

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONOMICAS



Evaluación de cinco dosis de un fertilizante químico y una dosis de fertilizante orgánico en el desarrollo y rendimiento del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), San Luis Talpa, La Paz, El Salvador.

Por:

Nelson Ricardo Chile Flores

Ciudad Universitaria, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL



Evaluación de cinco dosis de un fertilizante químico y una dosis de fertilizante orgánico en el desarrollo y rendimiento del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), San Luis Talpa, La Paz, El Salvador.

Por:

Nelson Ricardo Chile Flores

Requisito para optar al título de:

Ingeniero Agrónomo

Ciudad Universitaria, marzo de 2022

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

LIC. M.SC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE CIENCIAS AGRONÓMICAS

DECANO:

DR. FRANCISCO LARA ASCENCIO

SECRETARIO:

ING.AGR. BALMORE MARTÍNEZ SIERRA

JEFE DEL DEPARTAMENTO DE DESARROLLO RURAL

ING. Y LIC. EDGAR MARROQUÍN MENA

DOCENTES DIRECTORES

ING. M. SC. EFRAÍN ANTONIO RODRÍGUEZ URRUTIA

ING. MARVIN ORLANDO MOLINA ESCALANTE

LIC. M. SC. FREDDY ALEXANDER CARRANZA ESTRADA

ING. OSCAR ALONSO RODRÍGUEZ GRACIAS

COORDINADORA GENERAL DE PROCESOS DE GRADUACION

ING. ANA JUANA ELIZABETH VALDES DE SÁNCHEZ

RESUMEN

La investigación se realizó de julio 2020 a marzo 2021 en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luis Talpa, departamento de La Paz, El Salvador, a una altura de 50 metros sobre el nivel del mar.

El objetivo fue evaluar el efecto de cinco dosis de un fertilizante químico y una de fertilizante orgánico en el desarrollo y rendimiento del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.).

El ensayo fue establecido en un área de 1,152.48 m², en la cual se desarrollaron actividades para preparar el terreno, entre ellos, un paso de arado y dos pasos de rastra y, la construcción de camas de siembra de 1 m de ancho, 54 m de largo y 0.40 m de altura. La siembra de la semilla de ajonjolí de la variedad “Estación UES” se hizo manualmente y por postura, teniendo un distanciamiento de 0.30 m entre postura y 1.20 m entre cama; y, el raleo se efectuó ocho días después de la siembra.

Los tratamientos evaluados fueron el testigo o tratamiento 0: no se aplicó nada; tratamiento 1: 56 kg/28 m² (20,000 kg/hectárea) de estiércol de ganado bovino; tratamiento 2: 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha) de fórmula 15-15-15; tratamiento 3: 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha) de fórmula 15-15-15; tratamiento 4: 0.84 kg/28 m² (300 kg/ha) de fórmula 15-15-15; tratamiento 5: 1.26 kg/28 m² (450 kg/ha) de fórmula 15-15-15; y el tratamiento 6: 1.40 kg/28 m² (500 kg/ha) de fórmula 15-15-15. Todos los tratamientos se aplicaron en dos momentos: el 50% se aplicó a los 10 días después de la siembra y a los 30 días después de la siembra se aplicó el otro 50%.

La toma de datos en campo se realizó cada 15 días. El tratamiento 3 se obtuvo el mayor rendimiento de la semilla de ajonjolí con un promedio de 4.09 kg/28 m² y el mayor ingreso económico neto con \$430.84 dólares por hectarea; el mayor contenido de proteína cruda se obtuvo con el tratamiento 2 con 24.90%; y el mayor contenido de extracto etéreo se obtuvo con el tratamiento 4 con 47.31%.

Palabras Clave: Ajonjolí, cultivo, *Sesamum indicum* L., proteína, extracto etéreo, semillas, número de cápsulas, fertilizante orgánico.

ABSTRACT

The research was carried out from July 2020 to March 2021 at the Experimental and Practice Station of the Faculty of Agronomic Sciences of the University of El Salvador, located in the Tecualuya canton, municipality of San Luis Talpa, department of La Paz, El Salvador, at a height of 50 meters above sea level.

The objective was to evaluate the effect of five doses of a chemical fertilizer and one of organic fertilizer on the development and yield of the sesame (*Sesamum indicum* L.) crop.

The trial was established in an area of 1,152.48 m², the activities that were carried out to prepare the land were a plowing step, two harrowing steps and the construction of seed beds of 1 m wide, 54 m long and 0.40 m Tall. The sesame seed of the “Estación UES” variety was sown manually, by position, with a distance of 0.30 m between position and 1.20 m between beds; thinning was carried out eight days after sowing.

The treatments that were evaluated were the control or treatment 0: nothing was applied; treatment 1: 56 kg/28 m² (20,000 kg / hectare) of cattle manure; treatment 2: 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha) of formula 15-15-15; treatment 3: 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha) of formula 15-15-15; treatment 4: 0.84 kg/28 m² (300 kg/ha) of formula 15-15-15; treatment 5: 1.26 kg/28 m² (450 kg/ha) of formula 15-15-15; and treatment 6: 1.40 kg/28 m² (500 kg / ha) of formula 15-15-15, which were applied in two moments: 50% was applied 10 days after sowing and 30 days after sowing was applied the other 50%.

Data collection in the field was carried out every 15 days. With treatment 3 the highest yield of sesame seed was obtained with an average of 4.09 kg/28 m² and the highest net economic income with \$ 430.84 dollars; the highest crude protein content was obtained with treatment 2 with 24.90%; and the highest content of ether extract was obtained with treatment 4 with 47.31%.

Key words: Sesame, crop, *Sesamum indicum* L., protein, ethereal extract, seeds, number of capsules, organic fertilizer.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por haberme brindado la sabiduría y las fuerzas necesarias para haber llegado hasta esta etapa de mi vida.

A MIS PADRES Nelly Esperanza Flores de Chile y Nelson Fidel Chile Obando, por todo el apoyo incondicional que me siguen brindando y por ese regalo enorme que es el estudio.

A MI HERMANO Ronald Alexander Chile Flores, por todos los consejos, apoyo y enseñanzas que me sigue brindando.

A MI tía Carmen Luisa Quintanilla Flores, por todo el apoyo incondicional que me ha brindado.

A MIS ASESORES Ing. M. Sc. Efraín Antonio Rodríguez Urrutia, Ing. Marvin Orlando Molina Escalante, Lic. M. Sc. Freddy Alexander Carranza Estrada, Ing. M. Sc. Fidel Ángel Parada Berríos, Ing. Oscar Alonso Rodríguez Gracias, Ing. M. Sc. Humberto Ruiz, por su apoyo incondicional durante mi proyecto de investigación y su amistad.

Al tío Mario (Ing. M. Sc. Mario Antonio Orellana Núñez), por su amistad y por todos los consejos que me han servido y siguen sirviendo en mi vida.

Al Dr. Miguel Ángel Hernández Martínez, por su ayuda, apoyo y más que eso por confiar en que si podía llegar hasta el final de la carrera.

Al Ing. Pérez Asencio por la amistad y apoyo

Al ing. Alirio Sandoval por todo el apoyo y consejos que me brindo a lo largo de la carrera.

A MIS COMPAÑEROS Y AMIGOS Jorge Escobar, Juan Vargas, Ricardo Cano, Elvis Abrego, Geovanny Castillo, Ever Martínez, Saúl Urbina, Héctor Inestroza, German Steven, Rolando Colorado, Gerardo Pineda, Mario Días, Jonathan Franco, Daniel Hernández, CHAKAMIAU, LOLO, Riky, Moi, Marvin Meza, Toño, Tin, ÑAÑ0, Gordo Rodrigo, Tuby, Kevin Martínez, Lenin, Willi, Al Capitan, Adan Virgilio, Chumbito, Chapin, Rodrigo Nuñez, Doctora

Francis, Chiti, Ivan, Jairo Duran, Fabricio Inestroza, Funes, Charly y a todos los VAGOS de las gradas por su apoyo y compañía a lo largo del camino.

A LOS DOCENTES que me instruyeron y compartieron sus conocimientos todos estos años en la carrera.

A los trabajadores de la Estación Experimental y de Prácticas, por su apoyo en las actividades de manejo del cultivo.

A BANDESAL, por haberme apoyado a lo largo del proyecto de investigación.

A JICA, por su incondicional apoyo a fomentar la investigación científica y por permitir que muchos jóvenes estudiantes sigan generando ciencia para la Universidad de El Salvador.

Nelson Ricardo Chile Flores

DEDICATORIA

A DIOS, por cuidarme y darme siempre fuerzas para continuar.

A MI HERMANO Ronald Alexander Chile Flores, porque es un pilar fundamental en mi vida.

A MIS PADRES, Nelly Esperanza Flores de Chile y Nelson Fidel Chile Obando, por ser fundamentales en mi vida y apoyarme para completar mis estudios universitarios.

A MI por no haberme dado por vencido a pesar de todo.

Nelson Ricardo Chile Flores

ÍNDICE GENERAL

	Página
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
AGRADECIMIENTOS	vi
DEDICATORIA.....	viii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	3
2.2. Desarrollo rural	3
2.3. Cultivo de ajonjolí.....	4
2.3.1. Usos del ajonjolí	5
2.3.2. Botánica del cultivo	5
2.3.3. Descripción morfológica de la planta.....	6
2.3.4. Fenología o ciclo vegetativo	7
2.4. Requerimientos ambientales.....	7
2.5. Manejo agronómico	8
2.5.1. Siembra	8
2.5.2. Raleo.....	9
2.5.3. Fertilización del ajonjolí	9
2.5.3.1. Macronutrientes	10
2.5.3.2. Nutrientes secundarios	11
2.5.3.3. Micronutrientes	11
2.5.3.4. Fertilizantes químicos	11
2.5.3.5. Fertilizantes orgánicos	13
2.5.3.6. Estiércol de bovino.....	13
2.5.4. Plagas del follaje del ajonjolí	14
2.5.5. Cosecha	15
2.5.6. Almacenamiento de la semilla de ajonjolí.....	15
3. OBJETIVOS	16
3.1. Objetivo General.....	16
3.2. Objetivos específicos	16
4. MATERIALES Y MÉTODOS	17
4.1. Ubicación de la investigación.....	17
4.2. Metodología de campo.....	17
4.2.1. Recolección de muestra de suelo	17
4.2.2. Recolección de muestra de estiércol de ganado vacuno	18
4.2.3. Preparación del terreno, delimitación de la parcela y siembra	18
4.2.4. Aplicación de los fertilizantes	20
4.2.5. Actividades culturales.....	21
4.2.6. Toma de datos	21
4.2.7. Cosecha	22
4.2.8. Muestra de granos para análisis bromatológico	24
4.3. Metodología de laboratorio	25
4.3.1. Análisis de suelo	25
4.3.1.1. Extracción de minerales del suelo	25
4.3.1.2. Análisis de fósforo por el método de espectrofotometría visible	25

4.3.1.3. Análisis de calcio y magnesio en suelos por el método de espectrofotometría de absorción atómica	26
4.3.1.4. Análisis de potasio en suelo por el método de espectrofotometría de absorción atómica	26
4.3.1.5. Determinación de nitrógeno total en el suelo	26
4.3.1.6. Determinación de materia orgánica en suelos (Chapman 1991) ...	27
4.3.1.7. Determinación de pH y conductividad eléctrica en el suelo	28
4.3.1.8. Determinación de aluminio intercambiable por el método del cloruro de potasio.	28
4.3.2. Metodología para el análisis de la semilla de ajonjolí (Análisis bromatológico proximal)	29
4.3.2.1. Determinación de humedad (materia seca)	29
4.3.2.2. Determinación de cenizas.....	29
4.3.2.3. Determinación de nitrógeno proteico	30
4.3.2.4. Determinación de extracto etéreo (grasa).....	30
4.3.2.5. Determinación de fibra cruda.....	30
4.3.2.6. Determinación de carbohidratos solubles o extracto libre de nitrógeno	31
4.3.3. Metodología para análisis del estiércol de vaca	31
4.3.3.1. Determinación de ceniza	31
4.3.3.2. Solubilización de las cenizas	31
4.3.3.3. Análisis de fósforo por el método de espectrofotometría visible	32
4.3.3.4. Análisis de calcio y magnesio por el método de espectrofotometría de absorción atómica	32
4.3.3.5. Análisis de potasio por fometría de llama y determinación de minerales por el método de espectrofotometría de absorción atómica	32
4.4. Metodología estadística	33
4.4.1. Material experimental	33
4.4.2. Diseño estadístico	33
4.4.3. Tratamientos	33
4.4.4. Tamaño de muestra y distribución espacial de los tratamientos	34
4.4.5. Variables evaluadas	35
4.4.6. Análisis descriptivo e inferencial.....	36
4.4.7. Modelo estadístico	37
4.4.8. Análisis de varianza.....	37
4.4.9. Prueba estadística de Tukey (comparación múltiple de medias)	38
4.5. Metodología económica	38
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
5.1. Análisis estadístico	39
5.1.1. Altura de las plantas.....	39
5.1.2. Diámetro del tallo basal.....	40
5.1.3. Diámetro del tallo medio.....	41
5.1.4. Número de ramas por planta.....	42
5.1.5. Número de cápsulas por planta.....	43
5.1.6. Número de semillas por planta.....	45
5.1.7. Rendimiento en peso de 1,000 semillas.....	46
5.1.8. Rendimiento en quintales por hectárea	46

5.2.	Análisis bromatológico de las semillas de ajonjolí	48
5.2.1.	Contenido de humedad en las semillas de ajonjolí	48
5.2.2.	Contenido de materia seca en semillas de ajonjolí	48
5.2.3.	Contenido de ceniza.....	49
5.2.4.	Contenido de proteína cruda	50
5.2.5.	Contenido de extracto etéreo	50
5.2.6.	Contenido de fibra cruda	51
5.2.7.	Contenido de carbohidratos	52
5.2.8.	Contenido de calcio	52
5.2.9.	Contenido de magnesio.....	53
5.2.10.	Contenido de hierro.....	54
5.2.11.	Contenido de potasio	54
5.2.12.	Contenido de sodio	55
5.2.13.	Contenido de fósforo.....	56
5.2.14.	Análisis por Componentes Principales (ACP)	56
5.3.	Costo beneficios de los fertilizantes aplicados en el rendimiento del ajonjolí.....	57
6.	CONCLUSIONES.....	59
7.	RECOMENDACIONES.....	61
8.	BIBLIOGRAFIA.....	62
9.	ANEXOS.....	69

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Contenido nutricional del cultivo de ajonjolí.	5
Cuadro 2. Taxonomía del cultivo de ajonjolí.	6
Cuadro 3. Tratamientos que se evaluaron en la investigación.	34
Cuadro 4. Variables biológicas que se evaluaron.	36
Cuadro 5. Estructura del Análisis de Varianza (ANVA).	38
Cuadro 6. Presupuesto parcial y beneficios netos.	38
Cuadro 7. Correlación de Pearson entre altura de planta y diámetro del tallo basal.	41
Cuadro 8. Correlación de Pearson entre altura de planta y diámetro del tallo medio.	42
Cuadro 9. Correlación de Pearson entre el diámetro del tallo basal y el número de cápsulas por planta.	44
Cuadro 10. Correlación de Pearson entre el número de cápsulas por planta y el número de semillas por planta.	44
Cuadro 11. Correlación de Pearson entre el diámetro del tallo basal y el número de semillas por planta.	45
Cuadro 12. Correlación de Pearson entre rendimiento y el diámetro del tallo basal.	47
Cuadro 13. Correlación de Pearson entre el número de cápsulas por planta y el rendimiento.	47
Cuadro 14. Ingreso neto por manzana y por hectárea.	58

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Mapa de ubicación de la investigación.....	17
Figura 2. Recolección de la muestra de estiércol.....	18
Figura 3. Preparación del terreno y formación de camas.....	19
Figura 4. Delimitación del terreno, medición y estaquillado.....	19
Figura 5. Siembra de la semilla de ajonjolí.....	19
Figura 6. Aplicación del fertilizante químico fórmula 15-15-15 a cada planta.....	20
Figura 7. Preparación y aplicación del fertilizante orgánico (estiércol de bovino).....	20
Figura 8. Toma de datos en altura y diámetro de planta.....	21
Figura 9. Conteo de ramas, cápsulas y del número de semillas por cápsula.....	22
Figura 10. Toma de datos del rendimiento por tratamiento.....	22
Figura 11. Corte de las plantas de ajonjolí.....	23
Figura 12. Formación de manojos emparvados.....	24
Figura 13. Aporreo, recolección y secado de semillas por tratamiento.....	24
Figura 14. Muestras de granos para análisis bromatológico por tratamiento.....	25
Figura 15. Área útil de la parcela.....	34
Figura 16. Diseño de Bloques Completamente al Azar de la investigación.....	35
Figura 17. Altura de las plantas de ajonjolí.....	40
Figura 18. Diámetro del tallo basal de las plantas de ajonjolí.....	40
Figura 19. Diámetro del tallo medio de las plantas de ajonjolí.....	42
Figura 20. Número de ramas por planta en el cultivo de ajonjolí.....	43
Figura 21. Número de cápsulas por planta de ajonjolí.....	44
Figura 22. Número de semillas por planta de ajonjolí.....	45
Figura 23. Rendimiento promedio en peso de 1,000 semillas de ajonjolí.....	46
Figura 24. Rendimiento en el cultivo de ajonjolí.....	47
Figura 25. Contenido de humedad en las semillas de ajonjolí.....	48
Figura 26. Contenido de materia seca en semillas de ajonjolí.....	49
Figura 27. Contenido de cenizas en las semillas de ajonjolí.....	49
Figura 28. Contenido de proteína cruda en la semilla de ajonjolí.....	50
Figura 29. Contenido de extracto etéreo en la semilla de ajonjolí.....	51
Figura 30. Contenido de fibra cruda en la semilla de ajonjolí.....	51
Figura 31. Contenido de carbohidratos en la semilla de ajonjolí.....	52
Figura 32. Contenido de calcio en la semilla de ajonjolí.....	53
Figura 33. Contenido de magnesio en la semilla de ajonjolí.....	53
Figura 34. Contenido de hierro en la semilla de ajonjolí.....	54
Figura 35. Contenido de potasio en la semilla de ajonjolí.....	55
Figura 36. Contenido de sodio en la semilla de ajonjolí.....	55
Figura 37. Contenido de fósforo en la semilla de ajonjolí.....	56

ÍNDICE DE ANEXOS

	Página
Cuadro A-1. Resumen de análisis de varianzas para cada una de las variables evaluadas..	69
Cuadro A-2. Coeficientes de correlación de Pearson y nivel de significancia para las variables del ajonjolí.	69
Cuadro A-3. Medias de las variables en el cultivo de ajonjolí.	71
Cuadro A-4. Componentes que explican la varianza.....	72
Cuadro A-5. Componentes de las variables.	72
Figura A-1. Resultados de los análisis bromatológicos de la semilla de ajonjolí.....	73
Figura A-2. Resultados de los análisis de suelo y del estiércol de ganado bovino.	74
Cuadro A-6. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí sin aplicación de fertilizante.	75
Cuadro A-7. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante orgánico (estiércol de ganado bovino).	75
Cuadro A-8. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m ²	76
Cuadro A-9. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m ²	76
Cuadro A-10. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m ²	77
Cuadro A-11. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 1.26 kg/28 m ²	77
Cuadro A-12. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m ²	78

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo de ajonjolí o sésamo (*Sesamum indicum* L.) es originario de Etiopía (África), se expandió a India, China y Japón. Se caracteriza por ser una planta herbácea, sus hojas son verdes y las flores blancas o rosas, su tronco erguido produce cápsulas con numerosas semillas lisas, es un cultivo anual, el ciclo puede variar entre 90–130 días dependiendo de la variedad y las condiciones ecológicas, la producción promedio es entre 12- 14 quintales por manzana (779.22 a 909.09 kg/ha), se adapta desde cero hasta los 600 metros sobre el nivel del mar, soporta temperaturas que fluctúan entre 20° y 35° C, requiere precipitaciones pluviales entre 400 y 900 milímetros (mm) (Cervantes 2012).

