de ajonjolí, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera por volumen (toneladas). ...	11
Cuadro 3. Resumen nacional por estado del año agrícola 2018 en la modalidad de riego más temporal de ajonjolí.	11
Cuadro 4. Resumen nacional por estado del año agrícola 2019 en la modalidad de riego más temporal de ajonjolí.	12
Cuadro 5. Situación al 31 de diciembre del resumen nacional por estado del año agrícola 2020 en la modalidad de riego más temporal de ajonjolí.	12
Cuadro 6. Composición química de la semilla de <i>Sesamum indicum</i> L. en 100 gramos (g).....	13
Cuadro 7. Variedades registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales 2021 del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.	27
Cuadro 8. Características del área utilizada en el establecimiento de las 30 colectas evaluadas en el Campo Experimental "El Bajío" de la UAAAN.....	31
Cuadro 9. Variables cuantitativas evaluadas en 30 colectas de ajonjolí (<i>Sesamum indicum</i> L.).....	32
Cuadro 10. Agrupaciones con sus respectivas colectas de acuerdo al análisis de conglomerados en el cultivo de ajonjolí (<i>Sesamum indicum</i> L.) durante el ciclo O-I, 2019 en el Campo Experimental Bajío UAAAN.....	37
Cuadro 11. Valor promedio del comportamiento de 30 colectas de ajonjolí, evaluando seis variables de rendimiento agronómico.....	39
Cuadro 12. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de seis variables agronómicas evaluadas en 30 colectas de ajonjolí.	41
Cuadro 13. Valores de correlación cuantitativa de las seis variables consideradas en el análisis de componentes principales.....	44

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dendograma para la clasificación de 30 colectas de ajonjolí, basado en seis caracteres agronómicos y componentes del rendimiento.	38
Figura 2. Distribución de seis variables cuantitativas y su relación de los vectores con el rendimiento sobre los dos primeros componentes.	43
Figura 3. Distribución de las 30 colectas de ajonjolí, en base a los dos primeros componentes.....	44

RESUMEN

El ajonjolí es uno de los cultivos de semillas oleaginosas más antiguos, que crecen ampliamente en áreas subtropicales. Las semillas de esta planta son una importante fuente de aceite (44-58%), proteína (18-25%) y carbohidratos (13,5%), y tradicionalmente se consumen directamente.

Diversos estudios de caracterización y evaluación de germoplasma de ajonjolí, han indicado una amplia diversidad para un importante número de caracteres, tales como: altura de planta, ramificación, patrones de ramificación, forma de las hojas, altura de carga, número de cápsulas por axila, ancho de la cápsula, número de semillas por cápsula, longitud de entrenudos, contenido de aceite, color de la semilla, índices de cosecha, resistencia a plagas y enfermedades, y dehiscencia, entre otros.

Actualmente, en nuestro país no se ha realizado investigación dirigida, para liberar nuevas variedades de ajonjolí en los diversos ambientes de producción en México, por lo tanto, es importante realizar investigación básica para estudiar caracteres agronómicos, capacidad de adaptación al ambiente y para producción de semilla de calidad.

La presente investigación se realizó en el ciclo P-V 2019 en la UAAAN, cuyo objetivo fue la evaluación del comportamiento agronómico y potencial de rendimiento de 30 colectas de ajonjolí en la región sureste de Coahuila, utilizando análisis multivariado para su evaluación que de acuerdo con los resultados sobresale la colecta 3, con una mejor capacidad de adaptación al ambiente evaluado y un mayor rendimiento de semilla. Asimismo, las colectas 4, 16, 17 y 23, pertenecientes al G5, se recomiendan para su selección en próximos ciclos de siembra para evaluar su potencial productivo en la región sureste de Coahuila.

Palabras clave: *Sesamum indicum* L., germoplasma, caracterización y análisis multivariado.

I. INTRODUCCIÓN

El incremento de la población mundial para el año 2050, se estima a una población de 9 mil millones, por lo tanto, se buscan mejores métodos en la agricultura como: una agricultura de precisión, practicas agronómicas sustentables para poder alimentar a toda esta población. Sin embargo, en la actualidad se presentan condiciones adversas que limitan la producción agrícola, originadas por efectos del cambio climático, las cuales no permiten un buen desarrollo fenológico en los cultivos. Es por esta razón que, no se debe esperar más tiempo y se deben tomar medidas para adaptar diversos cultivos y variedades a diferentes regiones del país.

El ajonjolí es un cultivo que ha ido tomando importancia y debido a que su principal problema son los bajos rendimientos, debería retomarse el mejoramiento genético para que la perdida de semilla durante la maduración a la cosecha sea menor, también es necesario la adaptación de variedades con resistencia a enfermedades que es otro de los factores por la cual el rendimiento se ve mermado, así como resistencia a algunas plagas. En algunos casos hay variedades que debido a su altura y peso de las vainas por planta se ve afectado por un mal clima y exceso de humedad, recomendando variedades que eviten el acame de la planta, ya que afecta la calidad y rendimiento de la semilla.

El ajonjolí en virtud de la baja necesidad de riego, la adaptación a diferentes tipos de suelo y condiciones climáticas, al no ser un cultivo intensivo en mano de obra y ser, en cambio, un cultivo altamente remunerativo, es ideal para reemplazar cultivos de bajo rendimiento, especialmente en el escenario actual de calentamiento global, afectando la productividad de los cultivos en áreas agrícolas cada vez más tradicionales. Como resultado, la producción de ajonjolí está aumentando rápidamente a lo largo de los años y se está convirtiendo en un cultivo comercial alternativo importante para los pequeños agricultores (Dossa *et al.*, 2017).

De acuerdo con la FIRCO (2017), indica que los agricultores mexicanos aportan 0.8% del ajonjolí que se cosecha en el mundo, y su rendimiento es 1.9 veces mayor al del líder mundial. Por lo tanto, México se encuentra en el lugar número 15 como productor mundial, con la producción anual de esta semilla se pueden generar alrededor de 20 millones de litros de aceite.

Por lo anterior, es importante retomar el mejoramiento para la adaptación de nuevas variedades a distintas zonas del país, ya que por sus características de calidad de la semilla resulta redituable la producción de este cultivo. Además, de ser un cultivo olvidado por fitomejoradores, no tiene los suficientes apoyos para la investigación y continúan los viejos vicios en la comercialización de esta oleaginosa, donde los productores que se dedican a su cultivo, no han sido lo suficientemente capaces de organizarse para responder a las necesidades de los mercados externos que exigen cada vez más volúmenes, así como periodos de entrega y calidad.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

Caracterizar poblaciones de ajonjolí, para determinar su capacidad de adaptación a la región sureste del estado de Coahuila.

1.1.2 Objetivos específicos

Evaluar el comportamiento agronómico y el potencial de rendimiento de semilla en poblaciones de ajonjolí en la región sureste del estado de Coahuila.

1.2. HIPÓTESIS

H1. Al menos una de las poblaciones de ajonjolí, presentará capacidad de adaptación al ambiente evaluado y un potencial de rendimiento de semilla aceptable, para la región sureste de Coahuila.

Ho. Ninguna de las poblaciones de ajonjolí, presentará capacidad de adaptación al ambiente evaluado y un potencial de rendimiento de semilla, para la región sureste de Coahuila.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

El ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) es normalmente cultivado en áreas húmedas, cálidas o tropicales con precipitaciones anuales que van de los 500 a 1000 mm, sin embargo, es tolerante a sequía y se desarrolla bien en suelos pobres, ya que tiene preferencia por suelos arenosos. Es una planta herbácea anual de tamaño variable, por lo general va de 1 a 2 metros dependiendo la variedad, es erecta, produce cápsulas que contienen pequeñas semillas de color negro, rojo o blanco (Ríos, 1978).

Es un cultivo de semillas oleaginosas. Las semillas contienen proteínas altamente nutritivas y un 50-60 por ciento de aceite altamente estable y de alta calidad. Aunque la demanda en la industria panificadora es baja (León, 2000), se puede utilizar como alimento y en la fabricación de pinturas, jabones, perfumes, insecticida, productos farmacéuticos y productos cosméticos (Ramprasad *et al.*, 2019).

A pesar de su importancia, el ajonjolí se considera un cultivo que ha recibido muy poco apoyo de la ciencia y la industria. Como consecuencia, ha sido reemplazado por otros cultivos importantes de semillas oleaginosas, en lo que respecta a trabajos de mejoramiento genético (Dossa, 2016). Este cultivo en la mayoría de los países donde se siembra, está en manos de pequeños productores, muy poco tecnificados que utilizan variedades con baja productividad. Por lo tanto, existe una oportunidad para trabajar en esta planta con el objetivo de aumentar el rendimiento, tolerancia o resistencia a plagas y enfermedades, calidad del grano, entre otras (Mussi *et al.*, 2016).

Los principales países productores de ajonjolí a nivel mundial son Myanmar, India y China. Sin embargo, la productividad de ajonjolí en la India (432 kg ha⁻¹) y Myanmar (565 kg ha⁻¹) es bajo en comparación con China (1382 kg ha⁻¹). Las principales limitaciones en producción son la falta de variedades con alto potencial de rendimiento (Ramprasad *et al.*, 2019).

2.1. Origen

El ajonjolí *Sesamum indicum* L. es la oleaginosa cultivada más antigua, con una amplia distribución en las zonas tropicales y subtropicales del mundo. Su centro de origen, aún no se ha determinado, pero se habla de África, y se consideran como centros secundarios de diversificación: India, China y Japón, países donde existe una gran diversidad de tipos y variedades (Avila, 1999).

Desde el punto de vista de Jaramillo (1999), enfatiza que existen evidencias botánicas y escritas sobre la utilización del ajonjolí, 3.500 a.C., a raíz de excavaciones realizadas en la civilización hindú de Harappa; los diccionarios sirios y otros escritos cuneiformes, referían al ajonjolí como segis-i. Según Heródoto, siglo V a.C., el aceite de ajonjolí, hacía parte de un sistema de rotación de cultivos, con la cebada que se sembraba en primavera y el ajonjolí en verano.

De acuerdo con Robles (1991), menciona las siguientes diecisiete especies que han sido reportadas en África: *S. heudelotii* Stapf, *S. repens* Engl. Etc. Gilg, *S. pedalioides* Hiern, *S. mombazense* Wildem et Dur., *S. antirrhinoides* Welw, *S. schinzianum* Aschers, *S. angustifolium* Engl., *S. baumii* Stapf., *S. calycinum* Welw., *S. angolense* Welw., *S. radiatum* Schum et Thonn., *S. marlothii* Engl., *S. indicum* L., *S. alatum* thonn., *S. schenckii* Aschers. y *S. capense* Burn. No se sabe, si alguna de estas especies aparte del *S. indicum* L., es cultivada.

Muy poco se sabe del número de cromosomas de estas especies, con excepción de las siguientes:

- *S. radiatum* Schum. et. Thon: $2n=64$.
- *S. indicum* L: $2n= 26$.
- *S. orientale* L.: $2n= 26$
- *S. alatum*: $2n=26$
- *S. angolense*: $2n=32$

Aparte de las dieciséis especies encontradas en África, dos especies silvestres han sido reportadas en la India:

- *S. prostratum* Rets: con $2n=32$ y
- *S. laciniatum* Klein: $2n=32$.

Los esclavos del África trajeron a América las semillas de ajonjolí. Posteriormente, fueron cultivadas en el sur de Norte América, donde se utilizó para el condimento y mejorar el sabor de las comidas africanas.

El ajonjolí se cultiva en la actualidad en zonas cálidas cerca del ecuador, pero al mismo tiempo se cultiva en regiones templadas (Vaca y Vásquez, 2001). Las principales áreas de cultivo están en India, China, Ecuador, Honduras, Nicaragua y México. También se cultiva abundantemente en Egipto.

2.2. Clasificación taxonómica

El ajonjolí es una planta anual, perteneciente a la familia Pedaliaceae, como se puede observar a continuación su menciona su clasificación botánica:

Cuadro 1. Clasificación botánica de la semilla de *Sesamum indicum* L.

Clasificación	Descripción
Reino	<i>Viridiplantae</i>
Clase	<i>Dicotyledonae</i>
Orden	<i>Scrophulariales</i>
Familia	<i>Pedaliaceae</i>
Género	<i>Sesamum</i>
Especie	<i>S. Indicum</i> L.

Fuente: EFSA, 2010.

2.3. Morfología de la planta

El ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) pertenece a la familia Pedaliaceae, la cual está formada por dieciséis géneros y sesenta especies encontradas en regiones tropicales y subtropicales, es una planta anual, erecta, herbácea, con ciclo vegetativo variable entre 60 hasta 150 días, dependiendo las variedades y de las condiciones ecológicas y edáficas. La altura de las plantas también tiene variabilidad, según la fuente de germoplasma, existiendo variedades que se siembran en mayor superficie a nivel nacional y mundial, teniendo una altura promedio de 1.20 a 1.70 m, aunque algunos autores reportan hasta 2.0 m pero estas variedades tienen mayor problema con el acame lo que también dificulta el manejo agronómico y cosecha. Las variedades con una altura menor a 1 m se reportan con menor rendimiento (Robles, 1991).

2.3.1. Tallo

Es erecto, cilíndrico, cuadrangular y en algunos casos puede tener seis lados. El corte transversal del tallo muestra un área externa dura y una médula blanca. La médula está compuesta de parénquima suave; en los tallos adultos esta tiende a desaparecer dejando un hueco al centro.

2.3.2. Hojas

En la parte inferior del tallo crecen en sentido perpendicular, salen en pares opuestas en los surcos y el siguiente par salen con un ángulo de 90 grados con respecto al primero. El tamaño es de 3 a 17 cm de largo, por 1 a 5 cm de ancho, pecíolo largo, de forma lobulada en la base y lanceolada en la parte apical.

2.3.3. Flor

Es gamopétala, de cáliz pequeño y 5 sépalos, solitaria y pedicelo corto. La corola puede ser blanca o morada, campanulada, limbo irregular con cinco lóbulos, pubescente en su interior. Tiene ovario supero con dos celdas, planta autógama. Las yemas florales aparecen solitarias o en grupos en las axilas de las hojas.

2.3.4. Fruto

El fruto es una cápsula de 2 a 5 cm de largo, formada generalmente de dos carpelos divididos en dos para formar cuatro celdas. Es pubescente y dehiscente con 15 a 25 semillas cada una. En la madurez se abre por las suturas longitudinales de la cápsula, lo que determina que la parte superior se divida en dos (EcuRed, 2011).

2.3.5. Semillas

Constituyen el órgano de la planta que se emplea como frutal. Están contenidas en un número variable en los frutos, que son cápsulas planas. La forma de las semillas es oval y son de color blanco, gris, marrón, o negro, en dependencia del cultivar, con dimensiones entre 2 y 4 cm de largo y 1-2 mm de largo (Cuba, 2010).

2.3.6. Raíz

El sistema radical es bien desarrollado y fibroso. Las pocas raíces principales se ramifican profundamente hasta alcanzar alrededor de 80 a 120 cm de profundidad. Las raicillas crecen 50 cm en radio a la planta, lo cual permite una eficiente absorción de agua (Bastilla y Lascarro, 2004).

2.4. Clima

Los cultivares del ajonjolí están distribuidos en un rango muy amplio de diferentes ambientes. En el mundo se siembran cerca de tres mil variedades, adaptadas a condiciones locales, con características genéticas diferentes como sensibilidad al fotoperiodo, hábitos de crecimiento, número de cápsulas por axila, color de la corteza de la semilla, contenido de aceite, resistencia a enfermedades y sequía, entre otras (Jaramillo, 1999).

Por ser un cultivo especialmente apto para zonas tropicales y subtropicales, el ajonjolí requiere temperaturas altas y constantes (entre 26 y 30 grados); temperaturas por debajo de los 18 °C impiden la germinación, mientras que temperaturas superiores

a los 40 °C hacen que disminuya la formación de la cápsula. La altitud máxima para producir ajonjolí es de 1600 metros sobre el nivel del mar (Suárez, 2013).

En China, Rusia y Estados Unidos a 30° y 35° de latitud sur como en Australia y Sur América, respectivamente. En Colombia se cultiva ajonjolí, principalmente en los departamentos de Magdalena, Bolívar, Córdoba, Tolíma, Sucre (Bastilla y Lascarro, 2004).

2.5. Distribución geográfica

El ajonjolí pertenece a la familia Pedaliacea que contiene cerca de 60 especies en 16 géneros de los cuales cerca de 38 especies son del género *Sesamum*, distribuidas en África tropical Oeste (Guinea), Este de África (Congo, Angola), Sur de África, diez en la India y Srilanka, cinco en el este de la India y cada una de los siete restantes en un país diferente.; dos especies silvestres *S. Capense* y *S. Schenckii* se encuentran en las tres regiones mayores de distribución, incluido el este de la India (Jaramillo, 1999).

2.6. Situación actual

De acuerdo con Vaca y Vásquez (2001), reporta que, en 1993 se negociaron en el comercio mundial 486,000 toneladas de ajonjolí, donde Japón fue el principal importador con aproximadamente el 24% del total de las importaciones, seguido de Estados Unidos de América con el 8%. A su vez, Australia importó 6,400 toneladas de ajonjolí en 1996 desde: China, México e India, fueron sus principales proveedores. Long (2021) reporta que, hasta enero de este año, los líderes en producción de ajonjolí a nivel mundial son la India (890,000 t ha⁻¹), China (626,000 t ha⁻¹) y Nigeria (580,000 t ha⁻¹). El mayor importador de ajonjolí en el mundo sigue siendo Japón, debido a la alta demanda en la preparación de sus alimentos.

El Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP) en 2019 informó sobre la expectativa que tenía para la producción de ajonjolí en volumen de producción por tonelada y por entidad, reportando lo siguiente:

Cuadro 2. Expectativas de la producción nacional del cultivo de ajonjolí, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera por volumen (toneladas).

Entidad	Región	2017	2018	2019
		52,824	56,924	56,610
Sinaloa	Noroeste	21,013	23,146	20,860
Guerrero	Centro	14,411	14,083	13,137
Michoacán	Centro-Occidente	7,192	7,074	6,825
Oaxaca	Sur-Sureste	6,074	6,317	5,857
Resto		6,134	6,331	9,931

Fuente: SIAP, 2019.

En el Cuadro 3 se observa que Sinaloa es el líder a nivel nacional en superficie sembrada con una producción de 34,985.00 ton, sin embargo, los más altos rendimientos por hectárea se presentaron en el estado de Guerrero.

Cuadro 3. Resumen nacional por estado del año agrícola 2018 en la modalidad de riego más temporal de ajonjolí.

Entidad	Superficie (ha)		Producción (ton)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
	Sembrada	Cosechada		
1 Sinaloa	34,985.00	33,485.00	23,895.51	0.71
2 Guerrero	15,876.50	15,876.50	14,147.74	0.89
3 Michoacán	10,576.00	9,902.50	6,825.91	0.69
4 Oaxaca	8,078.00	8,033.00	6,320.69	0.79
5 Chiapas	8,071.20	8,071.20	4,183.16	0.52
6 Jalisco	1,508.71	1,508.17	521.65	0.35
Otros	6,478.84	1,682.50	1254.18	3.00
Total	87,353.71	80,338.87	58,510.27	3.73

Fuente: SIAP, 2018.

Con el propósito de mostrar la variación en la producción nacional de ajonjolí el SIAP reporta para el 2019 y 2020, que el estado de Sinaloa, continúa siendo el estado con mayor superficie sembrada, no obstante, su rendimiento por hectárea se ha visto afectado pasando de 0.75 a 0.55 t ha⁻¹.

Cuadro 4. Resumen nacional por estado del año agrícola 2019 en la modalidad de riego más temporal de ajonjolí.

Entidad	Superficie (ha)		Producción (ton)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
	Sembrada	Cosechada		
1 Sinaloa	35,928	23,487	17,670	0.75
2 Guerrero	15,620	12,057	10,166	0.84
3 Michoacán	10,730	7,036	4,573	0.65
4 Oaxaca	7,976	7,861	5,716	0.72
5 Chiapas	7,956	7,956	1,142	0.52
6 Sonora	1,881	787	264	0.33
Otros	3,270	2,275	1,498	0.84
Total	83,364	61,460	44,030	0.71

Fuente: SIAP, 2019.

Cuadro 5. Situación al 31 de diciembre del resumen nacional por estado del año agrícola 2020 en la modalidad de riego más temporal de ajonjolí.

Entidad	Superficie (ha)		Producción (ton)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
	Sembrada	Cosechada		
1 Sinaloa	35,276.48	29,236.48	15,980.77	0.55
2 Guerrero	17,811.53	17,811.53	16,036.77	0.90
3 Michoacán	10,418.86	10,418.86	6,80.44	0.65
4 Oaxaca	8,040.75	8,040.75	6,063.35	0.75
5 Chiapas	7,844.30	7,844.30	4,234.86	0.54
6 Tamaulipas	2,277.00	2,062.00	731.33	0.35
Otros	3,801.92	3,280.92	8,949.89	0.06
Total	85,470.84	78,694.84	51,996.97	0.66

Fuente: SIAP, 2020.

2.7. Composición química de la semilla de ajonjolí

Más de la mitad del peso de la semilla de ajonjolí es aceite, y el resto: proteínas (18%), fibra (8%), minerales (2%), entre otros (Cuadro 6). La proteína de esta semilla está formada por quince aminoácidos distintos, con una elevada proporción del aminoácido esencial metionina. El aceite producido de ajonjolí es de los más caros del mundo, debido a su bajo contenido de colesterol y alto contenido en ácidos grasos poliinsaturados. La torta de ajonjolí es un buen alimento para el ganado, ya que contiene proteínas de alto valor biológico.

Cuadro 6. Composición química de la semilla de *Sesamum indicum* L. en 100 gramos (g).