Es un cultivo poco exigente de nutrientes, se desarrolla en una gran variedad de suelos, pero los más aptos son de texturas ligeras como franco, franco arenoso y franco arcilloso, su pH es de 5.5 a 7. Posee un alto valor nutricional siendo el aceite de mejor calidad dentro de los oleíferos (Cervantes 2012).

Cada una de las especies vegetales que se cultivan en el mundo, necesitan de una fertilización apropiada y óptima, considerando beneficios que vayan más allá de los rendimientos productivos o económicos, sino también ambientales, salud y calidad de vida de los productores y consumidores del campo y la ciudad. En razón de ello, es necesario generar alternativas técnicas que permitan el desarrollo sustentable y a bajo costo, para las personas que se dedican a la siembra del cultivo de ajonjolí en el área rural de El Salvador.

La fertilización es una de las actividades necesarias de cualquier cultivo, y para el caso del ajonjolí, esta determina la fuente para el desarrollo y la producción, ya sea en forma orgánica o química, siempre que vaya acorde a los requerimientos nutricionales del cultivo y a la cantidad de elementos disponibles en el suelo.

En el país no existen investigaciones recientes sobre fertilización en el cultivo del ajonjolí, en contraste con otros países que lo hacen y cuentan con estudios que abarcan una lista extensa de fuentes de fertilización orgánica y química.

El objetivo de esta investigación fue evaluar cinco dosis de fertilizantes en el desarrollo y producción del cultivo de ajonjolí, en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad

de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, bajo un Diseño estadístico de Bloques Completamente al Azar.

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

En la Cumbre para el Desarrollo Sostenible que se llevó a cabo en septiembre de 2015, todos los Estados miembros de las Naciones Unidas (ONU) aprobaron la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible, que incluye un grupo de 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible, los cuales buscan reducir la pobreza, erradicación de desigualdades e injusticias, y hacer frente al cambio climático. Los Objetivos de Desarrollo Sostenible también conocidos como Objetivos Mundiales, se basan en los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), ocho objetivos contra la pobreza que el mundo se comprometió a alcanzar en el 2015 (NU 2015).

Con la realización de esta investigación se espera contribuir al cumplimiento del siguiente Objetivo de Desarrollo Sostenible: Objetivo 2, Hambre cero, el cual tiene la finalidad de buscar terminar con todas las formas de hambre y desnutrición de aquí al 2030 y velar por el acceso de todas las personas, en especial los niños y niñas, y los más vulnerables, a una alimentación suficiente y nutritiva durante todo el año (FAO y NU 2015).

2.2. Desarrollo rural

El desarrollo rural busca facilitar los medios para que el ser humano sea un ente productivo que aporte a su comunidad y se haga responsable de su propio futuro, tomando en cuenta las limitaciones con que se enfrenta y la dinámica de los cambios mundiales que presentan desafíos y oportunidades. Es de esta manera que se impulsan alternativas por medio de políticas que contribuyan para un desarrollo sostenible orientado a la agricultura y al aprovechamiento de la riqueza natural de las comunidades (Quintanilla 2013).

Al seguir el concepto de desarrollo rural con énfasis en lo productivo, aparece la "transferencia de tecnología" como un nuevo elemento en el proceso. En este contexto, se plantea como el mayor objetivo de los programas de desarrollo rural brindar valor a los recursos de los campesinos por medio de inyecciones de capital en forma de tecnología, recurso que se considera como el de mayor escasez entre los pobres rurales, buscando aumentar la productividad de los campesinos. Así, esta forma de hacer desarrollo en el sector rural se muestra cercana a la visión economicista del desarrollo, y el concepto de transferencia de tecnología sería un componente muy importante de ambos. Pero en ellos

poco se tuvo en cuenta que el éxito de la transferencia dependía más que de la tecnología, de factores sociales y culturales (Chiriboga M. 1999 citado por Pachón 2007)

2.3. Cultivo de ajonjolí

El ajonjolí o sésamo (*Sesamum indicum* L.) tuvo su origen en Etiopía (África) y como países de diversificación secundaria fueron India, Japón y China. Después del descubrimiento de América fue llevado a México, luego a países de Centro América con climas cálidos de zonas tropicales (FAO s. f.).

Los principales países productores de ajonjolí son: India (28%), China (16%), Myanmar y Sudan (14%), México (2%), Centroamérica (4%), otros (36%). La tendencia creciente del consumo de ajonjolí está influenciada por la diversificación de sus usos, que ha despertado un interés comercial e industrial especialmente en la rama alimenticia por su alto contenido de aceite y por su larga duración (Revista de Comercio Exterior s. f.).

En El Salvador, el área de siembra de ajonjolí para el año 2016-2017 fue de 1,199 manzanas (mz), equivalente a 839.3 hectáreas, con una producción promedio de 11.3 quintales por manzana (qq/mz) (732.88 kilogramos por hectárea) (MAG 2017).

El Salvador a nivel centroamericano ocupa el segundo lugar como productor de ajonjolí, localizándose las áreas de siembra en la zona baja y media en los departamentos de Ahuachapán, La Libertad, La Paz, San Vicente y Usulután. Estas plantas no presentan problemas serios de plagas y enfermedades, ya que lo que se exporta es la semilla seca o procesada. El ajonjolí es un producto con potencial, pues Estados Unidos presenta una demanda significativa por este grano (Navarrete 2008).

El ajonjolí posee un alto valor nutritivo y su aceite es de mejor calidad que del resto de oleaginosas (Revista de Comercio Exterior s. f.) (cuadro 1).

Cuadro 1. Contenido nutricional del cultivo de ajonjolí.

Compuesto	Cantidad (en 100 g)
Calorías	570 kcal
Agua	3 g
Proteína	17.81 g
Grasa	48 g
Cenizas	8 g
Carbohidratos	26.19 g
Fibra	9.3 g
Calcio	420 mg
Hierro	2.51 mg
Fósforo	762 mg
Vitamina C	0.0 mg

Fuente: Tomado de FAO (s. f.).

2.3.1. Usos del ajonjolí

La semilla es rica en grasa (52%) y proteína (22%). Produce uno de los aceites más refinados, rico en ácido graso insaturado, posee propiedad antiinflamatoria debido a la presencia del sesamol (Urtiaga 2007).

Según Ismaila y Usman, citados por Pérez y Salcedo (2018), el aceite de las semillas de ajonjolí representa entre el 50% y 60% de su peso.

El ajonjolí es una oleaginosa que provee más hierro que el huevo, es una fuente de lecitina (mayor que la soya), es de fácil digestión para el organismo humano, sabor agradable y, rico en potasio y sodio. Después de la extracción del aceite la parte residual (pasta) se puede usar para alimentación del ganado y aves de corral. Actualmente su uso se ha expandido por todo el mundo y se cultiva preferentemente en climas cálidos como India, China, Ecuador, Centroamérica y México (Revista de Comercio Exterior s. f.).

2.3.2. Botánica del cultivo

El ajonjolí es una planta oleaginosa, dicotiledónea, de la familia de las Pedaliáceas (cuadro 2), que se cultiva en zonas tropicales y subtropicales de varias partes del mundo. Crece en forma recta y puede llegar a tener hasta dos metros de altura. Es un cultivo transitorio y su periodo vegetativo oscila entre tres y cuatro meses (Corporación PBA 2013).

Cuadro 2. Taxonomía del cultivo de ajonjolí.

Clasificación taxonómica	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Lamiales
Familia	Pedaliaceae
Género	<i>Sesamun</i>
Especie	<i>indicum</i>
Nombre científico	<i>Sesamun indicum</i> L.
Nombre común	Ajonjolí o Sésamo

Fuente: Tomado de SINAVIMO (2013).

2.3.3. Descripción morfológica de la planta

El sistema radicular es bien desarrollado y fibroso. Las pocas raíces principales se ramifican profundamente hasta alcanzar alrededor de 80 a 120 centímetros (cm) de profundidad. Las raicillas crecen 50 cm en radio a la planta, lo cual permite una eficiente absorción de agua (Bastilla y Lascarro 2003).

El tallo es erecto, cilíndrico y cuadrangular, 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 ésta tiende a desaparecer dejando un hueco al centro.

Las hojas en la parte inferior del tallo son decusadas, es decir, que en un par salen opuestas en los surcos y en el siguiente 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 formas lobuladas en la base y lanceoladas en la parte apical (Cervantes 2012).

La 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 súpero con dos celdas, planta autógama. Las yemas florales aparecen solitarias o en grupos en las axilas de las hojas.

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. A la madurez se abre por las suturas longitudinales de la cápsula, lo que

determina que la parte superior se divide en dos. La semilla es aplanada, pequeña, blanca, gris o negra en su exterior, mide de 2 a 4 mm de longitud y 1 o 2 mm de ancho (Cervantes 2012).

2.3.4. Fenología o ciclo vegetativo

Una fase fenológica es el período durante el cual aparecen, se transforman o desaparecen los órganos de las plantas. También puede entenderse como el tiempo de una manifestación biológica. Una etapa fenológica está delimitada por dos fases fenológicas sucesivas.

Dentro de ciertas etapas se presentan períodos críticos, que son el intervalo breve durante el cual la planta presenta la máxima sensibilidad a determinado evento meteorológico, de manera que las oscilaciones en los valores de este evento se reflejan en el rendimiento del cultivo; estos periodos críticos se presentan generalmente poco antes o después de las fases, durante 2 o 3 semanas. El comienzo y fin de las fases y etapas sirven como medio para juzgar la rapidez del desarrollo de las plantas. Se definirán cuatro etapas fenológicas principales: 1) crecimiento vegetativo; 2) floración; 3) fructificación; 4) cosecha, esto dependiendo del cultivar, el clima, las condiciones del suelo (Yzarra y López 2011).

2.4. Requerimientos ambientales

El ajonjolí prefiere suelos de textura franca o franco arenosa, que tengan buen drenaje interno y externo. Se adapta bien a suelos con pH entre 5.5 a 7.5. Es una planta fotoperiódica, alcanza su óptimo desarrollo en períodos de días largos. Los vientos fuertes la perjudican porque le ocasionan acame (Sabrían 2004).

El ajonjolí se adapta de 0 a 600 metros sobre el nivel del mar. Tiene cierta resistencia a la sequía, la alta humedad relativa es desfavorable a la planta, prefiere una atmósfera seca para lograr mejor desarrollo y especialmente durante la época de maduración de las cápsulas. La temperatura mínima para cultivar ajonjolí es 20° C y la máxima 38° C (MAG 1991).

El ajonjolí es cultivado hoy en día en todos los climas más cálidos de las zonas cercanas al Ecuador. Las principales zonas de cultivo están localizadas en la India, China, Ecuador, Honduras, Nicaragua y México, y es cultivado también abundantemente en Egipto. En El

Salvador el ajonjolí puede desarrollarse en la zona costera hasta alturas de 600 metros, a elevaciones mayores aumenta el ciclo vegetativo de la planta (Vaca Moran *et al.* 2001).

2.5. Manejo agronómico

2.5.1. Siembra

El buen éxito de la siembra depende en su mayor parte de la calidad de la semilla que se elija. Deben tomarse de las plantas que presenten mayor robustez y cápsulas vigorosas, bien formadas y sanas (Martínez y Pita s.f.).

El ajonjolí debe sembrarse en un terreno bien preparado debido a que la semilla es pequeña y de lento crecimiento durante las primeras semanas. Se recomienda sembrar del 10 al 30 de septiembre de cada año. Para la determinación de la época de siembra se recomienda tomar en cuenta el ciclo vegetativo de la variedad y el régimen de lluvias en la zona, planificando que la maduración (cosecha) coincida con el inicio de la estación seca (Sabrián 2004).

En El Salvador existen dos sistemas de siembra: monocultivo y al relevo después de la dobla del maíz, en este último caso se limpia y se le puede hacer una aplicación de un herbicida quemante en dosis de un litro por manzana; la siembra se hace manual por medio de chuzo, se rompe el suelo y se coloca la semilla cada 15 a 20 cm en medio de las calles del maíz. Al final se dejan 2 o 3 plantas por postura (Chávez y Pérez 2018).

En monocultivo la siembra puede ser mecanizada o semi-mecanizada. En este sistema se recomiendan distanciamientos de siembra de 50 a 60 cm para variedades de un sólo eje, y de 70 a 80 cm para variedades de tipo ramificado. Debido al tamaño de la semilla, la siembra se debe hacer bastante superficial, no más de 2 cm de profundidad. Para minimizar el arrastre de la semilla por lluvias fuertes, es recomendable realizar la siembra en camas o camellones, y dejar 8 a 12 plantas por metro lineal (Chávez y Pérez 2018).

La distancia de siembra depende de los criterios: estructura de la variedad a sembrar, si es ramificada las distancias de siembra recomendada es de 60 cm entre surco y 10 cm entre planta, logrando una población de 116,000 planta por manzana. En las variedades no ramificadas la distancia es de 45 cm entre surco y de 6 a 8 cm entre planta,

incrementándose en un 20% la población por manzana. La cantidad de semilla a utilizar es de 5 a 6 libras por manzana por lo menos con un 80% de germinación. Una de las ventajas de siembra de la semilla de ajonjolí a chorro continuo es que se garantiza la densidad poblacional requerida por manzana, ya que en la práctica del raleo se puede dejar a la distancia que uno desee según la variedad (Chávez y Pérez 2018).

2.5.2. Raleo

Para obtener una óptima densidad de siembra, en el caso de variedades ramificadas se ralea a distancias entre 6-10 cm; en todo caso menos de 15 cm entre plantas, dejando 10 plantas por metro lineal. En el caso de variedades no ramificadas se ralea dejando de 12-15 plantas por metro lineal (Vaca *et al.* 2001).

2.5.3. Fertilización del ajonjolí

Los nutrientes que necesitan las plantas se toman del aire y del suelo. Si el suministro de nutrientes en el suelo es amplio, los cultivos probablemente crecerán mejor y producirán mayores rendimientos. Sin embargo, si aún uno solo de los nutrientes necesarios es escaso, el crecimiento de las plantas es limitado y los rendimientos de los cultivos son reducidos. En consecuencia, a fin de obtener altos rendimientos, los fertilizantes son necesarios para proveer a los cultivos con los nutrientes del suelo que están faltando. Con los fertilizantes, los rendimientos de los cultivos pueden a menudo duplicarse o más aún triplicarse (FAO 1965).

Bolívar (1999) evaluó dos materiales genéticos de ajonjolí y los resultados que obtuvo indican que los suelos con materia orgánica menor al 0.5% responden a la fertilización nitrogenada; menciona también que el ajonjolí es un extractor de nutrientes del suelo, ya que aproximadamente el 70% de nitrógeno, fósforo y potasio son retirados en la cosecha, donde menos del 10% que es absorbido retorna al suelo con los residuos.

Sánchez (1991) en México sugiere que el nitrógeno puede ser aplicado en 2 momentos, un 25% a 50% al momento de la siembra y lo restante en las primeras labores, esto para darle un mayor aprovechamiento al nitrógeno. El fósforo y el potasio recomiendan hacerlo en una sola aplicación ya que son minerales que duran más tiempo en el suelo; además, menciona que la forma de aplicación puede ser foliar, pero es más aprovechable por la planta cuando se incorpora al suelo.

Ramakrishna (1990) destaca 4 factores importantes como bases de la fertilización: dosis de aplicación, tipo de fertilizante, época o momento de la aplicación, sistema de aplicación, ya que descubrió que el fósforo y el nitrógeno son las fuentes principales de nutrientes para el cultivo de ajonjolí y que sus dosis dependen de la cantidad de nutrientes disponibles en el terreno, de acuerdo a esto se debe tomar en consideración cual fuente de fertilizante utilizar.

Según el MAG (1991), en algunas regiones de El Salvador como en Sonsonate, Ahuachapán, Usulután, San Miguel y La Unión, puede aplicarse de 10 a 60 kg/ha de nitrógeno y de 30 a 40 kg/ha de fósforo; sin embargo, cuando el suelo tiene muy bajo contenido de nitrógeno o de materia orgánica, una aplicación adicional de 25 kg/ha de fertilizante nitrogenado es recomendable.

Según Quieroga *et. al* (2018), los requerimientos nutricionales del cultivo de ajonjolí son los siguientes: nitrógeno 50 kg, fósforo 30 kg y potasio 20 kg.

2.5.3.1. Macronutrientes

El nitrógeno (N) es el motor del crecimiento de la planta. Suple de 1% a 4% del extracto seco de la planta. Es absorbido del suelo bajo forma de nitrato (NO₃⁻) o de amonio (NH₄⁺). En la planta se combina con componentes producidos por el metabolismo de carbohidratos para formar aminoácidos y proteínas, siendo el constituyente esencial de las proteínas, está involucrado en todos los procesos principales de desarrollo de las plantas y en la elaboración del rendimiento. Un buen suministro de nitrógeno para la planta es importante también por la absorción de los otros nutrientes (FAO 1965).

El fósforo (P) suple de 0,1% a 0,4% del extracto seco de la planta, juega un papel importante en la transferencia de energía. Por eso es esencial para la fotosíntesis y otros procesos químico-fisiológicos. Es indispensable para la diferenciación de las células y el desarrollo de los tejidos, que forman los puntos de crecimiento de la planta. El fósforo es deficiente en la mayoría de los suelos naturales o agrícolas o donde la fijación limita su disponibilidad (FAO 1965).

El Potasio (K) suple del 1% al 4% del extracto seco de la planta, tiene muchas funciones: activa más de 60 enzimas (substancias químicas que regulan la vida), por ello juega un

papel vital en la síntesis de carbohidratos y de proteínas. El potasio mejora el régimen hídrico de la planta y aumenta su tolerancia a la sequía, heladas y salinidad (FAO 1965).

2.5.3.2. Nutrientes secundarios

El magnesio (Mg) es el constituyente central de la clorofila, el pigmento verde de las hojas que funciona como un aceptador de la energía provista por el sol; por ello, del 15% al 20% del magnesio contenido en la planta se encuentra en las partes verdes. El magnesio se incluye también en las reacciones enzimáticas relacionadas a la transferencia de energía de la planta (FAO 1965).

El azufre (S) es un constituyente esencial de las proteínas y también está involucrado en la formación de la clorofila. En la mayoría de las plantas suple del 0,2% al 0,3% (0,05% a 0,5%) del extracto seco (FAO 1965).

El calcio (Ca) es esencial para el crecimiento de las raíces y como un constituyente del tejido celular de las membranas. Aunque la mayoría de los suelos contienen suficiente disponibilidad de calcio para las plantas, la deficiencia puede darse en los suelos tropicales muy pobres en calcio. Sin embargo, el objetivo de la aplicación de calcio es usualmente el del encalado, es decir, reducir la acidez del suelo (FAO 1965).

2.5.3.3. Micronutrientes

También conocidos como micro elementos, son el hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), molibdeno (Mo), cloro (Cl) y boro (B). Ellos son parte de sustancias claves en el crecimiento de la planta, siendo comparables con las vitaminas en la nutrición humana. Son absorbidos en cantidades minúsculas, su rango de provisión óptima es muy pequeño. Su disponibilidad en las plantas depende principalmente de la reacción del suelo (FAO 1965).

2.5.3.4. Fertilizantes químicos

La sobre explotación del suelo va degradando la fertilidad del suelo, por eso es que se hace más común el uso de fertilizantes sintéticos o químicos, los cuales proveen los nutrientes que los cultivos necesitan. Con estos fertilizantes se pueden producir más alimentos y cultivos comerciales, y de mejor calidad, a la vez, se puede mejorar la baja fertilidad de los suelos que han sido sobre explotados (Lincoln 2006).

La fórmula 15-15-15 es un fertilizante diseñado para su empleo en jardines, invernáculos, cultivos y huertas en granel. Su alto contenido de nutrientes acelera el crecimiento de las plantas y arbustos, proporcionándoles los elementos fertilizantes que estos necesitan para su normal desarrollo (ISUSA s.f.).

La fórmula 15-15-15 es de apariencia sólida granulada de color beige, los gránulos de tamaño aproximado de 1 mm como máximo 3%; de 1-6 mm mínimo del 95%; menores de 6 mm 100%. Es inoloro o débil olor, su pH va de 5,5 a 6,0, su densidad relativa es de 1,62 – 1,81 a 20° C, soluble en agua mayor que 100 g/L a 20° C, la temperatura a la que se descompone va de más de 155 °C a 1,013 hPa (VECOL s.f.).

Según el MAG (1991), generalmente toda la aplicación del fertilizante se hace a la siembra. En algunas regiones puede aplicarse de 10 a 60 kg/ha de nitrógeno y de 30 a 40 kg/ha de fósforo. Sin embargo, cuando el suelo tiene muy bajo contenido de nitrógeno o de materia orgánica, una aplicación adicional de 25 kg/ha de fertilizante nitrogenado es recomendable.

Calero (1972) recomienda la variedad “Portoviejo 1” para aumentar el rendimiento en el cultivo de ajonjolí y que al aplicar entre 4 a 6 quintales por hectárea (400 a 600 kg/ha) de urea inmediatamente después del raleo, se puede obtener un alto rendimiento y contenido de aceite en el cultivo de ajonjolí, y si el suelo presenta deficiencias en fósforo y potasio es necesario agregar dichos elementos. Esto se debe basar en un análisis de laboratorio.

Según Ruíz (1998), lo ideal es realizar un análisis físico-químico del suelo, de lo contrario se recomienda de manera general aplicar 1,5- 2 qq/mz (97.28– 129.71 kg/ha) de la fórmula 18-40-0 ó 15-20-0 al momento de la siembra y 2 qq (129.71 kg) de urea 46% a los 35 días después de haber emergido o al inicio de la floración. La primera fertilización puede ser dividida en dos tiempos, una al momento de la siembra y la otra a los 20- 25 días después de la siembra al momento del raleo.

De manera general se recomiendan 2 quintales (200 libras) de la fórmula 18-46-0 o de la fórmula 15-20-0 al momento de la siembra y 3 quintales (300 libras) de urea en dos momentos, 1.5 quintales a los 15- 20 días después de la siembra o bien después del raleo y antes del aporco, y 1.5 quintales a los 30- 35 días después de la siembra antes del inicio de la floración (CENIDA 2009).

2.5.3.5. Fertilizantes orgánicos

El abono orgánico es el material resultante de la descomposición natural de la materia orgánica por acción de los microorganismos presentes en el medio, los cuales digieren los materiales, transformándolos en otros benéficos que aportan nutrimentos al suelo y, por tanto, a las plantas que crecen en él. Es un proceso controlado y acelerado de descomposición de los residuos, que puede ser aeróbico o anaeróbico, dando lugar a un producto estable de alto valor como mejorador del suelo.

Los fertilizantes orgánicos tienen altos contenidos de nitrógeno mineral y cantidades significativas de otros elementos nutritivos para las plantas. Dependiendo del nivel aplicado, originan un aumento en los contenidos de materia orgánica del suelo, en la capacidad de retención de humedad y en el pH, también aumentan el potasio disponible, el calcio y el magnesio. En cuanto a las propiedades físicas, mejoran la infiltración de agua, la estructura del suelo y la conductividad hidráulica, disminuyen la densidad aparente y la tasa de evaporación, así como promueven un mejor estado fitosanitario de las plantas (Ramos 2014).

2.5.3.6. Estiércol de bovino

El estiércol de bovino aporta cantidades de materia orgánica que al ser incorporadas al suelo agrícola tienen un gran impacto y reflejan su efecto sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas. Las principales funciones de la materia orgánica son:

- Amortigua el impacto de las gotas de lluvia al caer sobre el suelo, favoreciendo la infiltración lenta del agua; además, reduce el escurrimiento y la erosión.
- Al descomponerse produce sustancias y aglutinantes microbianos que ayudan a estabilizar la estructura deseable del suelo.
- Amortigua y regula la temperatura del suelo.
- Reduce la pérdida de agua por evaporación.
- Aporta al mineralizarse diferentes nutrientes necesarios para la nutrición de las plantas.
- Suelos con contenidos altos de materia orgánica cuentan con mayor capacidad de almacenamiento de agua aprovechable.
- Es amortiguador de los cambios químicos rápidos que normalmente se presentan cuando se aplican fertilizantes o caliza.

- Libera ácidos orgánicos que ayudan a disolver minerales y los pone a disposición de la planta.
- Constituye un almacén de cationes intercambiables y aprovechables (potasio, calcio, magnesio); asimismo, el humus temporalmente retiene el amonio en forma aprovechable e intercambiable.
- Tiene la especial función de hacer que el fósforo se aproveche más fácilmente en suelos ácidos, ya que se liberan durante la descomposición de citratos, oxalatos, tartratos y lactatos; los cuales se combinan más fácilmente con el hierro soluble y fosfato de aluminio, y por ende habrá mayor disponibilidad de fósforo.
- Los ácidos liberados durante la descomposición de la materia orgánica ayudan a reducir la alcalinidad del suelo.
- Es una fuente de energía para el desarrollo de los microorganismos del suelo (Longoria 2000).

El estiércol de ganado vacuno aporta 3.4 kg de nitrógeno, 1.3 kg de fósforo (P_2O_5) y 3.5 kg de potasio (K_2O) por cada 100 kg de estiércol (Botero 2005).

El factor limitante para la obtención de altos rendimientos de ajonjolí es la disponibilidad, especialmente de nitrógeno y fósforo. Por lo tanto, la deficiencia de estos elementos en el suelo se puede compensar por el uso de fertilizantes orgánicos y con la aplicación de roca fosfórica o harina de hueso, antes de preparar el terreno. Para la recuperación de la materia orgánica en suelos pobres se recomienda utilizar 20 toneladas de estiércol de ganado por hectárea (20,000 kg/ha) (Queiroga *et. al.* 2018).

2.5.4. Plagas del follaje del ajonjolí

La langosta y el gusano telarañero son las plagas que mayores daños han causado al ajonjolí. Los productores le llaman langosta a toda clase de chapulines defoliadores, de tamaño pequeño en relación a la verdadera langosta (*Schistocerca paranensis*), que llega a medir de 8 a 10 cm de longitud. Durante las primeras fases de desarrollo del ajonjolí (de 4 a 5 hojas) es cuando los chapulines ocasionan sus mayores daños, que de no controlarse con oportunidad habrá necesidad de resembrar (Romero y Rivera s. f.).

Las diabroticas (*Diabrotica balteata*, *Diabrotica virídula*, *Diabrotica biannularis*) ocasionan daños desde la siembra hasta la maduración de la vaina del cultivo. Otro insecto que ataca

son los de la especie *Spodoptera sp.*, también conocido como gusano cogollero (Guerrero *et. al* 1998).

Control cultural de las plagas del follaje:

- Buena preparación del suelo, ya que la mayoría de ellos empupan en el mismo.
- Limpieza de rondas y malezas hospederas, como mozotes y bledos.
- Buena fertilidad para dar capacidad física a la planta para soportar daño foliar, la fertilización puede hacerse sembrando frijol abono en primera e incorporarlo en postrera.
- Densidad de siembra adecuada para compensar el daño por pérdida. De acuerdo a la variedad seleccionada se debe sembrar la cantidad de semillas recomendadas por manzana (Guerrero *et. al* 1998).

Según la experiencia de los productores de ajonjolí las plagas del suelo no generan un impacto considerable para al cultivo. Según ellos, el ataque no es tan fuerte y se puede convivir con ellas. Las plagas más mencionadas son la gallina ciega, gusano alambre, gusano cortador, el coralillo, chinche de la semilla, zompopo y la hormiga. Por lo general, estas plagas son controladas por medio de actividades como control de malezas, preparación del suelo y trampas (Guerrero *et. al* 1998).

2.5.5. Cosecha

La cosecha debe realizarse cuando las cápsulas comienzan a volverse amarillentas, antes de que aparezca la dehiscencia. A la madurez del cultivo el follaje se torna amarillento y se cae, las cápsulas adquieren un tono café oscuro. El corte de las plantas se hace a ras del suelo y se ponen a secar en haces o parvas en forma vertical (forma de ranchos) para evitar la caída del grano al secarse y abrirse las cápsulas. Más o menos 5 días después de la cosecha se hace el primer aporreo, el cual consiste en sacudir cada haz o parva sobre una pieza de plástico o lona. Seis días después se hace el siguiente aporreo, y con éste se concluye la cosecha (Vaca *et al.* 2001).

2.5.6. Almacenamiento de la semilla de ajonjolí

Las semillas de ajonjolí tienen un sabor y aroma a nueces. Debido a su alto contenido de grasa (aceite) las semillas pueden llegar a dañarse (ponerse rancias) rápidamente. Para almacenarlo, es preferible hacerlo bajo refrigeración o en un lugar bastante fresco, almacenado en seco herméticamente. De esta manera pueden almacenarse hasta 3 meses,

en caso de refrigerarlo la semilla dura hasta 6 meses, en caso de congelarlo hasta un año. En cambio, el aceite de ajonjolí es mucho más estable y podrá mantenerse fresco por años (Vaca *et al.* 2001).

Tradicionalmente la semilla se almacena en sacos, ya que el periodo de almacenamiento no es muy largo debido a que es comercializado inmediatamente después de la cosecha. En caso de almacenarlo por un tiempo moderado se recomienda dejarlo en los sacos a 30 cm sobre el suelo. En caso de almacenarlo para futuras siembras, es aconsejable hacerlo en botellas (recipientes) de plástico de dos litros (Vaca *et al.* 2001).

Al almacenar tener mucho cuidado con la palomilla (*Sitotoga sp.*), éste se reconoce al ver una tela de araña rodeando o cerca del recipiente. La palomilla almacena sus huevos dentro de las semillas, al eclosionar estas se alimentan de las semillas. Al mismo tiempo la semilla es susceptible a otras plagas como hongos. Para prevenir este tipo de problemas se recomienda sellar herméticamente el recipiente y lo más lleno posible para prevenir la infestación o desarrollo de estas plagas (Vaca *et al.* 2001).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Evaluar el efecto de cinco dosis de un fertilizante químico y una dosis de un fertilizante orgánico en el desarrollo y rendimiento del cultivo de ajonjolí en San Luis Talpa, La Paz.

3.2. Objetivos específicos

- Demostrar estadísticamente cuál de las dosis del fertilizante químico y orgánico producen el mejor desarrollo y rendimiento en el ajonjolí
- Determinar las principales características bromatológicas de las semillas de ajonjolí en las que inciden las diferentes dosis de los fertilizantes.
- Comparar los beneficios económicos de las fuentes de fertilizantes en el cultivo de ajonjolí.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación de la investigación

La investigación se llevó a cabo en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador, ubicada en el cantón Tecualuya, municipio de San Luís Talpa, departamento de La Paz, El Salvador (figura 1), a una elevación de 50 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas 13°28'3" Latitud Norte y 89°05'8" Longitud Oeste.

Según Aguirre (2009), el pH del suelo es 6.2, el contenido de materia orgánica es del 2% y el tipo de suelos son aluviales con características franco arenoso.



Figura 1. Mapa de ubicación de la investigación.

4.2. Metodología de campo

4.2.1. Recolección de muestra de suelo

La investigación se inició tomando una muestra de suelo del terreno donde se estableció el cultivo, específicamente en la Panga 1 del lote La Bomba, el cual se hizo de la siguiente manera: recorrido en zig zag y se abrieron 10 agujeros en forma de "V" en todo el terreno, cada agujero tuvo una profundidad de 20 cm; la tierra extraída de cada hoyo se colocó a un lado del mismo y en uno de los lados del agujero, se hizo un corte de una pulgada de ancho aproximadamente, desde arriba hasta abajo del agujero, la tierra que cayó de este corte se colocó en un recipiente de plástico limpio, lo mismo se hizo en los 9 hoyos restantes. Al final,

se mezcló toda la tierra y se colocó en una bolsa plástica limpia (aproximadamente una libra de suelo) y fue enviada al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Cada muestra fue rotulada con la siguiente información: nombre del propietario del terreno, nombre de la finca, ubicación, área del terreno, cultivo a sembrar, última fertilización y aplicación de cal realizada.

Las herramientas y materiales que se utilizaron para la recolección de las muestras de suelo fueron: azadón, cubeta plástica, cinta métrica, marcador, bolsa de 2 lb y viñetas. Los elementos a analizar en el laboratorio fueron: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, aluminio intercambiable, pH, materia orgánica y textura del suelo.

4.2.2. Recolección de muestra de estiércol de ganado vacuno

En uno de los dormitorios del ganado vacuno de la Estación Experimental y de Prácticas se acumuló estiércol, del cual se extrajeron al azar 3 submuestras hasta formar una muestra de 1 libra (figura 2), la cual fue identificada con una viñeta. Para la recolección de las submuestras se utilizaron: pala, cubeta plástica, bolsas plásticas, viñeta, marcador. Los análisis que se hicieron fueron: nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, sodio y pH.



Figura 2. Recolección de la muestra de estiércol.

4.2.3. Preparación del terreno, delimitación de la parcela y siembra

El 29 de septiembre de 2020 se empezó a preparar el terreno y se utilizó maquinaria agrícola, realizando las siguientes prácticas: un paso de arado para remover el suelo, dos pasos de rastra para mullir el suelo, un paso de la encamadora para la formación de las camas de siembra con un distanciamiento entre cama de 1 m (figura 3).



Figura 3. Preparación del terreno y formación de camas.

El 7 de octubre de 2020 se hizo la delimitación y el estaquillado del área del terreno para establecer el cultivo (figura 4). La siembra de la semilla de ajonjolí de la variedad “Estación UES” se realizó el día 13 de octubre de 2020 (figura 5).



Figura 4. Delimitación del terreno, medición y estaquillado.



Figura 5. Siembra de la semilla de ajonjolí.

4.2.4. Aplicación de los fertilizantes

Las dosis aplicadas de los fertilizantes utilizados, fórmula 15-15-15 y estiércol de ganado fueron pesadas en balanza analítica, disponible en la Planta de Procesamiento de Alimentos de la Estación Experimental y de Practicas de la Facultad de Ciencias Agronómicas. La dosis total de cada fertilizante en cada tratamiento se dividió en dos aplicaciones: el 50% se aplicó a los 10 días después de la siembra y el otro 50% se aplicó a los 30 días después de la siembra. Además, cada dosis se dividió en tres partes, a fin de que fuera más homogénea la aplicación, ya que cada tratamiento estaba distribuido en tres camas (figuras 6 y 7).



Figura 6. Aplicación del fertilizante químico fórmula 15-15-15 a cada planta.



Figura 7. Preparación y aplicación del fertilizante orgánico (estiércol de bovino).

4.2.5. Actividades culturales

Control de malezas. El primer control de malezas se realizó de forma manual una semana después de haber sembrado la semilla; en el segundo control de malezas se hizo con el herbicida Paracuat en dosis de 100 cc/ bomba de 17 litros de agua un mes después de haber germinado la semilla, y el tercer control de malezas se realizó con el mismo producto y dosis a los 2 meses después de haber germinado la semilla.

Control de insectos. Para el control de insectos masticadores y chupadores se utilizó el insecticida Connect en dosis de 25 cc/ bomba de 17 litros de agua, del cual se hicieron 3 aplicaciones a los 15, 30 y 45 días después de la siembra.

Control de hongos. Para prevenir el ataque de *Phytophthora spp* y *Fusarium spp* que causan el mal del talluelo se utilizó una mezcla de Oxidor y Prevalor en dosis de 50 ml cada uno por bomba de mochila de 17 litros de agua, y esta se aplicó cada 8 días durante un mes, luego de este periodo se aplicó cada 15 días y se finalizó cuando se presentó la floración en el cultivo.

4.2.6. Toma de datos

La primera toma de datos se realizó el 28 de octubre de 2020, 15 días después de la siembra y las siguientes tomas de datos se hicieron cada 15 días hasta el 17 de diciembre de 2020, para la toma de los datos se utilizaron los siguientes instrumentos: pie de rey, cinta métrica y cuaderno de campo, lapicero y balanza analítica (figura 8).



Figura 8. Toma de datos en altura y diámetro de planta.

La toma de datos del número de ramas y cápsulas por planta se realizó los días 6 y 7 de enero de 2021, haciendo un recuento en cada planta evaluada. El número de semillas por cápsula se hizo contabilizando el número de semillas en 25 cápsulas, se obtuvo un promedio y luego se multiplico por el número de cápsulas que presentaba cada planta (figura 9).



Figura 9. Conteo de ramas, cápsulas y del número de semillas por cápsula.

Los datos de rendimiento fueron tomados el día 29 de enero de 2021 en la Planta de Procesamiento de Alimentos de la Estación Experimental y de Prácticas, se utilizó una balanza analítica, libreta de campo y lapicero para anotar los datos (figura 10).



Figura 10. Toma de datos del rendimiento por tratamiento.

4.2.7. Cosecha

La cosecha se realizó el día 13 de enero de 2021, fecha en la cual las plantas presentaron los siguientes signos: tallo de color amarillo; hojas de color amarillo en el tercio inferior de la

planta; cápsulas inferiores y centrales de color café; y el inicio de la dehiscencia de los frutos. Solamente se cosecharon las plantas que fueron seleccionadas y evaluadas desde el inicio de la investigación. Al momento de la cosecha y para evitar confusiones, cada planta y los manojos de plantas se identificaron con un código que correspondía al tratamiento y al bloque (figura 11).



Figura 11. Corte de las plantas de ajonjolí.

La formación de manojos consistió en cortar las plantas y juntarlas en grupos pequeños para que en estos no se formen hongos. Luego se emparvaron dentro de sacos con la parte apical del tallo hacia arriba a fin de evitar que se abrieran las cápsulas y se perdiera semilla, etapa que duro aproximadamente de 4 a 5 días.

Asimismo, y durante ese periodo los rastrojos se pusieron a secar bajo sombra, se aporreo cada una de las parvas sobre un plástico para evitar perdida de la semilla, posteriormente, se recolecto y se limpió la semilla. El proceso finalizó cuando se puso a secar la semilla, el cual tuvo como objetivo reducir la humedad y alargar la vida cuando esta se almacena (figura 12 y 13).