Componentes	Cantidad	Unidades
Energía	614	K cal
Proteínas	18.2	g
Lípidos totales	58	g
AG saturados	8.3	g
AG monoinsaturados	21.7	g
AG polinsaturados	25.5	g
Fibra	7.9	g
Agua	15	g
Vitaminas y minerales		
Calcio	670	mg
Hierro	10.4	mg
Zinc	5.3	mg
Fosforo	720	mg
Vitamina A	1	ug
Vitamina E	2.53	mg

Fuente: Moreiras *et al.*, 2013.

2.8. Usos y aplicaciones

Por su composición química el ajonjolí es un excelente agregado nutricional. Entre los miles de productos alimenticios que están disponibles para consumo en la actualidad, el ajonjolí conserva un lugar muy especial entre las preferencias de los consumidores, distinción que ha sido mantenida desde sus orígenes en el siglo dos antes de Cristo (Arévalo *et al.*, 2018).

A juicio de Bastilla y Lascarro (2004) clasifican cinco formas de uso del ajonjolí mismo que se mencionan a continuación:

- **Industria Panificadora:** En este caso es de gran utilización las semillas de ajonjolí blanca, ya que no se oscurece en el proceso de horneado. El ajonjolí es utilizado en la producción de harina para pan, como también en grano natural tostado como aderezo al pan para hamburguesa, de la misma manera que se utiliza en la elaboración de palitos de pan y galletas.
- **Repostería:** En las calles de ciudades y pueblos de la costa, el ajonjolí se ha convertido en un producto distribuido por muchas personas en forma de dulces y cocadas.
- **Producción de margarinas y aceites para freír:** El maestro Jorge Toro Vázquez quien recibió el Premio Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos, ideó un producto similar a una margarina, hecho a base de ajonjolí que incluso puede untarse sobre el pan sin desbaratarlo.
- **Preparación de comidas:** El ajonjolí es muy utilizado en los restaurantes de comida asiática y naturista, ya que posee un gran contenido proteínico y sirve como sustituto para personas con preferencias vegetarianas, también sirve para preparar Tahini, una crema dulce que resulta de tostar la semilla descortezada

y molerla, a la cual se le agrega miel, azúcar, aceite de girasol y cacahuate, este producto es muy consumido por árabes y judíos.

- Pasta untuosa estandarizada: Este producto fue desarrollado mediante un proyecto de estudiantes de la Facultad de Ingeniería de Alimentos de la Universidad de Cartagena. Este producto es un complemento alimenticio, para combinarlo con diferentes comidas, panes, galletas y untarlo al gusto de los consumidores.

Mientras que Tejada (2018) menciona los siguientes usos:

- Aceite comestible: Es la forma de consumo más tradicional, y gracias a sus propiedades es comparable con el aceite de oliva por sus múltiples beneficios, rico en ácido linoleico, y en ajonjolí, que es un antioxidante natural que lo hace resistente a la rancidez oxidativa en comparación con otros aceites, además posee un sabor agradable y no requiere de refinación, aunque eso depende de la preferencia de los clientes o el destino final del mismo.
- Aceite lubricante: los aceites vegetales para operaciones de lubricación respecto a los lubricantes de origen petroquímico tienen mejor efectividad en condiciones de lubricación a los triglicéridos presentes dando mayor afinidad por las superficies metálicas.
- Sustituto parcial de grasa y proteína: en embutidos, los cuales deben cumplir con un mínimo de proteína sea de origen animal o vegetal y en lo posible contener la menor grasa saturada posible, el ajonjolí debido a sus características cumple con esta función.
- Control de enfermedades fúngicas en cultivos: con base en los resultados obtenidos en estudio hechos por el INIA, inhibieron el crecimiento de *Fusarium oxysporum* f. sp. *sesami*, se especula que el efecto inhibitorio procede de

metabolitos naturales presentes en la planta como defensa natural; lo cual hace que la variedad sea atractiva para fines de mejoramiento genético.

2.9. Manejo agronómico

Siendo el ajonjolí un cultivo distribuido en todo el mundo y en diferentes ambientes, existen diferentes métodos de siembra. A continuación, se describe la forma recomendada por el INIFAP, para siembra bajo condiciones de riego y temporal en el estado de Sinaloa.

2.9.1. Ajonjolí en riego

2.9.1.1. Preparación de terreno

Dado que la planta del ajonjolí es altamente susceptible a los excesos de humedad en el suelo y la semilla es muy pequeña, requiere una óptima preparación del terreno para germinar en un porcentaje que permita, con la dosis sugerida, una adecuada población de plantas. Los suelos más aptos para ajonjolí son los de tipo aluvión, o bien los arcilloso-arenoso profundos. Requiere barbecho, doble rastreo cruzado y nivelación para formar una cama de siembra de terreno mullido, que permita distribuir uniformemente el agua y evitar daños por encharcamientos.

2.9.1.2. Variedades

Robles (2002) menciona que los caracteres son afectados en mayor o menor grado por el medio ambiente, la diferenciación entre variedades debe basarse en caracteres hereditarios que sean afectados lo menos posible por efecto del medio ambiente. Las variedades de ajonjolí que en su mayoría se cultivan en México son mezcladas, al grado de que algunas veces se dificulta su cosecha, porque el cultivo presenta, plantas con diferencias en el periodo de floración, otras comenzando a madurar y finalmente, otras que después de madurar han tirado la semilla.

2.9.1.3. Época de siembra

Se sugiere sembrar del 21 de marzo al 10 de mayo, pero la época óptima es la primera quincena de abril, que es cuando se obtienen los mayores rendimientos.

2.9.1.4. Método y densidad de siembra

Se propone sembrar en surcos separados de 75 a 80 centímetros. En suelos de aluvión siempre en plano a “tierra venida” y profundidad de 4 a 6 centímetros. En suelos de barrial se puede sembrar en seco o en húmedo; en seco se realiza en el lomo del surco a profundidad de 1 a 3 centímetros, procurando que no quede semilla sin cubrir posteriormente se aplica un riego a trasporo.

Para el establecimiento del cultivo con sembradora de precisión, se utilizan de 0.8 a 1.3 kilogramos de semilla por hectárea. Con sembradoras comunes se usan discos “ciegos” con perforaciones de 6 milímetros de diámetro o bien se dosifica a mano, con “saleros”, en cuyo caso la dosis de semilla será de 2.5 a 3 kilogramos por hectárea. En cualquier caso, usar semilla certificada con 85% de germinación como mínimo.

2.9.1.5. Riegos

Los riegos dependen del clima, fecha de siembra, condiciones de textura y capacidad del suelo para retener o perder humedad, así como del ciclo vegetativo de la variedad sembrada. Sin embargo, lo más importante es que a la planta, no le falte humedad durante las etapas de desarrollo inicial, inicio de floración, formación de cápsulas y madurez de grano.

En suelos de tipo aluvión, además del riego de pre siembra se recomienda aplicar un riego de auxilio en floración, entre los 70 y 80 días después de la siembra. En suelo tipo barrial se sugiere un riego para la germinación y emergencia, con una lámina de 12 a 15 centímetros y dos de auxilio espaciados cada 25 ó 30 días, con láminas de 8 a 10 centímetros, los cuales son suficientes para obtener una buena

cosecha. En siembras tempranas se aplican tres riegos de auxilio, como máximo. A su vez, es importante evitar los excesos de humedad, dada la susceptibilidad del ajonjolí a la incidencia de enfermedades.

2.9.1.6. Fertilización

Se recomienda aplicar 40 kilogramos de Nitrógeno por hectárea, si el cultivo anterior, fue una leguminosa y de 70 a 80, si fue otro cultivo. Suministrar la mitad, antes de la siembra, incorporarlo con el último rastreo, y el resto en la primera escarda. Esta dosis puede modificarse para cada caso, si se realiza un análisis de suelo.

2.9.1.7 Labores de cultivo

Para evitar la competencia de malezas y mantener el cultivo limpio, durante los primeros 30 días, lo cual se logra al sembrar en húmedo, o dar un cultivo antes y otro después del primer riego de auxilio. En lotes en donde se tienen altas infestaciones de malezas, adicionar la mezcla de 3.5 litros de lazo más 0.5 kilogramos de Linurón, en preemergencia, después de la siembra. En ajonjolí, ya establecido y cuando el problema sea sólo por gramíneas, se recomienda aplicar el ingrediente activo (fluazifop-butil), en post emergencia a una dosis de 2.5 litros por hectárea.

2.9.1.8. Principales plagas

El cultivo puede ser atacado desde la emergencia, por varias plagas, en particular gusanos trozadores. Durante la floración, por insectos defoliadores y mosquita blanca. A continuación, se describen los daños ocasionados por las principales plagas que atacan al cultivo de ajonjolí.

Gusano trozador (*Agrotis spp*).

Las larvas trozan las plantas a la altura del tallo en secciones del surco. Tienen hábitos alimentarios nocturnos, por lo que durante el día se les encuentra semienterrados cerca de las plantas. Es importante realizar una siembra con una

adecuada cantidad de plantas por metro lineal, para evaluar adecuadamente el daño del gusano trozador; en el caso que el daño ponga en peligro el número de plantas recomendado se sugiere aplicar sobre la línea de plantas, preferentemente por las tardes, en manchones de infestación delimitados.

Mosca blanca (*Bemisia tabaci*, biotipo “B”).

El ajonjolí es uno de sus principales hospederos. La plaga se presenta desde la emergencia y persiste a través del desarrollo fenológico. Se recomienda establecer trampas amarillas con pegamento entomológico, para detectar la presencia de la plaga, el lugar por donde llegan y la abundancia relativa en que se presentan. Es recomendable realizar liberaciones del depredador crisopa cuando en el envés de las hojas tiernas se encuentren los primeros huevecillos y ninfas.

Chinche *ligus* *Lygus lineolaris* (Palisot de Beauvois), chinche rápida (*Creontiades* spp.), chinche verde apestosa (*Nezara viridula* L.), conchuela café (*Euschistus servus*) y chinche del ajonjolí (*Cyrtopeltis modestus*)

Se alimentan de los botones florales y cápsulas incipientes, provocando su caída o avanamiento de los granos. El control químico se sugiere cuando a partir de la formación de botones florales se detecte una chinche o más en promedio por cada 10 plantas inspeccionadas, en alrededor de 10 sitios del cultivo inspeccionado. Las aplicaciones de insecticidas contra mosca blanca, reducen indirectamente a estos insectos plaga.

Gusano telarañero (*Loxostege rantis*) y gusano enrollador de la hoja (*Antigastra* sp.)

Son defoliadores que consumen vorazmente las hojas, afectando directamente la producción de grano. Debido a que las larvas se protegen con una malla de seda, las aplicaciones deben hacerse con presiones altas, de manera que el producto llegue

hasta la larva. Se recomienda aplicar cuando se observe 10% de plantas infestadas. Años con lluvias tardías y escasas, con poca presencia de hospederas silvestres de estos insectos favorecen que colonicen y ataquen el cultivo de ajonjolí. Se recomienda realizar trampeo de adultos con trampas elaboradas con bidones de plástico cebadas con fermento de piña, plátano macho y cerveza, colocadas ligeramente por encima de la altura del cultivo. También se sugiere realizar liberaciones de trichogramma y en general favorecer el control biológico de la plaga.

Gusano peludo (*Estigmene acrea*)

Defolia el cultivo y troza las cápsulas en llenado de grano, en consecuencia, se secan y abren prematuramente. Se sugiere el control, cuando se observen dos larvas por metro de surco durante la época de fructificación o defoliación de 25% o mayor en etapa de desarrollo vegetativo.

Gusano de la cápsula (*Heliothis virescens* F y *Helicoverpa zea*)

Es una plaga importante durante la fructificación. Las larvas barrenan los botones florales y las cápsulas incipientes. Se sugiere el control, si se observa 10% o más de cápsulas dañadas.

2.9.1.9. Principales enfermedades

Las principales enfermedades presentadas en el estado de Sinaloa; que es en donde se cultiva una mayor superficie de ajonjolí en México, son las siguientes:

Pudrición del pie (*Macrophomina phaseolina*)

Es la enfermedad más importante del ajonjolí, se presenta en condiciones de altas temperaturas en un rango de 20 a 30 °C y alto contenido de humedad en el suelo, seguidas por un periodo prolongado de escasez de humedad.

- Síntomas: Una mancha negra en la base del tallo, la cual avanza hacia arriba invadiendo la cápsula y semilla.
- Control: Para su prevención, usar semilla libre de la enfermedad, no sembrar en terrenos infestados, evitar los encharcamientos y no someter el cultivo a condiciones de sequía.

Pudrición del tallo y cuello de la raíz (*Phytophthora sp*)

La enfermedad, ataca en cualquier etapa de desarrollo del cultivo. Su incidencia es favorecida por altas temperaturas en un rango de 28 a 30 °C y altos contenidos de humedad en el suelo.

- Síntomas: los síntomas consisten en manchas acuosas negruzcas que se extienden de la base del tallo a la parte superior de la planta, causando marchitez, caída de hojas y muerte prematura de la planta.
- Control: evitar el exceso de humedad en el suelo, realizar la rotación del cultivo y destruir los residuos de la cosecha anterior.

Mancha de la hoja (*Phaeoisariopsis griseola*)

La sintomatología incluye manchas color café que invaden las hojas, tallos y cápsulas. Las nervaduras de las hojas pueden limitar el crecimiento de las manchas confiriéndoles formas irregulares.

- Síntomas: en los tallos y cápsulas se manifiesta en forma de áreas hundidas. En ataques severos causa la muerte prematura de la planta.
- Control: para su prevención se recomienda usar semilla desinfectada y realizar rotación de cultivos.

2.9.1.10. Cosecha

El corte debe realizarse cuando las hojas de la planta se tornen amarillas y empiezan a caer, lo cual ocurre entre los 110 y 125 días después de la siembra. Para

reducir el período de cosecha se puede aplicar como desecante un día antes del corte, 1.5 litros por hectárea de Paraquat en 300 litros de agua.

La trilla es factible realizarla seis días después del corte, si se usó desecante; o de 20 a 30 días después, en caso contrario. Es necesario adaptar a la trilladora una plataforma de lámina en la barra de corte, para evitar que se tire la semilla. La alimentación con los “monos” se efectúa en forma manual.

La cosecha manual se efectúa volteando y sacudiendo con una vara los manojos de plantas sobre una lona extendida. Posteriormente, la semilla se criba y se limpia mediante aireación para eliminar impurezas. La trilla se lleva a cabo de 25 a 35 días después del corte.

2.9.2. El cultivo de ajonjolí, bajo condiciones de temporal

2.9.2.1. Preparación del terreno

La alta sensibilidad del ajonjolí a los excesos de humedad en el suelo y su sistema de raíz pivotante hacen que el cultivo se desarrolle mejor en suelos de tipo aluvial o arcilloso-arenosos profundos, con subsuelo permeable y buen drenaje. Barbechar y dar un paso de subsuelo; esto último sólo cuando se trate de terrenos profundos. La preparación puede efectuarse desde fines de junio, hasta los primeros días de julio, antes o inmediatamente después de establecido el periodo de lluvias.

Cuando la maleza tenga de 5 a 10 centímetros de altura, y en cuanto el suelo “de punto”, se da un paso de rastra para controlar la primera etapa de germinación y emergencia. Si no se dispone de maquinaria, cuando se presenten las primeras lluvias se aprovecha la humedad y efectúa la labor de barbecho. En cuanto crezca nuevamente la maleza a una altura de 5 a 10 centímetros, se elimina con otro paso de arado.

2.9.2.2. Época de siembra

Se realiza desde el inicio del periodo de lluvias, de principios del mes de julio hasta el 10 de agosto, como fecha límite. Sí se siembra después, la planta puede reducir su potencial productivo por falta de humedad, debido a que el ciclo de lluvias es muy corto.

2.9.2.3. Método de siembra

Siembra en plano, inmediatamente después de efectuar el rastreo y antes de que el suelo pierda la humedad residual por las lluvias. En terrenos desnivelados se debe seguir el sentido perpendicular a la pendiente. Si no se dispone de maquinaria, siembra “a chorrillo” en el fondo del surco al realizar el segundo paso de arado y cuando haya suficiente humedad en el suelo. La distancia entre surco es de 70 a 80 centímetros, y la semilla se deposita entre 3 y 5 centímetros de profundidad.

2.9.2.4. Densidad de siembra

Se recomienda sembrar 2.5 kilogramos de semilla por hectárea, para obtener una densidad de población de 15 a 20 plantas por metro lineal.

2.9.2.5. Fertilización

Se sugiere una dosis de 40-00-00 de N, P, K por hectárea, en una sola aplicación, al momento de efectuar la primera labor de cultivo.

2.9.2.6. Labores de cultivo

Se realizan dos labores de cultivo, para eliminar malezas y conservar mejor la humedad, el primer aporque se proporciona de 25 a 30 días después de la siembra y el segundo entre 45 y 50 días; con el último se puede escardar mediante vertederas adicionales en el equipo mecánico, o bien con un nuevo paso de arado para drenar el exceso de agua.

2.9.2.7. Principales plagas

Chapulín (*Brachystola* sp.)

Una de las principales plagas del ajonjolí de temporal es el chapulín, suele presentarse en índices variables de un año a otro, provocando diversos niveles de daño. Se presenta desde la etapa de germinación y emergencia, hasta la cosecha, de acuerdo con las condiciones ambientales y se alimenta de follaje y flores.

El resto de plagas que atacan al cultivo de ajonjolí, bajo condiciones de temporal son las mismas que se presentan en condiciones de riego.

2.9.2.8. Principales enfermedades

Las enfermedades más importantes son la pudrición del cuello de la raíz, marchitez de las plantas y mancha foliar. Los síntomas y algunos métodos para su prevención, control y tratamiento se presentan en el apartado de ajonjolí de riego.

2.9.2.9. Cosecha

El corte se realiza al presentarse la madurez del grano, para evitar pérdidas de semilla, esto ocurre cuando las hojas y cápsulas de la parte baja de la planta se tornan amarillentas, aproximadamente a los 100 y 110 días después de la siembra.

En el corte se hacen manojos pequeños para formar los “monos”, mismos que se deben atar a 25 ó 30 centímetros de la parte superior, para evitar que los tumbe el viento. La cosecha o trilla se efectúa a los 20 a 30 días después del corte. Esta labor puede realizarse volteando y sacudiendo con una vara manojos de plantas sobre una lona extendida. Posteriormente, la semilla se criba y se “ventea” para eliminar las impurezas (INIFAP, 2015).

2.10. Emparve

Se colocan los manojos cosechados boca abajo para evitar pérdida y un secado rápido. Se realiza de 2 a 3 días después del corte. Cuando las parvas están en proceso de secado, estas pueden estar en el campo en un período de 8 a 15 días, dependiendo de los factores climáticos.

2.11. Aporreo

Se colocan las parvas en un toldo o carpa donde se golpean para causar la liberación o caída de la semilla. Para poder llevar a cabo este procedimiento es necesario que las parvas estén secas. Una forma de asegurarse que estén secas, es verificar que el 90% de las cápsulas estén abiertas.

2.12. Limpieza o zarandeo

Su objetivo de este proceso es seleccionar el mejor grano y/o la mayor calidad usando una malla fina donde se filtra la semilla. Otro modo de hacerlo es soplando la semilla donde el viento se lleva las impurezas. El secado se realiza con el propósito de reducir la humedad de la semilla y prolongar su almacenamiento.

2.13. Acopio, almacenamiento y procesamiento del ajonjolí

La forma de acopio, depende del tipo de producción que se obtenga, por lo cual se tienen dos formas definidas:

- Lugares céntricos de acopio común (caso de los pequeños productores, a fin de facilitarles el proceso de comercialización).
- En el caso de los medianos y grandes productores, son ellos mismos los encargados de almacenar su grano.

2.14. Criterios para la selección de la semilla

Para poder clasificar la semilla de calidad se deben de cumplir ciertos requisitos:

- Se espera un producto con un máximo de 3% de materias extrañas.
- Se prefiere un producto de color claro ya que la corteza es más suave y esto facilita su industrialización.

2.15. Variedades recomendadas para el estado de Sinaloa

Se sugieren las variedades: Regional Pachequeño seleccionado, Regional Padilla seleccionado, Regional cola de borrego seleccionado, Peludo canastilla seleccionado y Tahue 90. Todas inician floración entre los 50 y 60 días, su madurez fisiológica ocurre a los 100-110 días y son moderadamente tolerantes a enfermedades.

2.16. Variedades registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales

El Catálogo Nacional de Variedades Vegetales (CNVV) enlista las variedades cuyos caracteres pertinentes han sido descritas conforme a las guías de cada especie para garantizar su identidad genética y distinción. De acuerdo a este; se encuentran registradas las siguientes variedades de ajonjolí para su siembra en México.

Cuadro 7. Variedades registradas en el Catálogo Nacional de Variedades Vegetales 2021 del Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas.

Variedad	Solicitante	N° de Inscripción
ZIRANDANO	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	AJN-008-170205
VERDE NACIONAL R-76	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	AJN-007-170205
TAHUE 90	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	AJN-006-170205
SAN JOAQUIN	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	AJN-005-170205
RIO GRANDE-83	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	AJN-004-170205
PUNGARABATO	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	AJN-003-170205
IGUALTECO	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	AJN-002-170205
CALENTANA	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.	AJN-001-170205

Fuente: SNICS, 2021.

2.17. Factores que afectan el deterioro de la semilla

- Humedad, se recomienda un 7% de humedad, (ya que la semilla es susceptible al ataque por hongos).
- Las manchas en las semillas pueden indicar su sanidad, así como la presencia de plagas.
- Producto manchado, no es adecuado para la venta descortezada, pero puede utilizarse para la extracción de aceite.

2.18. Almacenamiento

Generalmente se realiza en las plantas procesadoras, previo al descortezado. Se trata de no aplicar ningún químico; únicamente se tiene cuidado del ataque por ratas, utilizando cebos para su control.

2.19. Procesamiento

En el procesamiento se buscan dos finalidades:

- Venta (mercado nacional o internacional)
- Industrialización de aceites y subproductos.