Figura 12. Formación de manojos emparvados.



Figura 13. Aporreo, recolección y secado de semillas por tratamiento.

4.2.8. Muestra de granos para análisis bromatológico

Según Vaca *et. al* (2001), la limpieza de la semilla ayuda a seleccionar las de mejor calidad por medio de una zaranda fina. La muestra que se lleva al laboratorio debe ir en una bolsa de papel identificada con su respectiva viñeta y aproximadamente una libra del grano.

Las muestras de grano se llevaron al laboratorio de Química Agrícola de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. Cada muestra se formó con la mezcla de los granos de las 3 repeticiones que se evaluaron en los 3 bloques de los 7 tratamientos, en total fueron 7 muestras (figura 14).



Figura 14. Muestras de granos para análisis bromatológico por tratamiento.

4.3. Metodología de laboratorio

En el laboratorio se realizaron tres análisis: el de suelo antes de la siembra, estiércol de bovino y el bromatológico de la semilla de ajonjolí.

4.3.1. Análisis de suelo

4.3.1.1. Extracción de minerales del suelo

Procedimiento: En balanza semianalítica se pesó 20 gramos de suelo y estos se colocaron en un beaker de 250 ml, luego se agregó una pequeña porción de carbón Darco G60. Por medio de una bureta se añadió 100 ml de solución extractora de Carolina del Norte, posteriormente se agitó fuertemente durante cinco minutos; finalmente se filtró a través de papel filtro Whatman N° 1, recogiendo el filtrado en otro erlenmeyer limpio.

4.3.1.2. Análisis de fósforo por el método de espectrofotometría visible

Procedimiento: Del extracto obtenido con Carolina del Norte se pipeteo 5 ml del filtrado y se transfirió a un tubo de ensayo, adicionando 2 ml de solución de Molibdato-Vanadato. Homogenizar y se dejó en reposo 30 minutos. Para la curva de calibración se tomó 5 ml de cada estándar y se realizó igual que la muestra.

Preparar un blanco: se agregó en un tubo de ensayo 5 ml de la solución Carolina del Norte y 2 ml de solución de Molibdato-Vanadato, homogenizando y dejando reposar 30 minutos. Transcurrido el tiempo de reacción se colocó estas soluciones en el Espectrofotómetro Visible y se leyó. Condiciones de lectura: Longitud de onda 400 nm, Curva de calibración: 5–20 µg/ml (AOAC 1980).

4.3.1.3. Análisis de calcio y magnesio en suelos por el método de espectrofotometría de absorción atómica

Del extracto obtenido con Carolina del Norte se pipeteo 25 ml del filtrado y se transfirió a un balón volumétrico de 100 ml, adicionando 6 ml de solución de lantano. Llevándolo a volumen con agua destilada.

Preparar un blanco: en un balón volumétrico de 100 ml se adiciono 6 ml de solución de lantano, llevándolo a volumen con solución extractora de Carolina del Norte.

Condiciones de lectura

- Calcio: Longitud de onda: 422.7 nm, Curva de calibración: 0,3 – 6 µg/ml.
- Magnesio: Longitud de onda: 285.2 nm, Curva de calibración: 0.05 ~ 0.5 µg/ml (Shimadzu s. f.).

4.3.1.4. Análisis de potasio en suelo por el método de espectrofotometría de absorción atómica

Procedimiento: La muestra tratada se utilizó directamente, debido a la concentración del mineral en la muestra que fue pequeña. En caso hubiera sido mayor, se debieron realizar diluciones adecuadas de la muestra tratada.

Llevar un blanco de reactivos se hizo de la siguiente manera: la solución extractora de carolina del norte se lee directamente como blanco.

Condiciones de lectura

Potasio. Longitud de onda: 766.5 nm, Curva de calibración: 0,1 ~ 1 µg/ml (Shimadzu s. f.).

4.3.1.5. Determinación de nitrógeno total en el suelo

Procedimiento: Se pesó aproximadamente 0.5 g de muestra preparada y se colocó en un tubo tecator para micro Kjeldahl de 250 ml. Agregándole 6 ml de ácido sulfúrico concentrado y 3 g de la mezcla del catalizador. Se colocaron los tubos en el equipo de digestión Kjeldhal, retirando los tubos cuando la solución de color azul o verde se tornó transparente. Se dejó enfriar los tubos y se agregó 80 ml de agua destilada. Colocando el tubo en el equipo de destilación. Se agregó al tubo 60 ml de solución del hidróxido de sodio al 40% y se destilo. Se recibió el destilado en 25 ml de la solución de ácido bórico más los indicadores. Se tituló

el destilado obtenido con solución de ácido clorhídrico 0.1 N hasta que cambio de color (AOAC 1980).

4.3.1.6. Determinación de materia orgánica en suelos (Chapman 1991)

La materia orgánica en los suelos es una mezcla heterogénea de sustancias de origen vegetal, animal y microbiano, que influye en sus propiedades físicas y químicas, y por ello su determinación es de importancia primordial para la evaluación de la fertilidad.

Procedimiento: Oxidación de la materia orgánica

- Se pesó de 0.1 a 0.5 gramos de suelo seco y se tamizo a través de tamiz de 2 mm de diámetro y luego por tamiz de 0.5 mm.
- Se pesó la muestra a un erlenmeyer de 500 ml completamente seco, agregando por medio de una bureta o pipeta 10 ml de solución de dicromato de potasio de concentración 1 N, mezclando mediante un giro suave.
- Enseguida se añadió 20 ml de ácido sulfúrico concentrado y se siguió mezclando mediante giro suave durante 1 minuto, para asegurar el contacto íntimo del suelo con el ácido (con cuidado para evitar que el suelo quede adherido a las paredes de erlenmeyer fuera de contacto con el reactivo).
- Se dejó en reposo durante 20 a 30 minutos.
- Simultáneamente se realizó un ensayo en blanco (sin suelo de la misma forma).

Valoración por retroceso

- Se agregó 200 ml de agua destilada, 10 ml de ácido fosfórico al 85% (se utilizó para eliminar la interferencia del hierro) y 30 gotas de indicador difenilamina.
- Se valoró por retroceso con la solución de sulfato ferroso colocando en la bureta gota a gota y con agitación constante, hasta cambio de color del indicador. El color es verde oscuro debido a los iones cromo en un principio y se desplaza hacia un azul turbido a medida que avanza la valoración. En el punto final éste color cambio bruscamente a verde brillante. Se repite la determinación con menos suelo, rango de muestra 0.05 g a 0.2 g si en la valoración de la muestra se gasta más $K_2Cr_2O_7$ que en el testigo (SEMARNAT 2002).

4.3.1.7. Determinación de pH y conductividad eléctrica en el suelo

Existe una gran cantidad de procedimientos por los cuales se puede determinar la conductividad eléctrica y el pH en suelo, como son:

1. Medición en agua destilada utilizando la proporción suelo seco agua 1 a 5. Ésta suspensión se deja equilibrar y se mide después el pH en un potenciómetro.
2. Medición en KCl 1 N en proporción suelo seco solución 1 a 2.5.
3. Medición en CaCl_2 0.01 M en proporción suelo seco solución 1 a 2 (Chapman 1991).

En la investigación se utilizó un Conductímetro digital que permite la lectura de pH y la conductividad eléctrica simultáneamente con rapidez y precisión.

Procedimiento:

- En un beaker de 100 ml se pesó en balanza semianalítica 10 gramos de suelo secado al aire y tamizado a través de un tamiz N° 10.
- Se agregó con probeta 50 ml de agua destilada.
- Se agito durante 5 minutos con agitador eléctrico o 10 minutos si la agitación es manual.
- Se leyó inmediatamente en el pHmetro. Anotar la lectura.
- Se levantaron los electrodos de la muestra, se lavaron cuidadosamente con agua destilada. De este modo el instrumento estuvo listo para hacer inmediatamente la lectura de otra muestra

4.3.1.8. Determinación de aluminio intercambiable por el método del cloruro de potasio.

La metodología para determinación de la acidez intercambiable por el método de Barnhisel y Bertsch utiliza cloruro de potasio. Además de las bases calcio, magnesio, sodio y potasio también hay una cantidad de acidez que puede ser desplazada del complejo intercambiable del suelo. La cantidad de esta acidez está en función del pH y de la capacidad de intercambio catiónico del suelo. En la mayoría de los suelos esta acidez está compuesta por el H^+ , el Al^{3+} y los ácidos orgánicos.

Procedimiento:

- Se pesaron 5 g de suelo en un tubo de polietileno.
- Se adicionaron 50 ml de la solución de KCl 1 M.
- Tapando el tubo y poniendo en el agitador mecánico durante 30 minutos.

- Se destaparon los tubos y centrifugo durante 10 minutos a 2,500 rpm.
- Se filtró el sobrenadante en papel Whatman número 42 o su equivalente, recogiendo el filtrado en un vaso de precipitado de 100 ml.
- Tomando una alícuota de 40 ml mediante una pipeta volumétrica y colócalo en un matriz Erlenmeyer de 125 ml.
- Agregando cinco gotas de fenolftaleína al 0.5% y titulando con hidróxido de sodio 0.1 M valorado, hasta un punto final de rosa permanente.
- Se tituló un blanco (igual volumen de muestra de cloruro de potasio 1 M) de la misma forma.
- Después de registrar el gasto de NaOH anterior, se agregó 2 ml de fluoruro de potasio 1 M a la misma solución problema y se tituló ahora con HCl 0.1 M valorado hasta la desaparición del color rosa.
- Se esperó 30 minutos y se agregó HCl 0.1 M valorado adicional, hasta un punto final claro (SEMARNAT 2002).

4.3.2. Metodología para el análisis de la semilla de ajonjolí (Análisis bromatológico proximal)

El sistema proximal, también llamado Análisis Proximal de Wendee, es el análisis más utilizado en la caracterización nutricional de alimentos en los laboratorios agrícolas del mundo. Este análisis fracciona los alimentos en seis componentes, cada uno de ellos agrupa varios nutrientes que tienen propiedades comunes. Estos análisis son: humedad, cenizas, proteína cruda, grasa o extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno (carbohidratos).

4.3.2.1. Determinación de humedad (materia seca)

Se pesó aproximadamente 2 g de la muestra en una cápsula de aluminio previamente tarada, posteriormente se colocó en una estufa al vacío (100 mm de Hg) durante 5 horas a una temperatura de 105° C, luego se sacó la muestra de la estufa y se enfrió en desecador durante 30 minutos. Finalmente se pesó y registro el peso de la muestra después de secar.

4.3.2.2. Determinación de cenizas

Se pesó un crisol vacío, previamente incinerado, en una balanza analítica digital y anotando el peso. Pesando 2 gramos de muestra, a la que ya se le ha determinado la humedad. Se colocó el crisol en el horno de mufla y se mantuvo a temperatura de 550° C durante 2 horas.

Luego se retiró el crisol del horno de mufla, colocó en el desecador durante 30 minutos y se pesó.

4.3.2.3. Determinación de nitrógeno proteico

Se inició pesando aproximadamente 0.1 g de muestra y se colocó en un tubo tecator para micro kjeldahl de 250 ml, agregando 6 ml de ácido sulfúrico concentrado y 3 g de la mezcla de catalizador. Se colocó los tubos en el equipo de digestión Kjeldhal, se retiraron los tubos cuando la solución de color azul o verde se tornó transparente. Se dejó enfriar los tubos y agregó 80 ml de agua destilada. Colocar el tubo en el equipo de destilación, agregando al tubo 60 ml de solución de hidróxido de sodio al 40% y luego se destilo. Se recibió el destilado en 25 ml de la solución de ácido bórico más los indicadores. Luego se tituló el destilado obtenido con solución de ácido clorhídrico 0.1 N hasta cambio de color.

4.3.2.4. Determinación de extracto etéreo (grasa)

Se pesó en papel filtro aproximadamente 2 gramos de muestra a la que se le determinó la humedad y colocó en un dedal de extracción de grasa limpio y seco. Se colocó una porción de algodón sobre el papel filtro. Colocando el dedal con la muestra en el recipiente para muestras (corneta), y se fijó bajo el condensador del equipo de extracción.

Se lavó y seco un balón de fondo plano en estufa a 105° C por 2 horas, se enfrió y peso. Agregando 150 ml de éter al balón de fondo plano y colocó sobre el condensador. Se encendió el sistema de calentamiento y se dejó que se dé el reflujo del éter sobre la muestra durante un periodo de extracción de 8 horas. Se removiendo las muestras y se recuperó el éter. Se colocó los balones con grasa en una estufa a 100° C por 1 hora para evaporar el éter residual, luego se enfrió en el desecador a temperatura ambiente y pesarlos (se anotó el peso).

4.3.2.5. Determinación de fibra cruda

Se inició colocando la muestra desengrasada en un beaker de 600 ml que contenga 200 ml de ácido sulfúrico al 1.25%. Se colocó el beaker en el aparato de digestión, se dejó ebulir por 30 minutos. Se retiró el beaker del aparato de digestión al terminar los 30 minutos; se filtró a través de la tela especial y se recibió las aguas del lavado en un beaker limpio. Se comprobó la ausencia de ácido con indicador anaranjado de metilo. Al beaker original se le agregó 200 ml de NaOH 1.25% y se llevó a ebullición por 30 minutos. Se lavó con agua

destilada hirviendo como en el paso anterior y se comprobó ausencia de reacción alcalina agregando gotas de fenolftaleína. Se transfirió a un Crisol gooch con malla sinterizada, se agregó 15 ml de etanol y se filtró aplicando vacío. Se secó el crisol y su contenido en una estufa a una temperatura de 130 °C durante 2 horas, se enfrió y peso en balanza analítica digital. Se calcino el residuo a 600 °C durante 30 minutos, se enfrió y peso. La pérdida de peso es considerada como fibra cruda

4.3.2.6. Determinación de carbohidratos solubles o extracto libre de nitrógeno

Esta fracción es calculada con base en las otras determinaciones (AOAC 1980):

$$\% \text{ Extracto libre de nitrógeno o carbohidratos} = 100\% - (\% \text{ Cenizas} + \% \text{ Nitrógeno} + \% \text{ Extracto etéreo} + \% \text{ Fibra cruda})$$

4.3.3. Metodología para análisis del estiércol de vaca

El procedimiento del análisis del estiércol de vaca fue realizado en el laboratorio, es el mismo análisis bromatológico que se realiza a un grano o a una planta, debido al contenido de este y a la alimentación de las vacas, haciendo énfasis al momento de los análisis químicos que se trata de una muestra de estiércol de vaca para evitar equivocaciones.

4.3.3.1. Determinación de ceniza

Se pesó un crisol vacío, previamente incinerado, en una balanza analítica digital y se anotó el peso. Se pesaron 2 gramos de muestra a la que ya se le determino la humedad. Luego se colocó el crisol en el horno de mufla y se mantuvo a temperatura de 550 °C durante 2 horas. Se retiró el crisol del horno de mufla, se colocó en desecador durante 30 minutos y se pesó.

4.3.3.2. Solubilización de las cenizas

Al crisol que contiene las cenizas obtenidas en la determinación de cenizas, se le adiciono 5 ml de ácido clorhídrico concentrado y 10 ml de agua destilada. Se colocó en hot plate a una temperatura sin llegar a ebullición, hasta que se observó que se desprendan vapores blancos. Luego se dejó enfriar y se filtró utilizando papel Watman 42. Después se recibió el filtrado en un balón volumétrico de 100 ml y se llevó a volumen con agua destilada. Esta solución contenía los minerales que se determinaron.

4.3.3.3. Análisis de fósforo por el método de espectrofotometría visible

Procedimiento: de la solución obtenida de la ceniza, se pipeteo 5 ml del filtrado y se transfirió a un tubo de ensayo, adicionándole 2 ml de solución de Molibdato-Vanadato. Se Homogenizo y se dejó en reposo 30 minutos. Para la curva de calibración se toma 5 ml de cada estándar y se procede igual que la muestra.

Preparar un blanco: se agregó en un tubo de ensayo 5 ml de la solución de ceniza 2 ml de solución de Molibdato-Vanadato, se homogenizo y dejo reposar 30 minutos. Transcurrido el tiempo de reacción, se colocaron estas soluciones en el espectrofotómetro visible y se procedió a la lectura.

Condiciones de lectura: Longitud de onda 400 nm, Curva de calibración: 5–20 µg/ml (AOAC 1980).

4.3.3.4. Análisis de calcio y magnesio por el método de espectrofotometría de absorción atómica

De la solución obtenida de la ceniza, pipetear 25 ml del filtrado y transferirlo a un balón volumétrico de 100 ml, adicionar 6 ml de solución de lantano. Llevar a volumen con agua destilada. Preparar un blanco: en un balón volumétrico de 100 ml adicionar 5 ml de solución de lantano, llevar a volumen con solución extractora de Carolina del Norte.

Condiciones de lectura

- Calcio: Longitud de onda: 422.7 nm, Curva de calibración: 0,3 – 6 µg/ml.
- Magnesio: Longitud de onda: 285.2 nm, Curva de calibración: 0.05 ~ 0.5 µg/ml (Shimadzu s. f.).

4.3.3.5. Análisis de potasio por fometría de llama y determinación de minerales por el método de espectrofotometría de absorción atómica

Procedimiento: La solución de ceniza puede ser utilizada directamente si la concentración del mineral en la muestra es pequeña. En caso de ser necesario, realizar diluciones adecuadas de la muestra tratada.

Llevar un blanco de reactivos de la siguiente manera: la solución extractora de Carolina del Norte se lee directamente como blanco.

Condiciones de lectura

Potasio. Longitud de onda: 766.5 nm, Curva de calibración: 0,1 ~ 1 µg/ml (Shimidzu s. f.).

Hierro. Longitud de onda: 248.3 nm, Curva de calibración: 0,3 ~ 6.0 µg/ml

Sodio. Longitud de onda: 589.0 nm, Curva de calibración: 0,05 ~ 0.5 µg/ml

4.4. Metodología estadística

4.4.1. Material experimental

El material que se utilizó en la investigación fue semilla criolla de ajonjolí de la variedad “Estación-UES” de quinta generación (F5), la cual fue proporcionada por la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador.

4.4.2. Diseño estadístico

En la investigación se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), también conocido como Diseño de Dos Vías. Es el de mayor aplicación a nivel de campo. Las plantas de ajonjolí fueron afectadas por el factor fijo manipulado, también denominado tratamientos, específicamente las 5 dosis de un fertilizante químico, una dosis de un fertilizante orgánico y un testigo absoluto, además, por un factor fijo controlado que representa el bloqueo, esto debido a que cada suelo tiene cierta heterogeneidad, aunque no se conozca a detalle.

Cada bloque tenía un área de 87.2 metros cuadrados (m²), conteniendo las dosis de fertilizantes, las cuales se asignaron en forma aleatoria. El área que se utilizó por cada tratamiento en estudio fue de 28 m². Se establecieron 3 bloques, con el propósito de mejorar la precisión del experimento y disminuir el error experimental a su mínima expresión.

4.4.3. Tratamientos

Los tratamientos que se evaluaron en la investigación fueron: 5 dosis de un fertilizante químico fórmula 15-15-15, una dosis de un fertilizante orgánico de estiércol de bovino y un testigo absoluto al que no se le aplicó nada (cuadro 3), distribuidos en los 3 bloques.

Cuadro 3. Tratamientos que se evaluaron en la investigación.