Para la industrialización de la semilla se recomienda el siguiente procedimiento:

- Limpieza de la semilla (eliminar impurezas).
- Molienda donde es sometida a soda cáustica y altas temperaturas, con el fin de separarla de la cutícula, obteniéndose el ajonjolí descortezado.
- Después es pasado a través de unas zarandas desecadoras y un horno el cual proporciona calor para hacer más eficiente el secado.
- Finalmente, el ajonjolí es descortezado y empacado.

El INIFAP (2018), recomienda para un correcto almacenamiento de semilla de ajonjolí conservarse en un lugar fresco y seco, libre de residuos de la cosecha del ciclo anterior y realizar la limpieza periódicamente para evitar la contaminación por plagas. Además, las semillas se depositan en costales desinfectados en agua hirviendo o bolsas de plástico limpias, donde se coloquen a 30 centímetros por encima del suelo. También se pueden ocupar tambos o silos metálicos, en los cuales se recomienda llenar completamente el recipiente para disminuir la cantidad de aire.

Recomendando un tratamiento “orgánico” que consta de la aplicación de 250 gramos de extracto de hojas y frutos como, neem (*Azadirachta indica*), eucalipto

(*Eucalyptus* sp.), pirul (*Schinus molle*), epazote (*Dysphania ambrosioides*), chicalote (*Argemone mexicana*) y menta (*Mentha piperita*), por cada 50 kilogramos de semilla en costal.

Llevando un buen almacenamiento el productor podrá disponer de éstas en la próxima siembra o esperar el momento oportuno para su venta cuando existe saturación en el mercado, de lo contrario, por el alto contenido de grasa, la semilla puede verse afectada, perdiendo su sabor original y viabilidad para el cultivo.

2.20. Bancos de germoplasma

Las colecciones nativas sirven como materiales genéticos para el mejoramiento del cultivo del ajonjolí; de ahí que un primer paso, es la clasificación de la variabilidad genética presente en un banco de germoplasma para asegurar una adecuada accesión de progenitores y se traduzcan en transgresiones genéticas significativas con amplia base genética en las progenies.

Las accesiones se usan como material para el mejoramiento genético; como tolerancia a sequías o alta precipitación pluvial o factores bióticos o abióticos de acuerdo con patrones de razas geográficas y ecológicas, de tal forma que los investigadores puedan combinarlas para obtener heterocigotos en las producciones, contenido y calidad de aceite, proteína y resistencia a enfermedades (Jaramillo,1999).

Los principales bancos de germoplasma de ajonjolí en India (NBPGR National Gene Bank), en Corea del Sur (Centro Nacional de Agrobiodiversidad, Administración de Desarrollo Rural), en China (Oil Crops Research Institute, Chinese Academy of Agricultural Sciences) (Wei et al., 2015) y en Estados Unidos (USDA, ARS, PGRU), han conservado alrededor de 25 000 materiales genéticos. Además, existen varios bancos de germoplasma a pequeña escala en algunos países africanos, incluidos Nigeria, Etiopía y Sudán.

Dado que estos bancos de germoplasma contienen cantidades importantes de recursos genéticos, es importante establecer colecciones centrales, que es un enfoque preferido para la exploración eficiente y utilización de nuevas variaciones en los recursos genéticos (Hodgkin *et al.*, 1995).

Es preciso destacar lo que menciona Montero *et al.* (2005), que las variedades con mejor desarrollo vegetativo poseen mayor área foliar para la producción de fotosintatos, siendo estos indispensables como fuente de energía para el crecimiento y desarrollo óptimo de las plantas.

2.21. Análisis multivariado

Algunas técnicas multivariadas son confirmatorias y se aplican para responder a hipótesis referidas a la variabilidad multidimensional de las unidades de estudio y sus causas de variación. Gran parte de la metodología multivariada se basa en los conceptos de distancia y de dependencia lineal. Las distancias serán usadas como medidas de variabilidad entre pares de puntos que representan los datos multivariados y a partir de ellas es posible analizar similitudes y diferencias entre observaciones y/o variables.

Mientras que el análisis univariado explora datos de cada variable independientemente, el análisis multivariado explora tablas de datos de varias variables y por tanto permite contemplar distintos tipos de dependencias entre variables: dependencias entre cada par de variables, entre una variable y todas las restantes, entre pares de variables controlando por el efecto de otras en el sistema multivariado y dependencia conjunta entre todas las variables (Balzarini *et al.*, 2015).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

El presente trabajo de investigación se estableció durante el ciclo agrícola primavera-verano 2019, bajo condiciones de campo abierto en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), en el Campo Experimental Bajío en Buenavista, Saltillo, Coahuila, el cual se encuentra ubicado a una latitud de 25° 21'33" N, longitud de 101°02'20" W y a una altitud de 1,731 msnm (Google Earth, 2019). El manejo agronómico usado en el experimento se explica a detalle en el Cuadro 8.

3.2. Material genético

Se establecieron 30 colectas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) provenientes del Municipio de Sinaloa de Leyva en el estado de Sinaloa de las cuales se seleccionaron para evaluar la producción de semilla, considerando su comportamiento agronómico y componentes de rendimiento de grano.

Cuadro 8. Características del área utilizada en el establecimiento de las 30 colectas evaluadas en el Campo Experimental "El Bajío" de la UAAAN.

Localidad	Campo Experimental "el Bajío" UAAAN. Sede Saltillo, Coahuila.
Fecha de siembra	4 de julio de 2019
Fecha de cosecha	30 de noviembre de 2019
Régimen hídrico	Riego por goteo (cintilla)
No. de colectas	30
No. de surcos	2
No. de plantas por surco	450
Longitud de surco (m)	54
Distancia entre surco (m)	.80
Distancia entre plantas (m)	.12

Las variables cuantitativas que se evaluaron y las unidades en que se midieron se muestran a continuación en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Variables cuantitativas evaluadas en 30 colectas de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.).

Característica	Clave	Unidades
Altura de planta	A.P.	m
Capsulas por planta	C.P.	no
Longitud de cápsula	L.C.	cm
Peso de cápsula	P.C.	g
Semillas por cápsula	S.C.	no
Rendimiento de semillas por planta	R.S.P.	g

3.3. Variables agronómicas consideradas en el experimento

Los datos agronómicos de las colectas evaluadas de componentes del rendimiento, bajo condiciones de riego fueron las siguientes:

- Altura de planta (A.P.): Se midieron las colectas con ayuda de una cinta métrica, desde la base del tallo hasta el ápice de la planta, considerando el tallo principal.
- Cápsulas por planta (C.P.): Se contabilizaron el número total cápsulas por rama de la colecta seleccionada.
- Longitud de la cápsula (L.C.): Se midieron 5 cápsulas promediándose y se expresó en cm.
- Peso de cápsula (P.C.): Se determinó pesando las semillas de una cápsula con ayuda de una balanza analítica expresándose en gramos.
- Semillas por cápsula (S.C.): Se determinó contando semilla por semilla de 5 cápsulas, se promedió y se expresó en gramos.
- Rendimiento de semilla por planta (R.S.P.): Para determinar esta variable se realizó una vez efectuada la trilla, secado y limpieza de las semillas para

después multiplicar el peso de cápsula (P.C.) por el número total de cápsulas por planta (C.P.), el resultado obtenido se expresó en gramos.

3.4. Análisis estadísticos

Análisis multivariados. Los análisis de conglomerados y componentes principales se utilizaron para analizar los datos obtenidos de 30 colectas de ajonjolí, para los cuales se consideraron seis variables de rendimiento agronómico, los datos se analizaron con el paquete estadístico Minitab 16 (2009).

3.5. Análisis de Conglomerado (AC):

Este análisis básicamente lo que realiza es una implementación del siguiente algoritmo:

1. Examina la matriz de datos original ($n \times p$) conformada por n genotipos y p variables.
2. Estandariza la matriz de datos originales ($n \times p$) con la siguiente fórmula para transformar los datos a distribución normal con media 0 y varianza 1.

$$Z = \frac{(X - \bar{X})}{\sigma}$$

Dónde:

Z = Es la observación transformada a unidades de desviación estándar.

X = Es el valor original a estandarizar.

\bar{X} = Es la media de la variable original.

σ = Es la desviación estándar de la variable original.

3. Estima la distancia euclidiana en base a la matriz de datos estandarizados para el par de poblaciones (i, j) con la siguiente fórmula:

$$E_{ij_{k-1}} = \left\{ \sum^P (x_{ik} - x_{jk})^2 \right\}$$

Dónde:

E_{ij} = es la distancia entre la población i y la población j .

x_{ik} = es el valor de la k -ésima variable sobre la i -ésima genotipo.

Lo que da por resultado una matriz de distancias euclidiana en forma de matriz simétrica donde solo se escriben los elementos que están debajo de la diagonal principal.

4. Examina la matriz simétrica de distancias euclidianas y agrupa el par de genotipos (i, j) que son más similares y las une en un nuevo grupo; utilizando el procedimiento jerárquico, donde un genotipo colocado en un grupo, no puede ser agrupado en un paso posterior.

5. Forma una nueva matriz simétrica de distancias euclidiana para reflejar la supresión del par de genotipos, i y j , que fueron unidos, enlazando el nuevo genotipo correspondiente al nuevo grupo, hasta que los n genotipos estén en un solo grupo, finalmente se obtiene el dendograma.

3.6. Análisis de componentes principales (ACP)

Utiliza una matriz X de orden $n \times p$, de np observaciones correspondientes a los valores de p variables de cada una de n unidades de estudio (poblaciones) y consiste en transformar un conjunto de variables x_1, x_2, \dots, x_p a un nuevo conjunto y_1, y_2, \dots, y_p . Estas nuevas variables deben tener las siguientes propiedades (Johnson, 2000):

Son una combinación lineal de las x 's, por ejemplo, para el primer componente.
 $Y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p = a'1x$.

Donde $x = [x_1, x_2 \dots x_p]$ es el vector de valores muestrales de las variables originales, y a_{ij} es el valor del j -ésimo elemento del vector característico a_1 asociado al valor característico más grande λ_1 .

En forma matricial para todos los componentes, $Y=XA$, en donde Y es la matriz de orden $n \times p$ de componentes principales; A es una matriz de orden $p \times p$ de vectores característicos y X es la matriz de orden $n \times p$ de observaciones.

La suma de cuadrados de los coeficientes a_{ij} para cada i ($j=1, 2, \dots, p$) es la unidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el Cuadro 10 se muestran las características de las 30 colectas establecidas bajo condiciones de riego en el Campo Experimental de la UAAAN en el ciclo otoño-invierno 2019, en las cuales se estudiaron seis variables de componentes de rendimiento agronómico. La variable rendimiento de semilla por planta (R.S.P.) de mayor importancia se utilizó para ordenar grupos de colectas que van de mayor a menor rendimiento, separadas por una línea.