Tratamiento	Dosis
Testigo absoluto o Tratamiento 0 (T0)	Sin estímulo, no se aplicó nada.
Tratamiento 1 (T1) Testigo relativo	Estiércol de ganado bovino, fertilizante orgánico, en dosis de 56 kg/28 m ² (20,000 kg/hectárea) (Quieroga <i>et. al</i> 2018).
Tratamiento 2 (T2)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m ² (180 kg/ha) (propuesta del investigador).
Tratamiento 3 (T3)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m ² (259.42 kg/ha) (Ruiz 1998).
Tratamiento 4 (T4)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m ² (300 kg/ha) (CENIDA 2009).
Tratamiento 5 (T5)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 1.26 kg/28 m ² (450 kg/ha) (Vaca 2001).
Tratamiento 6 (T6)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m ² (500 kg/ha) (Calero 1972).

4.4.4. Tamaño de muestra y distribución espacial de los tratamientos

El tamaño de la muestra fueron 20 plantas de ajonjolí por tratamiento, seleccionadas de la parte central en cada parcela, evitando los efectos de bordes, de tal manera que se disponía de 20 datos por cada característica o variable que se evaluó dentro de los respectivos bloques, con el propósito de eliminar la influencia individual de cada planta sobre el resultado total, garantizando obtener resultados representativos en la investigación.

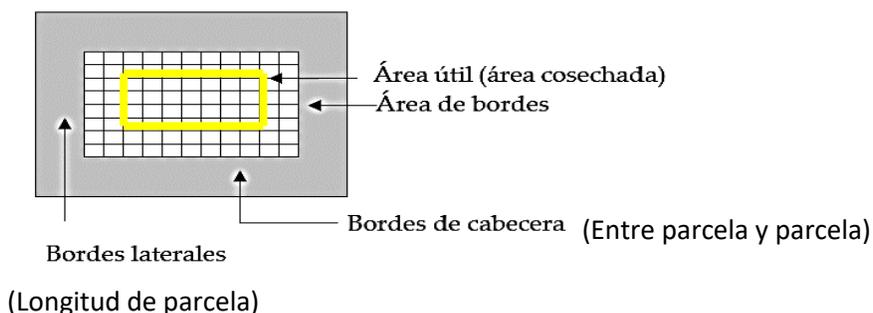


Figura 15. Área útil de la parcela.

La investigación tenía 3 bloques, en un área total de 1,152.48 m², con 68.6 m de largo por 16.8 m de ancho, un distanciamiento entre bloques de 3 m y entre parcela de 1.6 m. Cada unidad experimental tenía 7 m de largo por 4 m de ancho, y un área de 28 m²; a los costados tenía un distanciamiento de 0.8 m hacia adentro de los límites de la parcela.

En total fueron 7 parcelas por bloque y un total de 21 unidades experimentales. En cada unidad experimental se establecieron 5 surcos, distanciados a 80 cm entre surcos y a 20 cm entre plantas, teniendo un total de 94 plantas por tratamiento.

Cada unidad experimental se identificó con un número, por ejemplo: el código 101 significa que el primer dígito corresponde al bloque 1 (BI), los otros dos números que le acompañan corresponden a la unidad experimental o parcela (01). Los tratamientos que se aplicaron se identificaron de la siguiente manera: (T₃), corresponde al tratamiento 3 (figura 16). La distribución espacial de los tratamientos en estudio bajo el Diseño de Bloques Completos al Azar fue la siguiente:

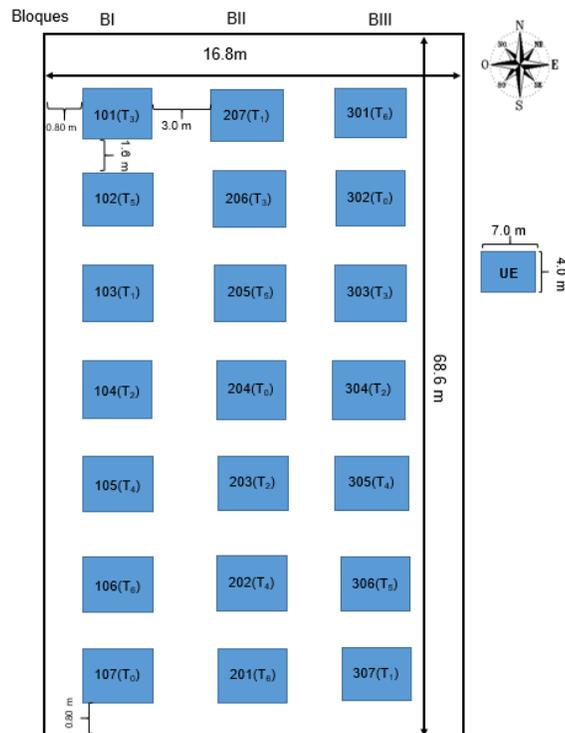


Figura 16. Diseño de Bloques Completamente al Azar de la investigación.

4.4.5. Variables evaluadas

El registro de las variables en estudio se realizó siguiendo el procedimiento según la guía técnica del cultivo, como se muestra a continuación (cuadro 4):

Cuadro 4. Variables biológicas que se evaluaron.

Variable	Forma de medición
Diámetro del tallo basal, medio y apical	Se midió con un "Pie de rey".
Altura de la planta	Se utilizó cinta métrica para tomar la medida desde la base hasta la parte apical del tallo.
Número de ramas por planta	Se contó el número de ramas que se han desarrollado al momento de cada toma de datos.
Número de cápsulas por planta	Se contó el número total de capsulas formadas en toda la planta.
Peso de 1,000 semillas/ planta.	Se pesaron 1,000 semillas en una báscula analítica.
Rendimiento por planta.	Se pesó la cantidad total de semilla producida por planta.

4.4.6. Análisis descriptivo e inferencial

Para la organización, procesamiento y análisis estadístico de los datos sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo se utilizaron métodos descriptivos univariados como representaciones gráficas, medidas de tendencia central y medidas de dispersión. A todas las variables cuantitativas se les aplicó análisis bivariado como la correlación de Pearson y el método multivariante de análisis por componentes principales.

En el caso de las variables número de cápsulas por planta y rendimiento del cultivo se les aplicó métodos inferenciales como el Análisis de Varianza (ANVA), específicamente un Diseño de Bloques Completos al Azar, con 7 bloques, 7 tratamientos y 3 repeticiones por tratamiento. Previo a la aplicación del diseño experimental, se verificó que los datos cumplan con los supuestos del análisis de varianza: distribución normal y homogeneidad de varianzas (Rodríguez 2020).

Para verificar el supuesto de normalidad se construyó un Q-Q plot normal, y en el caso de la homogeneidad de varianzas se ejecutó un gráfico de dispersión. Con el propósito de demostrar cuál de las fuentes de fertilizantes orgánicos y químicos producen el mejor rendimiento en el cultivo de ajonjolí, se aplicó la prueba estadística de comparación de medias de Tukey. Todo el análisis se realizó con un nivel de significancia estadística (alfa) α del 5% = 0.05 y mediante la utilización de los programas estadísticos SPSS® 24, Past® e Infostat® 2019 (Rodríguez 2020).

4.4.7. Modelo estadístico

El diseño experimental de Bloques Completos al Azar es de gran utilidad cuando no es posible asegurar suficiente homogeneidad en las unidades experimentales. El bloqueo o bloqueamiento es un factor controlado que permite la partición de la variabilidad existente en el campo experimental, después de la asignación de los tratamientos. La estructura típica de una tabla o matriz de datos para un diseño experimental en Bloques Completos al Azar (DBCA) es la siguiente:

Tratamientos	Bloques					Y_i
	1	2	3	...	B	
1	Y_{11}	Y_{12}	Y_{13}	...	Y_{1b}	$Y_{1.}$
2	Y_{21}	Y_{22}	Y_{23}	...	Y_{2b}	$Y_{2.}$
3	Y_{31}	Y_{32}	Y_{33}	...	Y_{3b}	$Y_{3.}$
.
.
T	Y_{t1}	Y_{t2}	Y_{t3}	...	Y_{tb}	$Y_{t.}$
$Y_{.j}$	$Y_{.1}$	$Y_{.2}$	$Y_{.3}$...	$Y_{.b}$	$Y_{..}$

El modelo lineal aditivo que define a un Diseño en Bloques Completos al Azar es el siguiente:

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

4.4.8. Análisis de varianza

El análisis de varianza permite separar la variación total de los datos a analizar en la variación entre bloques, variación entre tratamientos, más la variación dentro de tratamientos o error experimental. Usualmente se utiliza el estadístico F como criterio para la toma de decisiones (cuadro 5). Los componentes estructurales de una tabla de análisis de varianza (ANVA) son: fuentes de variación (FV), grados de libertad (G.L.), sumas de cuadrados (S.C.), cuadrados medios o varianzas (C.M.), el valor de Fisher (F), y el valor de probabilidad (p-valor), tal y como se muestra a continuación:

Cuadro 5. Estructura del Análisis de Varianza (ANVA).

FV	GL	SC	CM	Valor de F
Bloques	r- 1	$\sum_{j=1}^r \frac{Y_{.j}^2}{t} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		
Tratamientos	t- 1	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{r} - \frac{Y_{..}^2}{tr}$	SC _{trat} /gl _{trat}	CM _{trat} /CM _{ec}
Error experimental	(t-1)(r-1)	SC _{total} - (SC _{trat} + SC _{bloque})	SC _{ec} /gl _{ec}	
Total	tr- 1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y_{..}^2}{tr}$		

4.4.9. Prueba estadística de Tukey (comparación múltiple de medias)

Sirve para comparar las medias de los tratamientos y determinar cuál produce los mejores efectos. Se ejecutó directamente con los programas estadísticos.

4.5. Metodología económica

Se realizó un presupuesto parcial en donde se incluyeron los insumos y la mano de obra que se requirió para un área de 28 m², una manzana (7,000 m²) y una hectárea (10,000 m²), al final se obtuvo un sub total que se restó a los ingresos para obtener el ingreso neto por tratamiento (cuadro 6).

Cuadro 6. Presupuesto parcial y beneficios netos.

Actividad	Cantidad en 28 m ²	Cantidad en 1 manzana	Cantidad en 1 hectárea	Precio unitario (dólares)	Precio total por 28 m ² (dólares)	Precio total por manzana (dólares)	Precio total por hectárea (dólares)
Costos							
Fertilizante 15-15-15							
Mano de obra para fertilizar							
Herbicida Paraquat							
Mano de obra para aplicar herbicida							
Insecticida Connet							
Mano de obra para aplicar insecticida							
Fungicida Oxidor							
Fungicida Prevalor							
Mano de obra para aplicar fungicidas							
				Sub total			
Ingresos							
Venta de la producción/manzana							
				Ingreso neto			

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Análisis estadístico

5.1.1. Altura de las plantas

Según los resultados obtenidos en esta investigación, la mayor altura de las plantas de ajonjolí se obtuvo con el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 165.68 cm, seguido por el tratamiento 2 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha)) con 164.28 cm; luego el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) y el tratamiento 4 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m² (300 kg/ha)) con 164.23 cm; seguido por el tratamiento 5 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.26 kg/28 m² (450 kg/ha)) con 162.40 cm; luego el tratamiento 6 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m² (500 kg/ha)) con 158.91 cm; y por último el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con 156.27 cm (figura 17).

Al realizar el análisis de varianza de la variable altura de plantas no se encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los muestreos; sin embargo, al revisar los promedios de cada tratamiento hay una tendencia en la que el testigo o tratamiento 0 presenta los mayores valores; y el tratamiento 1 donde se aplicó estiércol bovino presentó los menores valores (figura 17).

Según Rost, citado por Centeno y Poveda (2010), los elementos esenciales para el crecimiento son fósforo, nitrógeno, potasio y calcio.

De acuerdo con Montoya *et al.* (2019), en el estudio sobre el crecimiento y rendimiento del ajonjolí bajo la acción de dos bioles, las variables del crecimiento (altura de carga y altura de la planta) no fueron influidas por ninguno de los tratamientos experimentales ensayados, entre ellos la no fertilización.

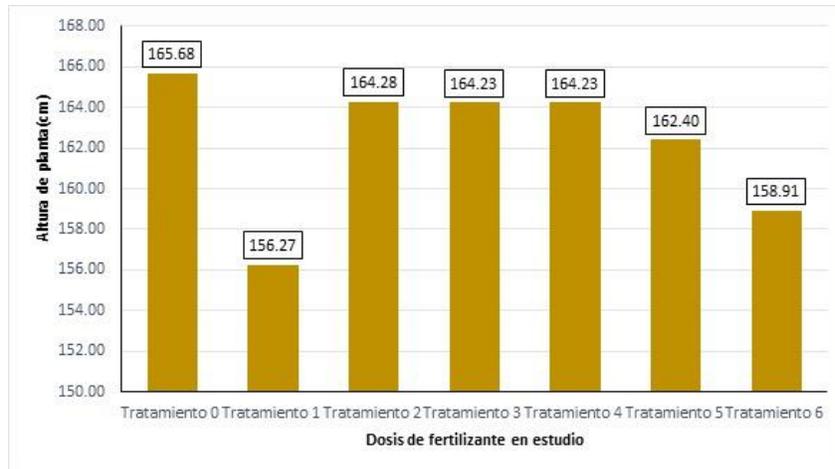


Figura 17. Altura de las plantas de ajonjolí.

5.1.2. Diámetro del tallo basal

El mayor diámetro del tallo basal de las plantas de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 5 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.26 kg/28 m² (450 kg/ha)) con 18.96 mm; seguido por el tratamiento 4 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m² (300 kg/ha)) con 17.14 mm; y por último el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 15.08 mm. (figura 18).

Al realizar el análisis de varianza de la variable diámetro del tallo basal no se encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los muestreos.

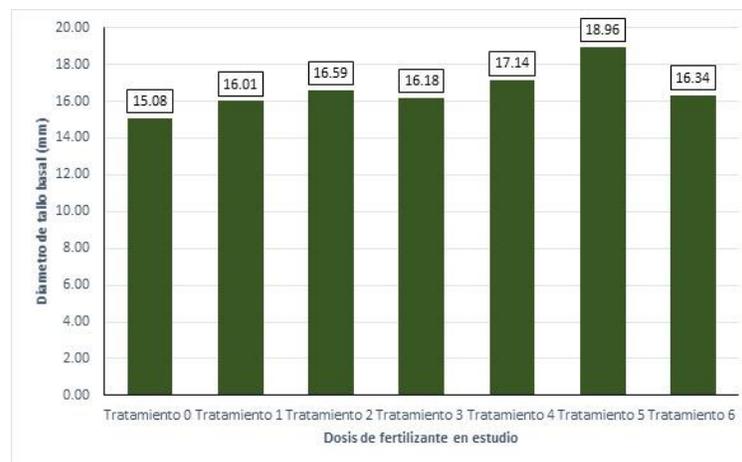


Figura 18. Diámetro del tallo basal de las plantas de ajonjolí.

Al aplicar el análisis de correlación de Pearson se encontró correlación altamente significativa entre las variables altura de las plantas y diámetro del tallo basal, con un coeficiente de correlación de $R = 0.62$ (cuadro 7).

Cuadro 7. Correlación de Pearson entre altura de planta y diámetro del tallo basal.

Variabes correlacionadas	Coficiente de correlación (R)	Nivel de significancia (P-valor)
Altura de planta (cm)- diámetro del tallo basal (mm)	0.62	0.0026*

Los datos anteriores concuerdan con los resultados obtenidos por Montoya *et al.* (2019), quienes reportan que después de la aplicación de dos bioles, fertilizantes químicos y de un testigo, el mejor resultado en el desarrollo de las plantas de ajonjolí se obtuvo con los fertilizantes químicos.

Cristaldo y Paredes (2003) en su investigación sobre evaluación del rendimiento en sésamo aplicando diferentes dosis de fertilizantes en suelos franco arcilloso, concluyen que las dosis de fertilizantes deben contener cantidades mayores de nitrógeno que de fosforo, ya que estas presentan los mejores resultados en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

5.1.3. Diámetro del tallo medio

El mayor diámetro del tallo medio de las plantas de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 4 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m² (300 kg/ha)) con 10.97 mm; seguido por el tratamiento 2 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha)) con 10.95 mm; y por último el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 10.13 mm (figura 19).

Al realizar el análisis de varianza de la variable diámetro del tallo medio no se encontraron diferencias estadísticas significativas en ninguno de los muestreos.



Figura 19. Diámetro del tallo medio de las plantas de ajonjolí.

Al aplicar el análisis de correlación de Pearson se encontró correlación altamente significativa entre las variables altura de las plantas (cm) y diámetro del tallo medio (mm) con un coeficiente de correlación $R = 0.81$ (cuadro 8).

Cuadro 8. Correlación de Pearson entre altura de planta y diámetro del tallo medio.

Variables correlacionadas	Coefficiente de correlación (R)	Nivel de significancia (P-valor)
Altura de planta (cm)-diámetro del tallo medio (mm)	0.81	<0.00061**

Centeno y Poveda (2010) compararon el rendimiento obtenido en el cultivo de ajonjolí al aplicar fertilizantes orgánicos (bokashi) y químicos, los resultados fueron superiores cuando aplicaron solo fertilizantes químicos, siendo el potasio el elemento que le da resistencia a las plantas contra enfermedades y turgencia al tallo.

5.1.4. Número de ramas por planta

El mayor número de ramas por planta en el cultivo de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con 4.58 ramas/planta; seguido por el tratamiento 6 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m² (500 kg/ha)) con 4.53 ramas/planta; y por último el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 3.82 ramas/planta (figura 20).

Al realizar el análisis de varianza de la variable número de ramas por planta no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

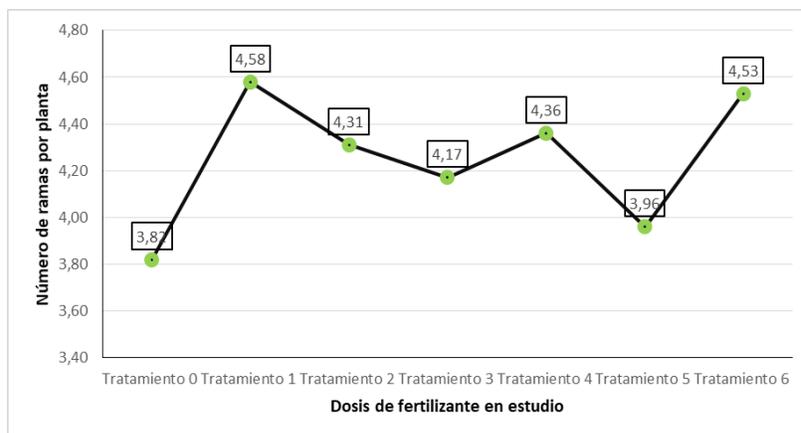


Figura 20. Número de ramas por planta en el cultivo de ajonjolí.

Estos resultados difieren con la investigación de Indu y Savithri citado por Montoya *et al.* (2019), con la aplicación de bioles y fertilizantes químicos en el rendimiento de sésamo, quienes mencionan que la dosis de $30 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ de nitrógeno inorgánico produjo plantas más altas con mayor número de ramas y contenido de materia seca.

5.1.5. Número de cápsulas por planta

El mayor número de cápsulas por planta se obtuvo con el tratamiento 6 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de $1.40 \text{ kg}/28 \text{ m}^2$ ($500 \text{ kg}/\text{ha}$)) con un promedio de 191.19 cápsulas/planta; seguido por el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de $0.72 \text{ kg}/28 \text{ m}^2$ ($259.42 \text{ kg}/\text{ha}$)) con 188 cápsulas/planta; y por último el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con un promedio de 166.56 cápsulas/planta (figura 21).

Cuando se realizó el análisis de varianza de la variable número de cápsulas por planta por cada tratamiento no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

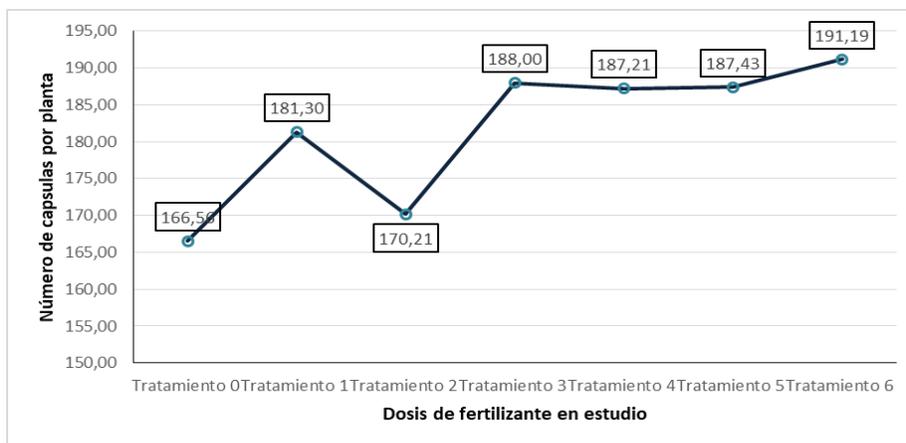


Figura 21. Número de cápsulas por planta de ajonjolí.

Al aplicar el análisis de correlación de Pearson se encontró correlación altamente significativa entre las variables diámetro del tallo basal y número de cápsulas por planta con un coeficiente de correlación de $R = 0.63$ (cuadro 9), y entre las variables número de cápsulas por planta y número de semillas por planta con $R = 1$ (cuadro 10).

Cuadro 9. Correlación de Pearson entre el diámetro del tallo basal y el número de cápsulas por planta.

Variabes correlacionadas	Coficiente de correlación (R)	Nivel de significancia (P-valor)
Diámetro del tallo basal (mm)-Número de cápsulas	0.63	0.0023*

Cuadro 10. Correlación de Pearson entre el número de cápsulas por planta y el número de semillas por planta.

Variabes correlacionadas	Coficiente de correlación (R)	Nivel de significancia (P-valor)
Número de cápsulas-Número de semillas por planta	1	<0.0001**

Estos datos se respaldan con lo investigado por Centeno y Poveda (2010), quienes evaluaron el efecto de los abonos orgánicos y químicos en el cultivo de ajonjolí, obteniendo los mejores resultados con la aplicación de los fertilizantes químicos debido a la presencia de fósforo y potasio que ayudan a que la planta asimile los nutrientes necesarios y a mejorar las características organolépticas y calidad del fruto.

5.1.6. Número de semillas por planta

El mayor número de semillas por planta se obtuvo con el tratamiento 6 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m² (500 kg/ha)) con un promedio de 13,750.61 semillas/planta; seguido por el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con 13,520.81 semillas/planta; y por último el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con un promedio de 11,978.94 semillas/planta (figura 22).

Cuando se realizó el análisis de varianza de la variable número de semillas por planta por cada tratamiento no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

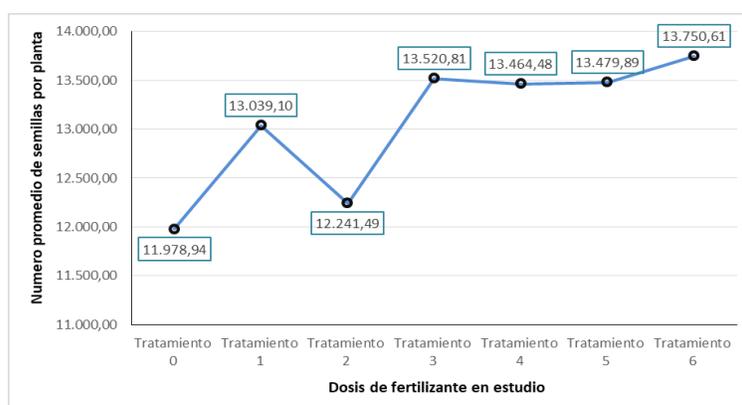


Figura 22. Número de semillas por planta de ajonjolí.

Al aplicar el análisis de correlación de Pearson se encontró correlación altamente significativa entre las variables diámetro del tallo basal y el número de semillas por planta, con un coeficiente de correlación de $R = 0.63$ (cuadro 11).

Cuadro 11. Correlación de Pearson entre el diámetro del tallo basal y el número de semillas por planta.

Variables correlacionadas	Coefficiente de correlación (R)	Nivel de significancia (P-valor)
Diámetro del tallo basal (mm)- Número de semillas por planta	0.63	0.0023*

Estos resultados difieren con la investigación de Indu y Savithri citados por Montoya *et al.* (2019), con la aplicación de bioles y fertilizantes químicos en el rendimiento de sésamo, quienes dicen que el mejor crecimiento vegetativo de las plantas se obtuvo cuando aplicaron fertilizantes que contenían nitrógeno, el cuál permitía que se presentara un área fotosintética más grande y por lo tanto más fotosintatos, y la translocación de estos fotosintatos contribuía

a la eficiencia de las partes reproductivas que dan como resultado mayor número de cápsulas, mayor número de semillas por cápsula y mayor peso de la cápsula.

5.1.7. Rendimiento en peso de 1,000 semillas

El mayor rendimiento en peso de 1,000 semillas se obtuvo con el tratamiento 5 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.26 kg/28 m² (450 kg/ha)) con un promedio de 5.47 gramos; seguido por el tratamiento 2 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha)) con 5.27 g; y por último el tratamiento 4 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m² (300 kg/ha)) con un promedio de 4.80 g (figura 23).

Al realizar el análisis de varianza de la variable rendimiento en peso de 1,000 semillas de ajonjolí por cada tratamiento no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

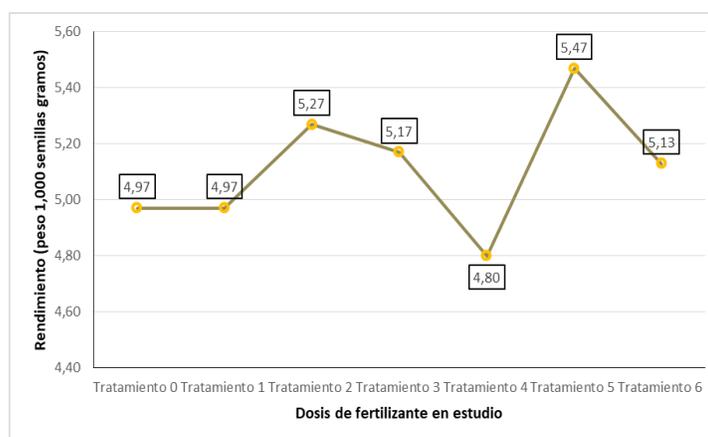


Figura 23. Rendimiento promedio en peso de 1,000 semillas de ajonjolí.

5.1.8. Rendimiento en quintales por hectárea

El mayor rendimiento de la semilla de ajonjolí en kg/28 m² se obtuvo con el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con un promedio de 4.09 kg/28 m²; seguido por el tratamiento 4 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m² (300 kg/ha)) con 4.04 kg/28 m²; y por último el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con un promedio de 3 kg/28 m² (figura 24).

Cuando se realizó el análisis de varianza de la variable del rendimiento de la cosecha de ajonjolí por cada tratamiento no se encontraron diferencias estadísticas significativas.

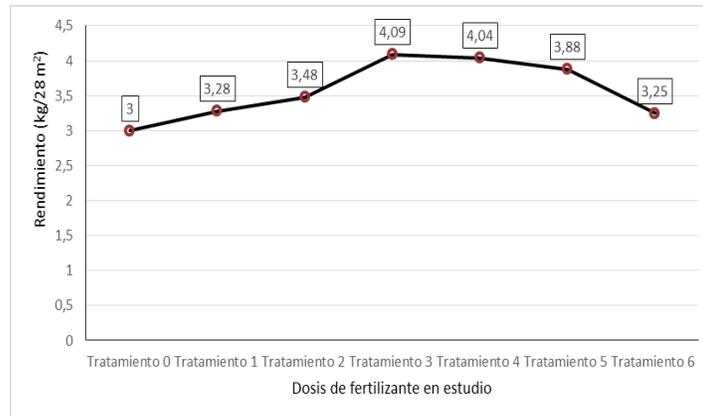


Figura 24. Rendimiento en el cultivo de ajonjolí.

Al aplicar el análisis de correlación de Pearson se encontró correlación altamente significativa entre las variables rendimiento y el diámetro del tallo basal con un coeficiente de correlación $R = 0.63$ (cuadro 12), y con las variables número de cápsulas por planta y rendimiento con un valor de $R = 1$ (cuadro 13).

Cuadro 12. Correlación de Pearson entre rendimiento y el diámetro del tallo basal.

Variables correlacionadas	Coefficiente de correlación (R)	Nivel de significancia (P-valor)
Rendimiento -diámetro del tallo basal (mm)	0.63	0.0023*

Cuadro 13. Correlación de Pearson entre el número de cápsulas por planta y el rendimiento.

Variables correlacionadas	Coefficiente de correlación (R)	Nivel de significancia (P-valor)
Número de cápsulas por planta-Rendimiento.	1	<0.0001*

Estos resultados coinciden con lo reportado por Montoya *et al.* (2019) en el estudio sobre el crecimiento y rendimiento del ajonjolí bajo la acción de dos bioles y fertilizantes químicos, donde afirman que los fertilizantes químicos, específicamente el aporte de nitrógeno y fósforo, tienen influencia significativa en el rendimiento.

Centeno y Poveda (2010) dicen que los rendimientos promedio obtenidos con la aplicación de fertilizantes químicos sobrepasó el rendimiento de los fertilizantes orgánicos.

5.2. Análisis bromatológico de las semillas de ajonjolí

5.2.1. Contenido de humedad en las semillas de ajonjolí

El mayor contenido de humedad se obtuvo con el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con un valor de 4.80%; seguido por el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 4.70%; y por último el tratamiento 6 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m² (500 kg/ha)) con un valor de 4.39% (figura 25).

Según el INCAP (2006), estos valores están cercanos al porcentaje de agua en la semilla de ajonjolí que es de 4.69%.

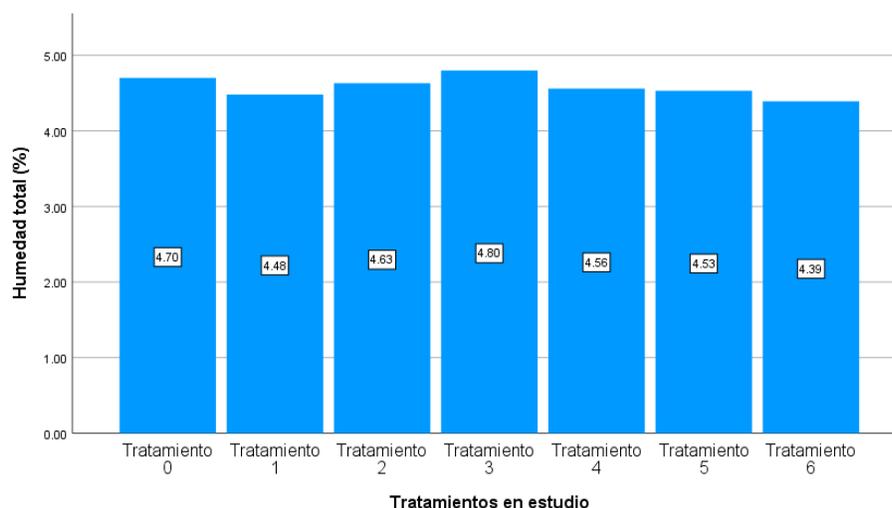


Figura 25. Contenido de humedad en las semillas de ajonjolí.

5.2.2. Contenido de materia seca en semillas de ajonjolí

El mayor contenido de materia seca en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 6 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m² (500 kg/ha)) con un valor de 95.61%; seguido por el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con 95.52%; y por último el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con un valor de 95.20% (figura 26).

..

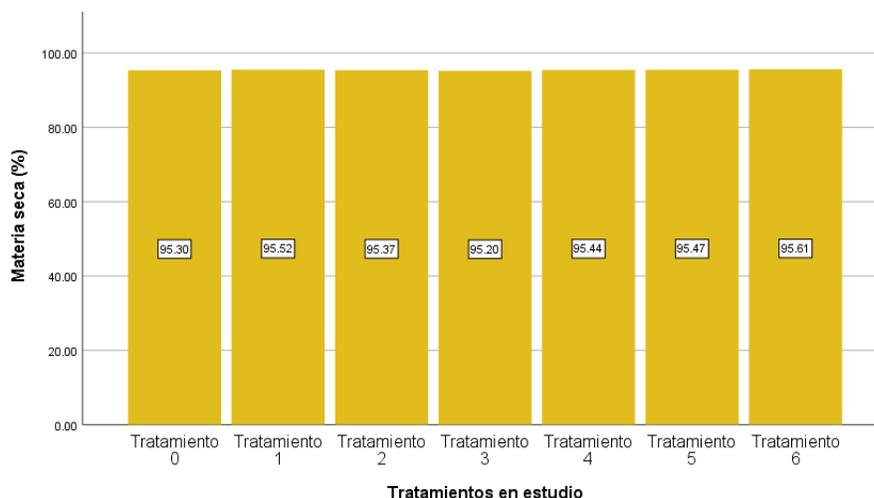


Figura 26. Contenido de materia seca en semillas de ajonjolí.

5.2.3. Contenido de ceniza

El mayor contenido de ceniza en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 0 (no se aplicó nada) con un valor de 5.67%; seguido por el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con 5.38%; y por último el tratamiento 5 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.26 kg/28 m² (450 kg/ha)) con 4.86% (figura 27).

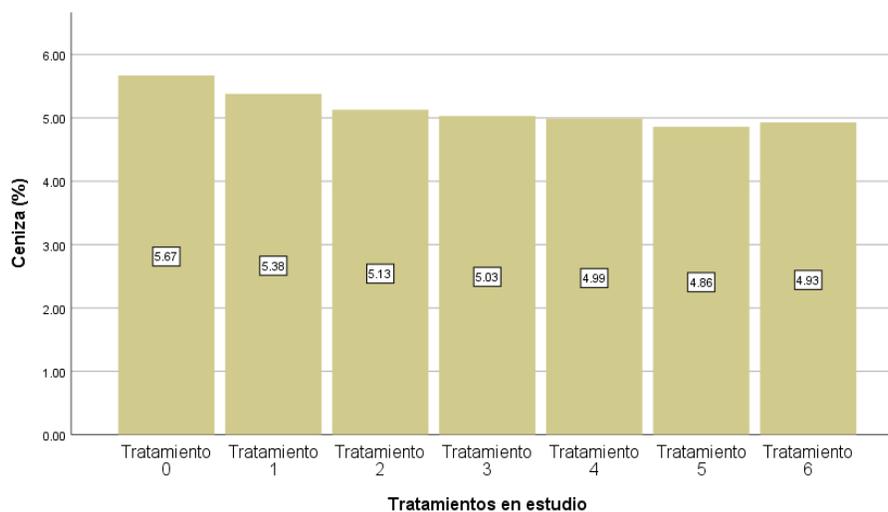


Figura 27. Contenido de cenizas en las semillas de ajonjolí.

Según el INCAP (2006), el contenido de ceniza es de 4.45%, valor que está por debajo a los obtenidos en esta investigación.

5.2.4. Contenido de proteína cruda

El mayor contenido de proteína cruda en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 2 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha)) con un valor de 24.90%; seguido por el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con 24.04%; y por último el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con un valor de 22.72% (figura 28).

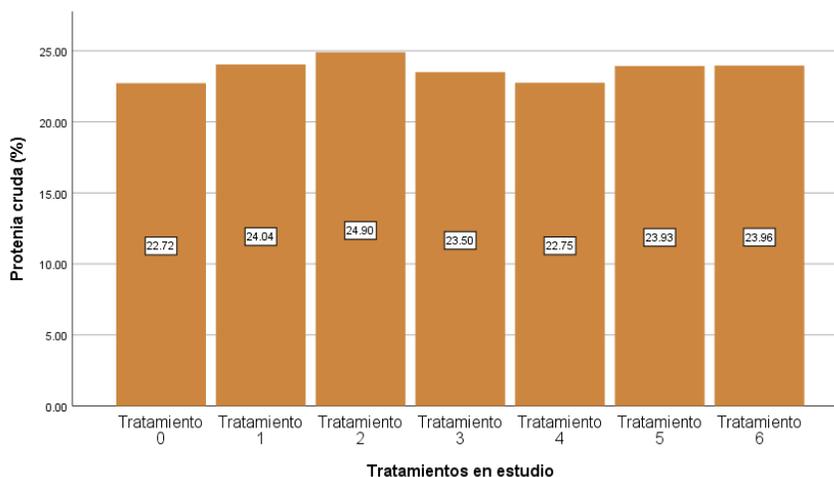


Figura 28. Contenido de proteína cruda en la semilla de ajonjolí.

Según Sibrián (2004) en su tesis sobre elaboración de una mantequilla alimenticia a partir de la semilla descortezada de ajonjolí variedad Venezuela 52, menciona que la semilla de ajonjolí tiene 18% de proteína, la cual es rica en triptófano y metionina; además el INCAP (2006) señala que el contenido de proteína de la semilla de ajonjolí 17.73, superando notablemente la semilla variedad “Estación UES” en su contenido proteico.

5.2.5. Contenido de extracto etéreo

El mayor contenido de extracto etéreo en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 4 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m² (300 kg/ha)) con un valor de 47.31%; seguido por el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con 46.96%; y por último el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con un valor de 33.56% (figura 29).

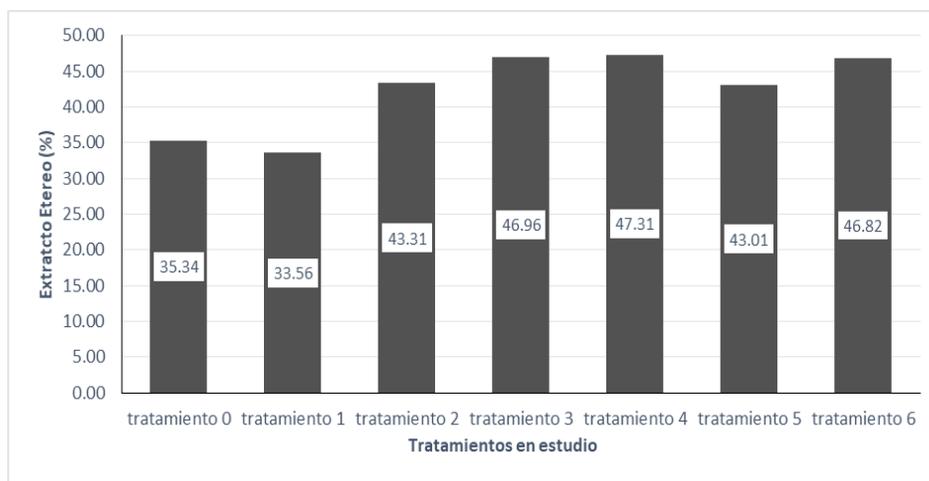


Figura 29. Contenido de extracto etéreo en la semilla de ajonjolí.