En las colectas 3, 5, 4, 16, 17 y 23 que conforma a los tres primeros grupos se presentaron los más altos rendimientos de semillas por planta (R.S.P.), relacionándolo con las variables C.P., L.C y P.C. La colecta 3, ocupa el primer lugar ya que presentó mayor C.P. (312) y como consecuencia un alto R.S.P. (92.664 g); las variables que influyeron para que la colecta 5, tuviera un rendimiento de 43.992 g fueron una buena L.C. (3.00 cm) y buen número de S.C. (107). En el siguiente grupo la colecta 23 obtuvo un R.S.P. de 42.250 g, sobresaliendo en C.P. (125), además de presentar el valor más alto en P.C. (0.338 g).

El último grupo del Cuadro 10, lo conforman las colectas 1, 2, 6, 11, 10, 24 y 25 las cuales se comportaron de manera similar en cuanto a bajo R.S.P. con un rango que va de 5.610 a 14.840 g en las colectas 6 y 10 respectivamente, asociándolo a que presentaron una cantidad de C.P. de 22 a 53 del mismo número de las colectas mencionadas anteriormente, siendo la característica que más afectó negativamente su rendimiento. Otra característica, que mostró este grupo es la reducción en su A.P., siendo esta característica favorable para evitar el acame de planta, teniendo un rango de altura de 0.62 m en la colecta 11 y de 0.87 m, perteneciente a la colecta 2; retomando el ejemplo de la colecta 11, su R.S.P. fue 5.610 g siendo el menor de las 29 restantes.

Cuadro 10. Agrupaciones con sus respectivas colectas de acuerdo al análisis de conglomerados en el cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) durante el ciclo O-I, 2019 en el Campo Experimental Bajío UAAAN.

Colecta	A.P. m	C.P. no	L.C. cm	P.C. g	S.C. no	R.S.P. g
3	0.90	312.00	2.70	0.297	97.00	92.664
5	0.71	156.00	3.00	0.282	107.00	43.992
4	0.98	105.00	3.00	0.330	107.00	34.650
16	1.00	99.00	3.00	0.335	105.00	33.165
17	1.25	106.00	3.30	0.337	112.00	35.722
23	1.13	125.00	3.00	0.338	101.00	42.250
7	1.13	121.00	2.50	0.271	91.00	32.791
19	0.96	101.00	2.60	0.234	99.00	23.634
29	1.11	122.00	2.50	0.245	95.00	29.890
8	0.93	95.00	2.70	0.299	97.00	28.405
9	0.93	84.00	2.70	0.333	111.00	27.972
12	0.72	94.00	2.50	0.290	92.00	27.260
14	0.91	107.00	2.60	0.273	77.00	29.211
18	0.83	95.00	2.50	0.302	96.00	28.690
13	1.04	56.00	2.90	0.257	84.00	14.392
15	0.73	94.00	2.90	0.242	93.00	22.748
28	1.07	70.00	2.90	0.222	98.00	15.540
30	1.00	134.00	2.90	0.233	99.00	31.222
21	0.85	122.00	3.00	0.194	70.00	23.668
20	0.87	91.00	2.50	0.179	62.00	16.289
22	0.87	74.00	2.50	0.209	73.00	15.466
26	1.00	114.00	2.70	0.172	63.00	19.608
27	0.95	107.00	2.60	0.203	63.00	21.721
1	0.77	60.00	2.70	0.247	84.00	14.820
2	0.87	45.00	2.60	0.254	90.00	11.430
6	0.72	22.00	2.70	0.255	77.00	5.610
11	0.62	35.00	2.70	0.239	84.00	8.365
10	0.72	53.00	2.90	0.280	87.00	14.840
24	0.76	47.00	2.90	0.241	75.00	11.327
25	0.67	39.00	2.70	0.163	53.00	6.357
Media	0.88	117.12	2.76	0.256	88.27	31.872

AP=Altura de planta; CP=Cápsulas por planta; LC=Longitud de cápsula; PC=Peso de cápsula; SC=Semillas por cápsula; RSP=Rendimiento de semilla por planta.

4.1. Análisis de Conglomerados (AC)

En el análisis de conglomerados se obtuvieron nueve grupos, este análisis se basó en 30 colectas de ajonjolí y seis variables cuantitativas evaluadas, relacionadas a los componentes de rendimiento en ajonjolí, midiendo la distancia euclidiana entre las poblaciones. Los resultados obtenidos del AC se presentan en la Figura 1 y en el Cuadro 11.

En la Figura 1, al realizar el corte de gráfica a una distancia euclidiana de 2.63 se formaron nueve grupos, de los cuales tres grupos se constituyeron con una sola colecta (G3, G4 y G6) resaltando que la colecta tres perteneciente al G4, fue la que mayor R.S.P. obtuvo de las 29 colectas restantes; el G1 es el que abarcó mayor cantidad de colectas, al respecto Crossa *et al.* (1994), indican que el punto de corte del dendograma se basa sobre la utilidad de los grupos formados.

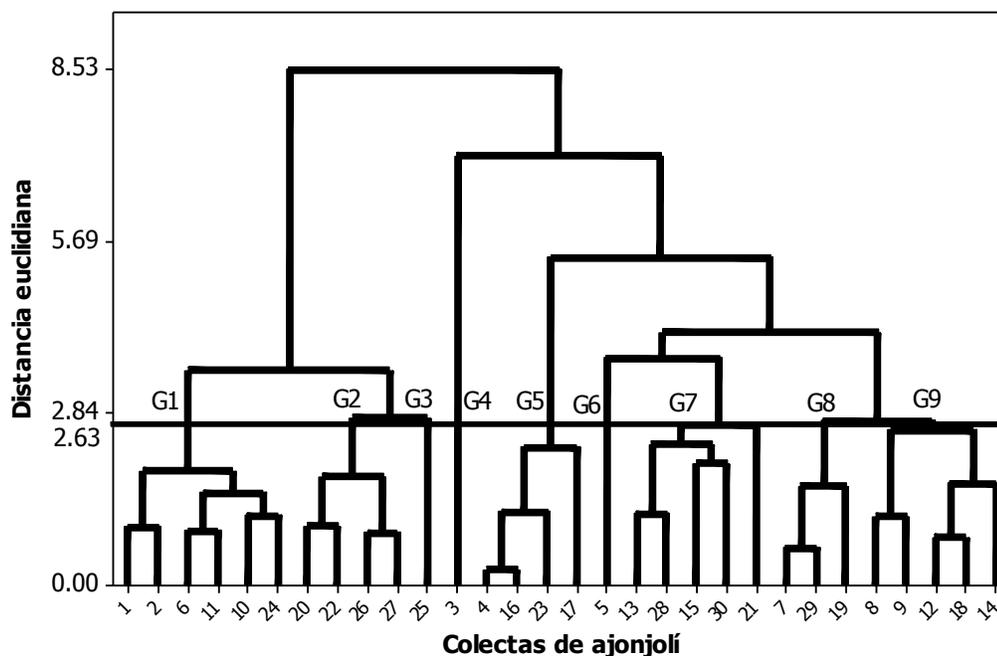


Figura 1. Dendograma para la clasificación de 30 colectas de ajonjolí, basado en seis caracteres agronómicos y componentes del rendimiento.

En los nueve grupos formados en el AC (Cuadro 11), se observa una gran variación en los caracteres analizados, esto se le puede atribuir a que la semilla utilizada era de una colecta de variedades distintas.

Cuadro 11. Valor promedio del comportamiento de 30 colectas de ajonjolí, evaluando seis variables de rendimiento agronómico.

GRUPO	A.P. m	C.P. no	L.C. cm	P.C. G	S.C. no	R.S.P. g
G4	0.90	312.00	2.70	0.297	97.00	92.664
G6	0.71	156.00	3.00	0.282	107.00	43.992
G5	1.09	108.75	3.08	0.335	106.25	36.447
G8	1.07	114.67	2.53	0.250	95.00	28.772
G9	0.86	95.00	2.60	0.299	94.60	28.308
G7	0.94	95.20	2.92	0.230	88.80	21.514
G2	0.92	96.50	2.58	0.191	65.25	18.271
G1	0.74	43.67	2.75	0.253	82.83	11.065
G3	0.67	39.00	2.70	0.163	53.00	6.357
Media	0.88	117.12	2.76	0.256	88.27	31.872

AP=Altura de planta; CP=Cápsulas por planta; LC=Longitud de cápsula; PC=Peso de cápsula; SC=Semillas por cápsula; RSP=Rendimiento de semilla por planta.

Con respecto a los grupos obtenidos se observa que el G1 comprenden las colectas 20, 22, 26 y 27 que se caracterizan por tener menor longitud de cápsula y peso de cápsula, por lo tanto, mostraron un bajo rendimiento de semillas por planta que varió de 15.466 a 21.721 g. Por otra parte, Montoya *et al.* (2019) mencionan que una alternativa para incrementar significativamente los valores de las variables de crecimiento sería con la aplicación de altas dosis de nitrógeno en el cultivo de ajonjolí.

El G2 se compone de las colectas 20, 22, 26 y 27 que su rendimiento fue superior al G1, comparando estos dos grupos el G2 presentó mayor altura de planta y obtuvo el doble de cápsulas por planta consecuencia de un tallo más largo.

De los nueve grupos el G3 formado por la colecta 25, ocupa el último lugar en rendimiento atribuyéndosele a su baja altura de planta y a factores bióticos como daño por granizo que se presentaron durante su etapa fenológica del cultivo.

El G4 lo conforma la colecta 3 la cual obtuvo el más alto rendimiento de semilla por planta (92.664 g) y de cápsulas por planta (312). Moreno (2006) menciona, como resultado de sus experimentos, que la variedad con mayor número de cápsulas por planta fue Mbarete, con una media de 322 cápsulas, Por otro lado, Langham (2008) señala que en el ajonjolí es común encontrar entre cuatro y seis cápsulas por nudo fértil, es decir, de dos a tres cápsulas por axila.

Todas las colectas que pertenecen al G5 tuvieron buen rendimiento, en este grupo se encuentran las colectas 4, 16, 17 y 23 de las cuales la colecta 17 presentó una mayor longitud de cápsula (3.30 cm). La colecta 23 obtuvo un mejor rendimiento de semilla por planta de todas las colectas que pertenecen a este grupo.

En el G6 la colecta 5, obtuvo un promedio de A.P. de 0.71 m., a su vez presentó un alto número de C.P. (156) asociándolo con una buena L.C (3.0 cm) y S.C. (107). Morris (2009) encontró una mayor influencia de los componentes de número y semillas por cápsula en la producción de ajonjolí, él reporta que encontró entre 80 y 131 semillas por cápsula en la evaluación de 192 accesiones de ajonjolí de 38 países.

El G7 conformado por las colectas 13, 15, 21, 28 y 30 presento un buen promedio de A.P., pero su R.S.P. fue bajo comparado con el G6, debido a una reducción en las variables C.P. (95.2) y S.C. (88.8).

Por último, en los grupos G8 (colectas 7, 19 y 29) y G9 (colectas 8, 9, 12, 14 y 18) la diferencia promedio en R.S.P. es de 0.462 g (Cuadro 11), la mayor diferencia entre estos grupos se debe que en el G8 la cantidad promedio de C.P. fue de 114.67 y en el G9 el promedio es de 95.00 cápsulas por planta.

4.2. Análisis de componentes principales

El análisis de componentes principales se realizó con la opción de matriz de correlaciones que se utiliza cuando las variables están en diferentes unidades. En el Cuadro 12, se presentan los tres primeros componentes principales, los dos primeros componentes presentaron valores propios mayores a la unidad, los cuales son más relevantes, debido a que aportan una mayor explicación a la variación total. Estos componentes explicaron el 72.5% de la variación total (proporción acumulada).

Teniendo en cuenta los vectores propios, en el primer componente principal, las variables con mayor importancia que tiene relación con el R.S.P. son la S.C. y C.P. Describiendo el segundo componente principal las variables con influencia para el rendimiento fueron C.P. y L.C. para el tercer componente influye la variable A.P.

Cuadro 12. Valores y vectores propios para los tres primeros componentes principales de seis variables agronómicas evaluadas en 30 colectas de ajonjolí.

	CP1	CP2	CP3
Valor propio	3.0284	1.3220	0.7904
Proporción (%)	50.5	22.0	13.2
Acumulada (%)	50.5	72.5	85.7

Variable	Vectores propios		
A.P.	0.320	0.049	-0.859*
C.P.	0.408	-0.587*	-0.016
L.C.	0.254	0.498*	-0.231
P.C.	0.452	0.337	0.372
S.C.	0.474*	0.326	0.234
R.S.P.	0.488*	-0.430	0.125

* Cargas del vector propio con mayor peso.

En lo que a componentes de rendimiento importantes en ajonjolí se refiere, se han encontrado diferentes resultados. Jarwar *et al.* (1998), evaluando una población de ajonjolí pakistaní, mediante análisis de correlación y regresión, concluyeron que la altura de planta y el número de días a la madurez son los componentes que mayor influencia tienen sobre el rendimiento, mientras que Delgado (1994), mediante análisis de correlación y de coeficientes de trayectoria, obtuvo que el número de cápsulas por planta y el peso de 1000 semillas (este último componente agronómico no fue evaluado en este experimento), fueron las características con mayor influencia directa sobre el rendimiento.

En base a los resultados obtenidos, al realizar el análisis de componentes principales en la Figura 2, por lo que se refiere a los dos primeros componentes explican el 72.5% de la varianza total de los datos, donde los vectores con mayor longitud corresponden a las variables con mayor importancia dentro de este experimento.

Asimismo, sobre los vectores propios, todas las variables de acuerdo al análisis de conglomerados tienen una relación positiva, pero las variables que destacan en cuanto a importancia en el primer componente principal son R.S.P. y C.P., variables las cuales mostraron una correlación altamente significativa de $r=0.953^{**}$. En el segundo componente principal S.C. y P.C que se sitúan en el lado superior de la gráfica y están relacionadas positivamente ($r=0.831^{**}$) confirmando su importancia y relación (Cuadro 13).

Delgado y Yermanos (1975), indicaron que las correlaciones positivas y significativas más fuertes con el rendimiento las tienen el número de cápsulas por planta y el peso de 1000 semillas. De acuerdo con Balzarini *et al.*, (2006) mencionan que los vectores con ángulos agudos indican correlaciones positivas, ángulos obtusos corresponden a correlaciones negativas y ángulos rectos, indican que no hay correlación entre las variables.

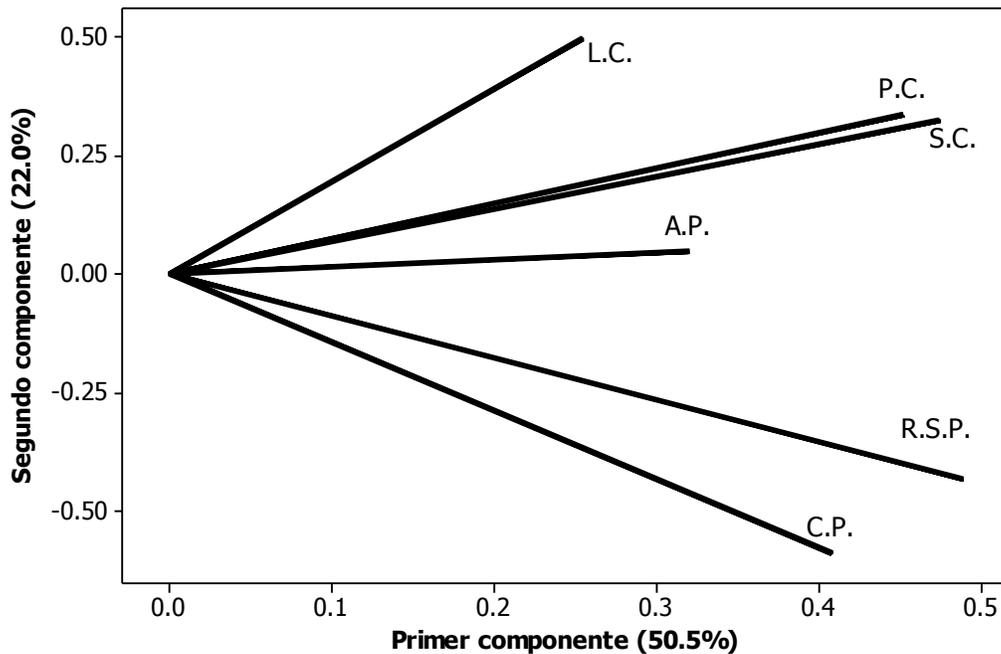


Figura 2. Distribución de seis variables cuantitativas y su relación de los vectores con el rendimiento sobre los dos primeros componentes.

4.3. Análisis de correlaciones

En el primer componente de lado inferior derecho en la Figura 3, nos encontramos a la colecta 3, que en base a los datos obtenidos en campo y de acuerdo a lo analizado por el paquete estadístico, fue la que destaca de las 29 colectas restantes, resaltando que la variable C.P. está relacionada con el R.S.P., esta última obtiene un valor de $r=0.953^{**}$ siendo altamente significativa. Otra de las correlaciones positivas que hubo son las variables evaluadas de S.C., P.C. y C.P. siendo P.C. altamente significativo (Cuadro 13). Al respecto, Moreno (2006) encontró correlación positiva para la variedad Mbarete, entre número de cápsulas por planta y número de ramas por planta. Sin embargo, Gabriaguez *et al.* (2013), pudo demostrar correlación positiva y significativa entre altura de planta y la longitud efectiva de ramas con cápsulas. Ésta última, se correlacionó con el número de cápsulas por planta. El número de semillas por cápsula con el número de cápsulas por planta. Así mismo, la

correlación también fue positiva y altamente significativa entre el rendimiento y sus componentes; número de cápsulas por planta y número de semillas por cápsula. Solanki y Gupta (2001), evaluando 52 genotipos procedentes de ocho países, obtienen una correlación positiva y significativa de altura de planta, cápsulas por planta y peso de 1000 semillas con el rendimiento; sin embargo, la correlación entre rendimiento y número de ramas por planta no fue significativa.

Cuadro 13. Valores de correlación cuantitativa de las seis variables consideradas en el análisis de componente principales.

Variable	A.P.	C.P.	L.C.	P.C.	S.C.
C.P.	0.304				
L.C.	0.225	0.056			
P.C.	0.291	0.235	0.353		
S.C.	0.378*	0.302	0.395*	0.831**	
R.S.P.	0.322	0.953**	0.152	0.499**	0.494**

*Significativo al 0.05 de probabilidad; **Altamente significativo al 0.01 de probabilidad.

AP=Altura de planta; CP=Cápsulas por planta; LC=Longitud de cápsula; PC=Peso de cápsula; SC=Semillas por cápsula; RSP=Rendimiento de semilla por planta.

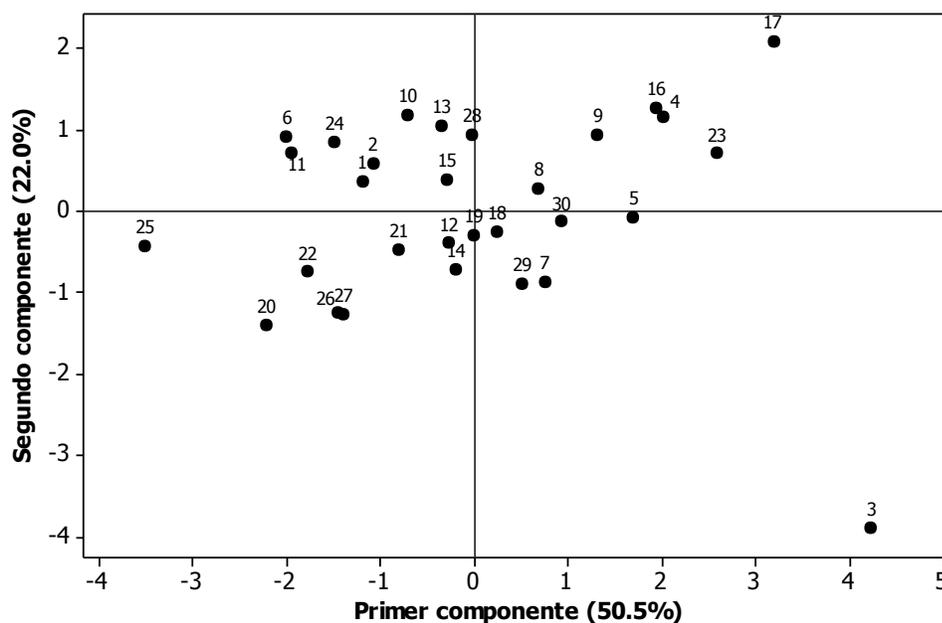


Figura 3. Distribución de las 30 colectas de ajonjolí, en base a los dos primeros componentes.

De acuerdo a la Figura 3, la colecta 17 perteneciente al G5 es la que presenta un mejor comportamiento en P.C. y L.C. Las colectas 16, 4 y 23 pertenecientes al mismo grupo son las que mejor se comportaron de manera conjunta. La colecta 3 del G4 obtuvo el más alto valor de C.P. (312), lo cual representó un comportamiento atípico del resto de las 29 colectas, debido a que durante su desarrollo vegetativo fue favorecido por una menor competencia de nutrientes y agua. Explicando los resultados que coinciden con los reportados por Ganesh y Sakila (1999), al evaluar 88 híbridos de ajonjolí provenientes de padres de diferentes orígenes geográficos, obtuvieron una correlación significativa del rendimiento con los componentes altura de planta y número de cápsulas por planta. Según, Kathiseran y Gnanamurthy (2000), al realizar estudios de correlación en dos cultivares de ajonjolí, concluyeron que existía una correlación positiva y significativa, entre el rendimiento, altura de planta y el número de cápsulas.

En este experimento se evaluaron seis caracteres agronómicos, pero con una mayor cantidad de variables se pueden obtener resultados más precisos sobre la diversidad de material genético y así poder tener un genotipo de mejor calidad.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación, para la evaluación del comportamiento agronómico y componentes de rendimiento en 30 colectas de ajonjolí evaluadas en la región sureste de Coahuila, destaca la colecta 3, con una buena capacidad de adaptación al ambiente evaluado y un mayor potencial de rendimiento de semilla, la cual pertenece al G4. Asimismo, de acuerdo a las variables evaluadas se recomiendan las colectas 4, 16, 17 y 23, pertenecientes al G5, resaltando que dentro de este mismo grupo sobresale la colecta 17.