Sabrían Gutiérrez (2004) menciona que a las semillas de ajonjolí se les llama “las reinas de la cosecha de las semillas de aceite” por su calidad, sus valores alimenticios y porque contienen 55% de aceite.

5.2.6. Contenido de fibra cruda

El mayor contenido de fibra cruda en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de ganado bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con un valor de 30.09%; seguido por el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 26.66%; y por último el tratamiento 2 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha)) con un valor de 18.41% (figura 30).

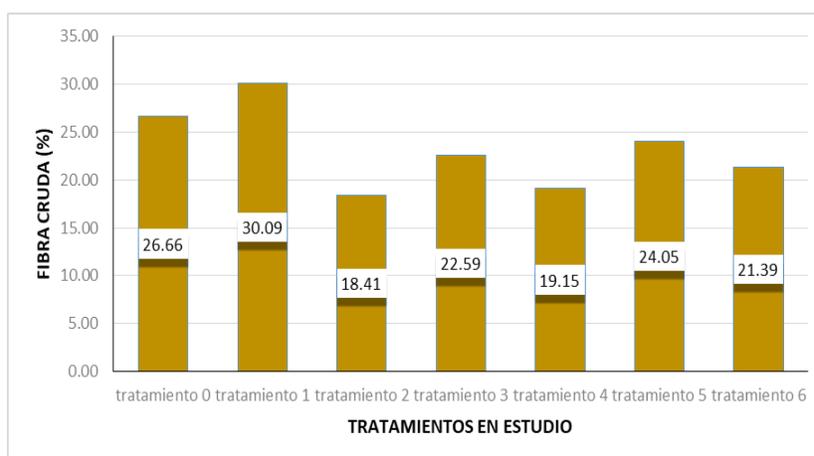


Figura 30. Contenido de fibra cruda en la semilla de ajonjolí.

Moreira (2013) en sus tablas de composición de alimentos de la semilla de ajonjolí, reporta un valor de 8% de fibra, el cual es un valor que está muy por debajo de los encontrados en el análisis bromatológico realizado a la semilla en esta investigación.

5.2.7. Contenido de carbohidratos

El mayor contenido de carbohidratos en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con un valor de 9.61%; seguido por el tratamiento 2 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha)) con 8.25%; y por último el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con un valor de 1.92% (figura 31).

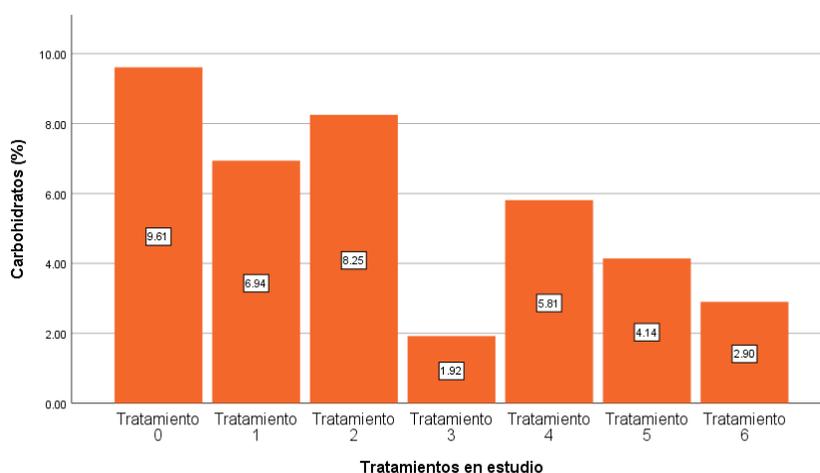


Figura 31. Contenido de carbohidratos en la semilla de ajonjolí.

Sabrían (2004) comparó el contenido de carbohidratos de la semilla de ajonjolí con semillas de otros alimentos y obtuvo que la semilla de ajonjolí tiene el valor más bajo con un valor de 21.6%.

5.2.8. Contenido de calcio

El mayor contenido de calcio en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de ganado bovino) en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con un valor de 11,220.52 ppm; seguido por el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 11,218.02 ppm; y por último el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con un valor de 9,508.22 ppm (figura 32).

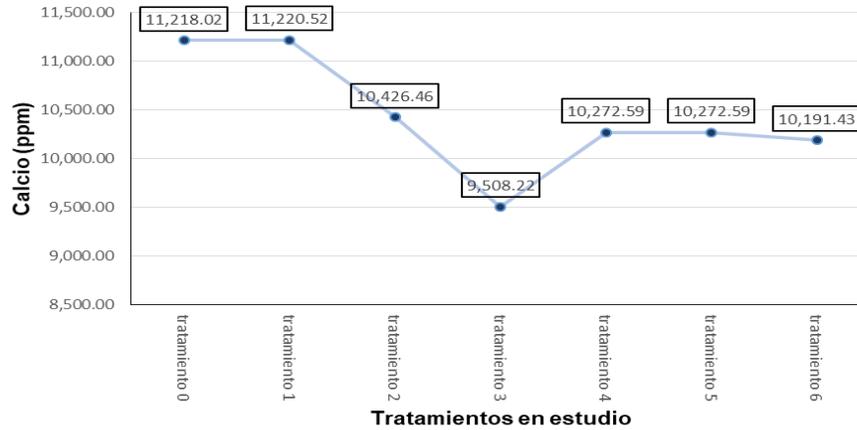


Figura 32. Contenido de calcio en la semilla de ajonjolí.

El valor reportado en las tablas del INCAP (2006) para el contenido de calcio fueron de 975 mg; los obtenidos en esta investigación con la variedad “Estación UES” fueron de 1,121.80 mg/100 g (ppm) correspondiente al tratamiento 1 (se aplicó estiércol bovino) siendo todos los resultados obtenidos superiores a los que reportan las tablas.

5.2.9. Contenido de magnesio

El mayor contenido de magnesio en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de ganado bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con un valor de 3,083.70 ppm; seguido por el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 3,024.71 ppm; y por último el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con un valor de 2,536.75 ppm (figura 33).

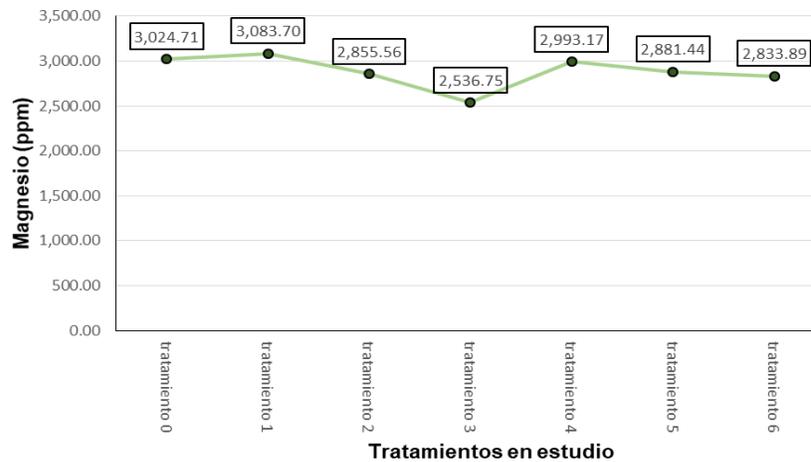


Figura 33. Contenido de magnesio en la semilla de ajonjolí.

Según el INCAP (2006), el contenido de magnesio en la semilla de ajonjolí es de 351 mg; un poco superior al obtenido en esta investigación con el tratamiento 1 con 308.37 mg/100g (3,083.70 ppm).

5.2.10. Contenido de hierro

El mayor contenido de hierro en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 2 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha)) con un valor de 158.36 ppm; seguido por el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 119.99 ppm; y por último el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con un valor de 55.22 ppm (figura 34).

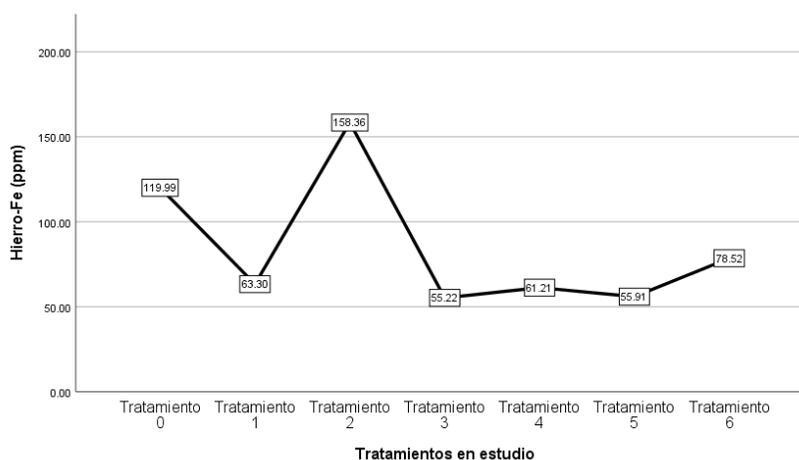


Figura 34. Contenido de hierro en la semilla de ajonjolí.

Los valores de las tablas del INCAP (2006) para el contenido de hierro son de 14.55 mg; y los obtenidos en esta investigación con la variedad “Estación UES” tratamiento 2 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha)) son de 15.83 mg/100 g (158.36 ppm) Los valores de los demás tratamientos están por debajo del dato de referencia del INCAP.

5.2.11. Contenido de potasio

El mayor contenido de potasio en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con un valor de 65.58 ppm; seguido por el tratamiento 6 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m² (500 kg/ha)) con 63.88 ppm; y por último el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con un valor de 52.18 ppm (figura 35).

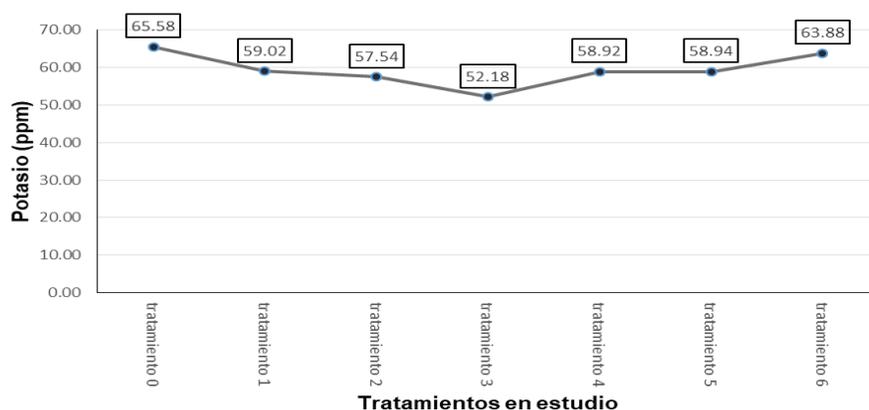


Figura 35. Contenido de potasio en la semilla de ajonjolí.

Según el INCAP (2006), el contenido de potasio es de 468 mg, el cual es muy superior al obtenido en esta investigación por la variedad “Estación UES” con 6.55 mg/100 g (ppm) que es extremadamente bajo; en comparación a los demás tratamientos que están por debajo.

5.2.12. Contenido de sodio

El mayor contenido de sodio en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 5 (se aplicó fertilizante 15-15-15 en dosis de 1.26 kg/28 m² (450 kg/ha)) con un valor de 27.72 ppm; seguido por el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con 26.43 ppm; y por último el tratamiento 2 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha)) con un valor de 9.38 ppm (figura 36).

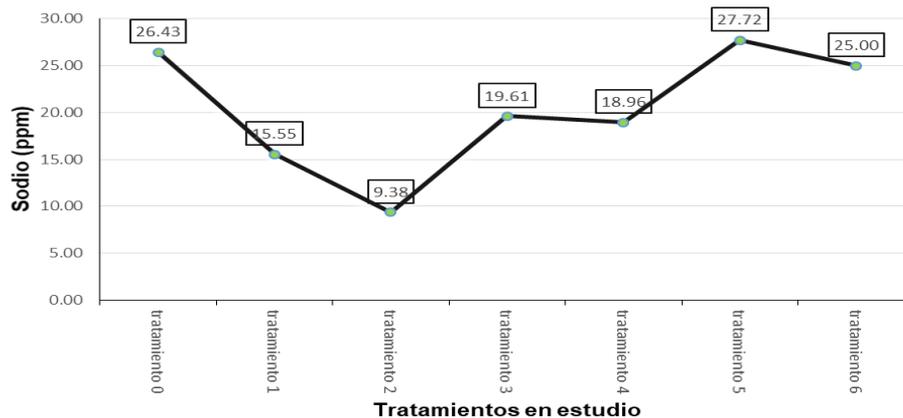


Figura 36. Contenido de sodio en la semilla de ajonjolí.

Chiriboga (2013) en una investigación sobre la evaluación de la efectividad nutricional de la pasta de ajonjolí como sustituto de la pasta de soya en el crecimiento de codornices obtuvo un valor de 11 mg de sodio, muy por debajo al obtenido en laboratorio con 27.72 mg de sodio en el tratamiento 5.

5.2.13. Contenido de fósforo

El mayor contenido de fósforo en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el testigo o tratamiento 0 (no se aplicó nada) con un valor de 62,346.68 ppm; seguido por el tratamiento 1 (se aplicó estiércol de ganado bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha)) con 60,021.33 ppm; y por último el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)) con un valor de 52,089.71 ppm (figura 37).

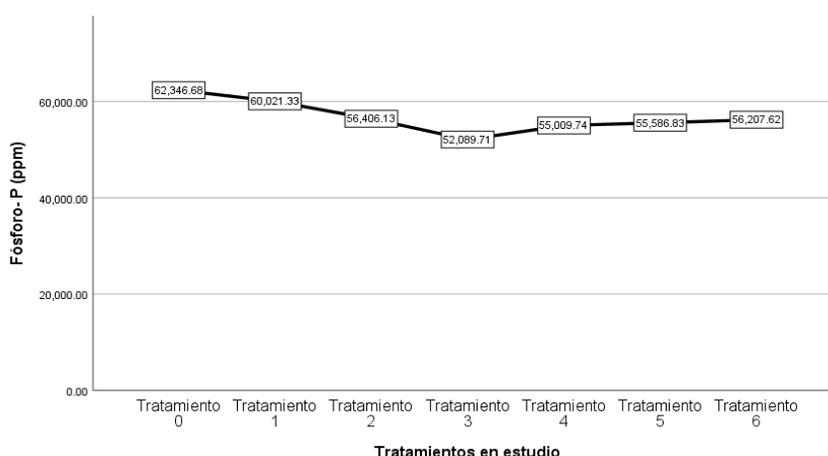


Figura 37. Contenido de fósforo en la semilla de ajonjolí.

Sabrían Gutiérrez (2004) obtuvo un contenido de fósforo de 0.30% en semilla de ajonjolí de la variedad Venezuela 52; y en esta investigación con la variedad “Estación UES” se obtuvo un valor de 6.23%.

El INCAP (2006) reporta un contenido de fósforo de 629 mg en la semilla de ajonjolí; y en esta investigación con la variedad “Estación UES” se obtuvo un valor de 6,234.66 mg/100 g (62,346.66 ppm).

5.2.14. Análisis por Componentes Principales (ACP)

De acuerdo con la aplicación del método multivariante “Análisis por Componentes Principales”, los primeros dos componentes explicaron el 68% de la varianza total de las cinco dosis de fertilizante químico y una de fertilizante orgánico en el desarrollo y rendimiento

del cultivo de ajonjolí, siendo altamente confiable y representativo trabajar con dos componentes.

El componente 1 representa el 47% de la variación total y las variables que mejor contribuyen a su variación son el fósforo, calcio, magnesio, ceniza, carbohidratos, potasio y fibra cruda. El componente 2 presenta el 21% de la varianza total y las variables que más aportan a su variación son la humedad total, ceniza y carbohidratos.

De los tratamientos en estudio, el testigo absoluto (no se aplicó nada) y el testigo relativo (se aplicó fertilizante orgánico) manifestaron el mejor comportamiento en las variables del componente 1. El tratamiento T0, T2 y T3 presentaron el mejor porcentaje de humedad total, ceniza, proteína cruda y hierro. Los tratamientos T4, T5 y T6 expresaron el mejor comportamiento en las variables materia seca y extracto etéreo (Figura 38).

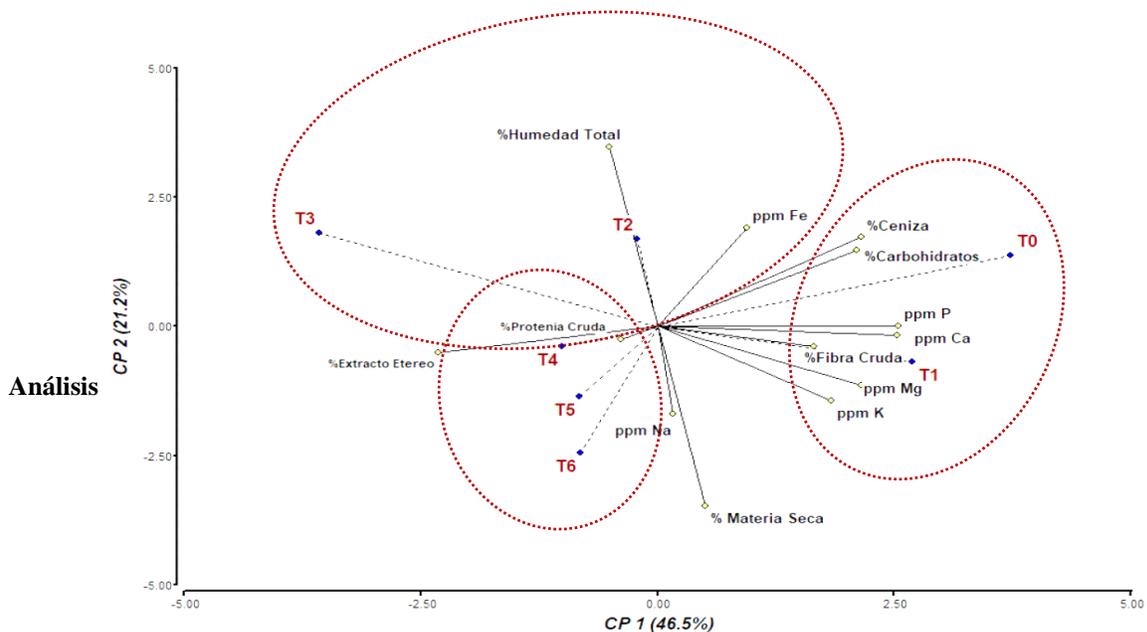


Figura 38. Comportamiento de los componentes principales del análisis bromatológico de la semilla de ajonjolí.

5.3. Costo beneficios de los fertilizantes aplicados en el rendimiento del ajonjolí

El mayor ingreso económico neto se obtuvo con el tratamiento 3 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis 0.72 kg/28 m²) con \$430.84 dólares; seguido por el tratamiento 4 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis 0.84 kg/28 m²) con un ingreso de \$395.04 dólares; y el menor ingreso neto se obtuvo con el tratamiento 6 (se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis 1.40 kg/28 m²) con

\$125.84 dólares (cuadro 14, cuadro A-6, cuadro A-7, cuadro A-8, cuadro A-9, cuadro A-10, cuadro A-11 y cuadro A-12).

Cuadro 14. Ingreso neto por manzana y por hectárea.