Las colectas del G4 (3) y del G5 (17), se recomiendan para continuar en próximas generaciones de selección para evaluar su potencial productivo y rendimiento de semilla.

VI. LITERATURA CITADA

- Arévalo Molina, E. V., Romero Alfaro, E. C., Valladarez Zamora, H. I., & Lazo Cerón, O. A. (2018). Guía Técnica del Ajonjolí *Sesamum indicum* p. 2. El Salvador: Facultad Multidisciplinaria Paracentral. Recuperado de <https://es.scribd.com/document/369530668/Guia-Tecnica-Del-Ajonjoli>
- Avila M, J.M. (1999). Cultivo del ajonjolí *Sesamum indicum* L. Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, portuguesa. Venezuela. Recuperado desde: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=VE2007400037>
- Balzarini, M., Bruno, C., Córdoba, M., & Teich, I. (2015). Herramientas en el análisis estadístico multivariado. Córdoba, Argentina.
- Balzarini, M., A. Arroyo, C. Bruno y J. Di Rienzo. (2006). Análisis de datos de marcadores con Info-Gen. XXXV Congreso Argentino de Genética, San Luis. Argentina.
- Bastilla Palomino, L. C., & Lascarro Laguna, G. (2004). Identificación de los usos y aplicaciones del ajonjolí como producto de potencial exportador. Monografía nivel licenciatura. Institución Universitaria Tecnológica de Bolivia.
- Castellanos, E., Edwarson, W., Rozo, C., & Romero, A. (1990). PRODAR: Programa de Desarrollo de la Agroindustria Rural de América Latina y el Caribe: conceptos y alcances [Informes]. In 1. Taller Seminario Nacional Microempresa Rural de Alimentos (MERA) 12-13 Jun 1990Cauca (Colombia) (No. E21 E26if). CIID, Bogotá (Colombia).
- Crossa, J., S. Taba, S.A. Eberhart, and P. Bretting. (1994). Practical considerations for maintaining germplasm in maize. *Theor Appl Genet.* 89: 89-95.

- Cuba, P. E. (2010). Frutales exóticos en Cuba. IX: Pedaliaceae. *Revista CitriFrut*, 27(1). Recuperado desde: http://www.actaf.co.cu/revistas/revista_citrifruta/Citrus%201%202010/RCA9_27_1_%202010.pdf
- Dario, R. M. (1993). (*Sesamum indicum* L.), their technology and problems in the region southwest Tierra Caliente, Michoacan State].[Spanish]. *Revista de Geografía Agrícola*.
- Delgado, M. (1994). Correlaciones y coeficientes de trayectoria en ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) *Bioagro* 6: 18-23
- Delgado, M; Yermanos, DM. (1975). Yield components of sesame under different plant population densities. *Economic Botanic* 29 (1): 69-78.
- Dossa, K., Diouf, D. y Cissé, N. (2016). La investigación de todo el genoma de los genes Hsf en sésamo revela su expansión por duplicación segmentaria y su papel activo en la respuesta al estrés por sequía. *Frente. Plant Sci.* 7: 1522. doi: 10.3389 / fpls.2016.01522
- Dossa k., Diuf D., Wang L., Wei X., Zhang Y., Yu J., Ali M., Niang M., Fonceka D., Yehouessi L., Liao B., Zhang X., Cisse N. (2017). The emerging oilseed crop *Sesamum indicum* enters the “omic” era. *Frontier in Plant Science*: doi: 10.3389 / fpls.2017.01154
- EcuRed. (2011). Ajonjolí. Ecuador. Disponible en: <https://www.ecured.cu/Ajonjol%C3%AD>” (Consultado: marzo, 2021)
- EFSA, European Food Safety Authority. (2010) Opinion on the safety of “Chia seeds (*Salvia hispanica* L.) and ground whole Chia seeds” as a food ingredient. *EFSA J.*

- FIRCO. (2017). Ajonjolí, oleaginosa como Cultivo Alternativo. Fideicomiso de Riesgo Compartido. Ciudad de México. Recuperado de: <https://www.gob.mx/firco/es/articulos/ajonjoli-oleaginosa-como-cultivo-alternativo?idiom=es>
- Gabriaguez, C. L. Z., de Cristaldo, R. M. O., & Espínola, D. D. G. (2013). Rendimiento del cultivo de sésamo (*Sesamum indicum* L.), variedad Mbarete, en diferentes épocas de siembra y poblaciones de plantas. *Investigación Agraria*, 13(2), 67-74.
- Ganesh S., y M. Sakila. 1999. Association analysis of single plant yield and its yield contributing characters in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Sesame and Safflower Newsletter* 14:15-18.
- Hodgkin, T., Brown, AHD, Hintum, TJLV y Morales, EAV (1995). Colecciones básicas de recursos fitogenéticos. Londres: una publicación conjunta con el Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI) y la publicación Sayce.
- INIFAP. (2015). Agenda técnica agrícola Sinaloa. (2ª Ed., pp: 17-28). Ciudad de México. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación
- INIFAP. (2018). Almacenamiento de semillas de ajonjolí. Prensa. Ciudad de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Recuperado de: <https://www.gob.mx/inifap/prensa/almacenamiento-de-semilla-de-ajonjoli>
- Jaramillo V, J. (1999). El cultivo del ajonjolí. Producción y utilización (1.ª ed., p. 22). El Espinal (Tolima) Colombia: Tecnimpresos. El espinal (Tolima) Colombia.
- Johnson, E.D. (2000). Métodos Multivariados Aplicados al Análisis de Datos. Internacional Thompson Editores S.A de C. V. New York, U.S.A. Pp. 3 - 4.

- Jarwar, A., A. Hameed y M. Lashari. (1998). Genetic analysis of some quantitative characters in sesame (*Sesamum indicum* L.). *Sesame and Safflower Newsletter* 13: 43-4
- Kathiseran G. y P. Gnanamurthy. (2000). Studies on seed yield-contributing characters in sesame. *Sesame and Safflower Newsletter* 15:29-32.
- Langham, D. R. (2008). Growth and development of sesame. San Antonio, EE. UU.: American Sesame Growers Association
- León, J. (2000). Botánica de los cultivos tropicales (84.^a ed., pp. 346–348). Costa Rica: Agroamerica, 2000. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books>
- Long, E. (2021). Principales países productores de semilla de Sésamo en el mundo. es.ripleybelieves.com (consultado: junio, 2021)
- Montero, F., H. Coraspe y J. Salas. (2005). Botánica y fisiología de la papa. In: Producción de semilla de papa en Venezuela. 1era Ed. Instituto Nacional de Investigaciones Agrícolas (INIA). Serie Manuales de Cultivo INIA N° 5. Mérida, Venezuela. 31-51 pp.
- Montoya, B. J.L., Héctor, A. E. F., García, T. A y Téllez, F. O. (2019). Growth and yield of sesame (*Sesamum indicum* L.) under the action of two viroles. *Revista de las agrociencias*. Pp 6. <https://www.researchgate.net/publication/338655722>
- Moreno, P. (2006). Adaptación de cuatro variedades de sésamo (*Sesamum indicum* L.) en el Distrito de San Roque González de Santa Cruz, Departamento de Paraguari. Tesis Ing. Agr. San Lorenzo, PY: CIA, FCA, UNA. 40 p.
- Moreiras O., Carbajal A., Cabrera L. y Cuadrado C. (2013). Tablas de Composición de Alimentos. Editorial Pirámide. 16va Edición. España.

- Morris, J. B. (2009). Characterization of sesame (*Sesamum indicum* L.) germplasm regenerated in Georgia, USA. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 56(7), 925-936.
- Mussi, C., Nakayama, H., & de Cristaldo, R. O. (2016). Variabilidad fenotípica en poblaciones m1 de sésamo (*sesamum indicum* L.) irradiado con rayos gamma. *Cultivos Tropicales*, 37, 74–80. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3749.3362>
- Park, J., Suresh, S., Raveendar, S., Baek, H., Kim, C., Lee, S. y Col. (2015). Desarrollo y evaluación de colección de núcleos utilizando descriptores de rasgos cualitativos y cuantitativos en germoplasma de sésamo (*Sesamum indicum* L.). *Korean J. Crop Sci.* 60, 75–84.
- Ramprasad, E., Senthilvel, S., Jatothu, J. L., Yamini, K. N., & Dangi, K. S. (2019). Analysis of genetic diversity in sesame (*Sesamum indicum* L.) advanced breeding lines and varieties collected from major breeding centers in India. *Electronic Journal of Plant Breeding*, 10(3), 1269–1274. <https://doi.org/10.5958/0975-928X.2019.00162.5>
- Ríos Angulo, M. Á. (1978). Ensayo de rendimiento de ocho variedades de ajonjolí *Sesamum indicum* en la región de Hermosillo (Tesis de pregrado). Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora. Recuperado de: <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/unison/3283>
- Robles Sánchez R. (1991). Producción de oleaginosas y textiles. Primera edición. Editorial Limusa S.A de C.V. México D.F. 170-176 p.

Robles Sánchez, R. (2002). Producción de Oleaginosas y Textiles (3.^a ed., pp. 25–91). Ciudad de México, México: Editorial Limusa. Recuperado de <https://books.google.com.mx/books>

SIAP. (2018). Avance estadístico de la producción agrícola. Disponible en: <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>

SIAP. (2019). Expectativas agroalimentarias 2019. Pp:10. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/458242/Expectativas_Abril_2019_compressed.pdf

SNICS. (2021). Catálogo Nacional de Variedades Vegetales. No. 16. Pp:2. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/547394/Catalogo_CNVV_WEB-2021.pdf

Solanki, Z. y D. Gupta. (2001). Variability and genetic divergence studies in sesame (*Sesamum indicum* L.). Sesame and Safflower Newsletter 16:28-31.

Suárez Segura, J. de J. (2013). Guía para el manejo integrado del cultivo del ajonjolí. Red de productores de ajonjolí de la Región Caribe Colombiana. (p.12). Bogotá, Colombia: Corporación PBA. Recuperado de <http://www.corporacionpba.org/>

Tejada Rico, M. A. (2018). *Estudio sobre grano de ajonjolí (Sesamum indicum sp.) y su procesamiento en la actualidad*. Monografía nivel licenciatura. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD) Escuela de Ciencias Básicas Tecnología e Ingeniería. Girardot, Colombia. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/>

Vaca, M., & Vásquez, G. (2001). El cultivo del ajonjolí. Manual de manejo. Escuela agrícola Panamericana “El Zamorano”. Disponible en: https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2550/1/210904_0325%20ajonjoli.pdf

Wei, X., Liu, K., Zhang, Y., Feng, Q., Wang, L., Zhao, Y., et al. (2015). Descubrimiento genético para la producción de aceite y calidad en sésamo. *Nat. Comun.* 6, 8609. doi: 10.1038 / ncomms9609