Tratamiento	Dosis y tipo de fertilizante	Ingreso neto por manzana (dólares)	Ingreso neto por hectárea (dólares)
Testigo absoluto o Tratamiento 0 (T0)	Sin estímulo, no se aplicó nada.	\$217.10	\$334.44
Tratamiento 1 (T1) Testigo relativo	Estiércol de ganado bovino, fertilizante orgánico, en dosis de 56 kg/28 m ² (20,000 kg/ha).	\$84.10	\$144.44
Tratamiento 2 (T2)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m ² (180 kg/ha).	\$214.60	\$335.68
Tratamiento 3 (T3)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m ² (259.42 kg/ha).	\$278.3	\$430.84
Tratamiento 4 (T4)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m ² (300 kg/ha).	\$256.1	\$395.04
Tratamiento 5 (T5)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 1.26 kg/28 m ² (450 kg/ha).	\$177.6	\$285.85
Tratamiento 6 (T6)	Fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m ² (500 kg/ha).	\$67.30	\$125.84

6. CONCLUSIONES

El mayor número de cápsulas por planta (191.19 cápsulas) y de semillas por planta (13,750.61 semillas) se obtuvo con el tratamiento 6, en el cual se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m² (500 kg/ha).

Con el tratamiento 3 (fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m² (259.42 kg/ha)), se obtuvo el mayor rendimiento de la semilla de ajonjolí con un promedio de 4.09 kg/28 m² y el ingreso económico neto más alto con \$430.84 dólares por hectárea.

El mayor contenido de calcio 11,220.52 ppm (1,121.80 mg/100 g) y magnesio 3,083.70 ppm (308.37 mg/100 g) en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el tratamiento 1 en el que se aplicó estiércol de ganado bovino en dosis de 56 kg/28 m² (20,000 kg/ha), los cuales según el INCAP (2006) para calcio (975 mg) son superiores en la variedad "Estación UES" y para magnesio (351 mg) son inferiores.

El mayor contenido de potasio 65.58 ppm (6.55 mg/100 g), fósforo 62,346.68 ppm, carbohidratos 9.61% y ceniza 5.67% en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el Testigo o Tratamiento 0 donde no se aplicó ningún fertilizante; los cuales según el INCAP (2006) para potasio (468 mg) son inferiores en la variedad "Estación UES" y para ceniza (4.45%) son superiores.

El mayor contenido de proteína cruda 24.90% y de hierro 158.36 ppm (15.83 mg/100 g) en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el Tratamiento 2 en el cual se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m² (180 kg/ha); los cuales según el INCAP (2006) para hierro (14.55 mg) son superiores en la variedad "Estación UES".

El mayor contenido de extracto etéreo en la semilla de ajonjolí se obtuvo con el Tratamiento 4 donde se aplicó fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m² (300 kg/ha) con un valor de 47.31%.

Según el análisis de correlación de Pearson se encontró correlación altamente significativa entre las variables número de cápsulas por planta y número de semillas por planta con R = 1,

lo que significa que a medida se presenten más capsulas en la planta así mismo se incrementara el número de semillas en la planta.

Según el análisis de correlación de Pearson, se encontró correlación altamente significativa entre las variables diámetro del tallo basal con el número de cápsulas por planta con un coeficiente de correlación de $R = 0.63$ y el número de semillas por planta con un $R = 0.63$, lo que significa que entre mayor sea el diámetro del tallo de la planta ésta tendrá la capacidad de producir más capsulas por planta y también de incrementar el número de semillas.

Al aplicar el análisis de correlación de Pearson se encontró correlación altamente significativa entre las variables rendimiento (qq.ha-1) y el diámetro del tallo basal con un $R = 0.63$; y con las variables número de cápsulas por planta y rendimiento (qq.ha-1) con un valor de $R = 1$, lo que significa que el diámetro del tallo basal permite que la planta tenga un mejor rendimiento en la producción de cápsulas y número de semillas.

7. RECOMENDACIONES

Fertilizar el cultivo de ajonjolí con fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m² (500 kg/ha o 7.70 quintales/mz, ya que produce los mejores resultados en cuanto a las variables relacionadas al desarrollo vegetativo de la planta.

Utilizar el estiércol de ganado bovino como fertilizante orgánico, el cual debe ser incorporado al suelo de 3 a 6 meses antes de establecer el cultivo para que los nutrientes que aporta estén disponibles para las plantas.

La fertilización química en el cultivo de ajonjolí se debe hacer en dos momentos: la primera, a los 10 días después de la siembra y con el 30% de la dosis establecida; y el otro 70% a los 30 días después de la siembra a fin de que las plantas tengan un óptimo desarrollo y rendimiento.

Realizar muestreo y análisis de suelo antes de establecer el cultivo de ajonjolí para determinar el contenido de nutrientes que se encuentran presentes en el suelo y así realizar una fertilización adecuada.

Se recomienda el consumo de ajonjolí por el alto contenido de nutrientes que aporta al ser humano en todas sus etapas, utilizado como una alternativa para aporte de minerales fundamentales en el organismo, asegurando así la seguridad alimentaria de hogares con bajos recursos.

Continuar realizando investigaciones con otros tipos y dosis de fertilizantes en el cultivo de ajonjolí, tomando como referencia las dosis utilizadas en esta investigación.

8. BIBLIOGRAFIA

- Aguirre, C. 2009. Características del suelo en la Estación Experimental y de Prácticas de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de El Salvador. San Salvador. Universidad de El Salvador. Abril. Entrevista.
- AOAC (Association of Oficial Anlytical Chemists, Estados Unidos). 1980. Official Methods of Analisis 13th Ed. Washington, Horwitz.
- Bastilla Palomino, LC; Lascarro Laguna, G. 2003. Identificación de los usos y aplicaciones del ajonjolí como producto de potencial exportador (en línea). Colombia. Consultado: 16 de septiembre de 2018. Disponible en: <http://biblioteca.unitecnologica.edu.co/notas/tesis/0024597.pdf>
- Bolivar, LR. 1999. El cultivo del ajonjolí producción y utilización (en línea). Tolima, Colombia. Consultado 31 de ene. 2020. Disponible en https://books.google.com.sv/books?id=hZgi_IR4OXoC&pg=PA86&dq=fertilizacion+en+cultivo+de+ajonjoli&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwixouWwia7nAhWns1kKHb5UBQAQ6AEIJjA A#v=onepage&q=fertilizacion%20en%20cultivo%20de%20ajonjoli&f=false
- Botero, LM. 2005. Guía para la cría, manejo y aprovechamiento sostenible de algunas especies animales promisorias y otras domésticas. Bogotá, Colombia. Consultado 26 de feb. 2020. Disponible en <http://bibliotecadigital.agronet.gov.co/bitstream/11348/6633/7/053.7.pdf>
- Calero, E. 1972. Incremente sus rendimientos de ajonjolí (en línea). Quito, Ecuador. Consultado 11 de Jul. 2020. Disponible en <file:///C:/Users/Lenovo/OneDrive/Escritorio/Archivos%20de%20la%20U/TESIS/Ajonjoli%201.pdf>.
- CENIDA (Centro Nacional de Información y Documentación Agraria, Nicaragua). 2009. Manual de ajonjolí (en línea). León, Nicaragua. Consultado 9 de jul. 2020. Disponible <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENF01C965ma.pdf>

- Centeno Alvarez, MIC; Poveda Lacayo, RA. 2010. Evaluación del manejo orgánico del cultivo de ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) con tres tipos de fertilizantes orgánicos bokashi, lombriabono y compost en el campus agropecuario de la UNAN-LEON en el periodo de septiembre a diciembre del 2009 (en línea). León, Nicaragua. Consultado 20 jul 202. Disponible en <http://riul.unanleon.edu.ni:8080/jspui/bitstream/123456789/884/1/217842.pdf>
- Cervantes Solórzano, MA. 2012. Evaluación de los niveles de proteína y aceite en la semilla de ajonjolí (*Sesamun indicum*) nacional de los cultivares criollos (r-198, estándar y trébol), en su estado natural. Mazatenango, Suchitepequez, Guatemala. Consultado 8 ene 2020. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/22/22_0176.pdf
- Chapman, P. 1991. Métodos de Análisis para suelos, plantas y aguas. Ed. Trillas, 7ª. Ed. México.
- Chávez León, JV; Pérez Valenzuela, FJ. 2018. Cultivo de ajonjolí para los campesinos en los departamentos de Choluteca y Valle (en línea). Honduras. Consultado 3 de mar. 2020. Disponible https://issuu.com/abarriguda/docs/livro_20honduras
- Chiriboga Spin, MG. 2013. Evaluación de la efectividad nutricional de la pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.) como sustituto de la pasta de soya en el crecimiento de codornices (*Coturnix coturnix*). Quito. Ecuador. Consultado 18 de ago. 2021. Disponible <https://repositorio.usfq.edu.ec/bitstream/23000/2785/1/108877.pdf>
- CIMMYT (Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo, México). 1988. La formulación de recomendaciones a partir de datos agronómicos, Manual metodológico de evaluación económica (en línea). Distrito Federal. México. Consultado 23 de jun. 2020. Disponible <https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/1063/9031.pdf>
- Corporación PBA (Corporación para el Desarrollo Participativo y Sostenible de los Pequeños Productores Rurales, Colombia). 2013. Guía para el manejo integrado del cultivo de Ajonjolí (en línea). Bogotá, Colombia. Consultado: 16 de ene de 2020. Disponible en: [http://www.corporacionpba.org/portal/sites/default/files/Cartila%20Ajonjoli%20-%20diagramada%20\(2\)-min.pdf](http://www.corporacionpba.org/portal/sites/default/files/Cartila%20Ajonjoli%20-%20diagramada%20(2)-min.pdf)

- Cristaldo Amaro, M; Paredes Fernández, JQ. 2003. Producción de *Sesamun indicum* L. influenciada por dosis de diferentes fertilizantes en suelo franco arcilloso. Investigación agraria Vol. 5 (en línea). Paraguay. Consultado 23 jul de 2021. Disponible en: <http://www.agr.una.py/revista/index.php/ria/article/view/163/162>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Argentina). s.f. Programa de Desarrollo de la Agroindustria Rural de América Latina y el Caribe (en línea). Consultado 16 de ene de 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-ae620s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Francia). 1965. Los fertilizantes y su uso (en línea). París, Francia. Consultado 9 de jul. 2020. Disponible <http://www.fao.org/3/a-x4781s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Italia). 2015. La FAO y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (en línea). Roma, Italia. Consultado 12 ene 2020. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i4997s.pdf>
- Guerrero (Proyecto Pikin Guerrero, Nicaragua); CARE (CARE, Nicaragua), COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, Nicaragua). 1998. Manual de Manejo Integrado de Plagas en el Cultivo de Ajonjolí (en línea). León, Nicaragua. Consultado 28 de ene. 2020. Disponible <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4095/1/01.pdf>
- INCAP (Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá). 2006. Tabla de composición de alimentos de Centroamérica (en línea). Guatemala. Consultado 26 de ago. Del 2021. Disponible en: <http://www.incap.int/mesocaribefoods/dmdocuments/tablacalimentos.pdf>
- ISUSA (Industria Sulfúrica Sociedad Anónima, Uruguay). s.f. NPK 15-15-15 uso doméstico y huertas en granel (en línea). San José, Uruguay. Consultado 10 de Jul. 2020. Disponible <http://isusa.com.uy/files/2016-04/informaci-n-triple-15-uso-dom-stico-y-huertas-a-granel.pdf>
- Lincoln Taiz, EZ. 2006. Fisiología Vegetal. España. Consultado 26 de feb. 2020. Disponible en <https://books.google.com.sv/books?id=7QIbYg-OC5AC&pg=fertilizantes+quimicos>.

- Longoria Garza, CS. 2000. Fertilización orgánica con estiércol bovino en diferentes fechas y dosis de aplicación en maíz blanco hualahuaisés (en línea). Nuevo León. México. Consultado 25 jun. 2020. Disponible <http://eprints.uanl.mx/6353/1/1080095037.PDF>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, Costa Rica). 1991. Aspectos técnicos sobre cuarenta y cinco cultivos agrícolas de Costa Rica. San José, Costa Rica. Consultado el 27 ene. 2020. Disponible en: <http://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-0658ajonjoli.pdf>
- MAG (Ministerio de Agricultura y Ganadería, El Salvador). 2017. Anuario de Estadísticas Agropecuarias: El Salvador 2016 – 2017. San Salvador, El Salvador. Consultado 15 de ene. 2020. Disponible en http://www.mag.gob.sv/download/anuario-de-estadisticas-agropecuarias-2016_2017/
- Martínez Laborde, JB; Pita Villamil, JM. s.f. Banco de semilla. Hoja divulgadora (en línea). España. Consultado 28 de ene. 2020. Disponible https://www.miteco.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_2001_2109.pdf
- Montoya Bazán, JL; Ardisana, EFH; Torres García, A; Fosado Téllez, O. 2019. Crecimiento y rendimiento del ajonjolí (*Sesamun indicum* L.) bajo la acción de dos bioles. Revista de las agrociencias (en línea). Ecuador. Consultado 16 jun de 2021. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/338655722_Crecimiento_y_rendimiento_del_ajonjolí_Sesamum_indicum_L_bajo_la_accion_de_dos_bioles
- Moreira. 2013. Tabla de composición de la semilla de ajonjolí (en línea). s.l. Consultado el 27 de ago. 2021. Disponible en: sesamo_tcm30-102424.pdf
- Navarrete, FM. 2008. Ensayo: El aprovechamiento de la Agroindustria con el tratado de libre comercio con los Estados Unidos de América (en línea). Boletín Económico BCR. SV. Consultado 23 de ene. 2020. Disponible en: <https://www.bcr.gob.sv/bcrsite/uploaded/content/category/1404929269.pdf>

- NU (Naciones Unidas, Estados Unidos de Norteamérica). 2015. Desarrollo Sostenible, Objetivos de Desarrollo del Milenio (en línea). Consultado 12 ene. 2020. Disponible en http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/2015/mdg-report-2015_spanish.pdf
- Pachón, F. 2007. Desarrollo rural: más que desarrollo agrícola. Revista de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia (en línea). Bogotá, Colombia. Consultado 16 de ago. del 2021. Disponible <https://www.redalyc.org/pdf/4076/407642324008.pdf>.
- Pérez Bolaños, J; Salcedo Mendoza, JG. 2018. Componentes del rendimiento en cultivares de ajonjolí *Sesamum indicum* L. (Pedaliaceae), en el departamento de Sucre, Colombia (en línea). Sucre, Colombia. Consultado 16 de ene de 2020. Disponible <http://www.scielo.org.co/pdf/ccta/v19n2/0122-8706-ccta-19-02-00263.pdf>
- Quieroga, VP; Chávez León, JV; Pérez Valenzuela, FJ. 2018. Cultivo de ajonjolí para los campesinos en los departamentos de Choluteca y valle, Honduras (en línea). Honduras. Consultado 11 de Jul. 2020. Disponible https://issuu.com/abarriguda/docs/livro_20honduras
- Quintanilla Trigueros, JL. 2013. Desarrollo rural en El Salvador: una deuda política y social. Revista realidad 137 (en línea). Santa Ana, El Salvador. Consultado 24 de enero. 2020. Disponible en <file:///E:/3083-Texto%20del%20artículo-10154-1-10-20170123.pdf>
- Ramakrishna, B. 1990. Tecnología de la producción de ajonjolí, Programa cooperativo de investigación agrícola para la subregión andina. Acarigua, Venezuela (en línea). Consultado 31 de ene, 2020. Disponible: https://books.google.com/sv/books?id=pH0xq-IIA_MC&pg=PA118&dq=fertilizacion+en+cultivo+de+ajonjoli&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwixouWwia7nAhWns1kKHb5UBQAQ6AEINDAC#v=onepage&q=fertilizacion%20en%20cultivo%20de%20ajonjoli&f=false
- Ramos Aguirre, D. 2014. Generalidades de los abonos orgánicos: importancia del bocashi como alternativa nutricional para suelos y platas (en línea). La Habana, Cuba. Consultado 24 de may. 2020. Disponible http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362014000400007

Revista de Comercio Exterior, Nicaragua. s.f. Ajonjolí (en línea). Nicaragua. Consultado 16 de ene de 2020. Disponible <https://www.bcn.gob.ni/publicaciones/periodicidad/historico/sinopsis/5.pdf>

Rodríguez, OA. 2020. Metodología estadística de la investigación “Evaluación de cinco dosis de un fertilizante orgánico en el desarrollo y rendimiento del cultivo de ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), San Luis Talpa, La Paz, El Salvador”. Febrero (correspondencia personal). San Salvador, El Salvador, UES.

Romero Peñaloza, J; Rivera Moctezuma, D. s.f. El ajonjolí (*Sesamum indicum* L.), su tecnología y problemática en la región sureste de Tierra Caliente, Michoacán (en línea). MX. Consultado: 16 de ene de 2020. Disponible en: <https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rga-1703.pdf>

Ruíz Salazar, F. 1998. Manejo agroecológico del ajonjolí. Manual de manejo integrado de plagas en el cultivo de ajonjolí (en línea). León, Nicaragua. Consultado 11 de Jul. 2020. Disponible <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/4095/1/01.pdf>

Sabrían Gutiérrez, M. 2004. Elaboración de una mantequilla alimenticia a partir de la semilla descortezada de ajonjolí (en línea). San Salvador, El Salvador. Consultado 29 de jun. 2020. Disponible <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/5625/1/10128826.pdf>

Sánchez, RR. 1991. Producción de oleaginosas y textiles (en línea). Monterey, México. Consultado el 31 de ene, 2020. Disponible en: <https://books.google.com.sv/books?id=uX2CIIcKkR8C&pg=PA86&dq=fertilizacion+en+cultivo+de+ajonjoli&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwi2yaSJoK7nAhUu1VkkHTHHB8cQ6AEIPDAD#v=onepage&q=fertilizacion%20en%20cultivo%20de%20ajonjoli&f=false>

SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México). 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000 que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. México. Consultado 27 de feb. 2020. Disponible <http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf>

Shimadzu Corporation, Japón. s.f. Foodstuffs Analysis Methods, Japan Foodstuffs Manufacturing Society, Foodstuffs Analysis Methods Editorial Commission Publication (Korin Co.) (en línea). Kyoto, Japón. Consultado el 31 de ene. 2020. Disponible <https://www.shimadzu.com/an/balance/analytical/qn504200000065d8-att/qn5042000001bbin.pdf>

SINAVIMO (Sistema Nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de Plagas). 2013. *Sesamum indicum* (en línea). Argentina. Consultado 8 abr de 2020. Disponible en: <https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/sesamum-indicum>

Urtiaga, R. 2007. Catálogo de Insectos de la región central (en línea). Universidad de Costa Rica. Costa Rica. Consultado 16 de ene de 2020. Disponible <http://revistas.ucr.ac.cr/docs/AgronomiaMesoamericana/catalogo-de-los-insectos-de-la-region-central.pdf>

Vaca Moran, F; Vásquez Galán, J; Vásquez Granda, V; Vásquez Guillen, J. 2001. Manual de manejo el cultivo del ajonjolí (en línea). HN. Consultado 16 de ene de 2020. Disponible https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/2550/1/210904_0325%20ajonjoli.pdf

VECOL (Empresa Colombiana de Productos Veterinarios). s.f. El todo terreno para sus cultivos (en línea). Bogotá, Colombia. Consultado 10 de Jul. 2020. Disponible <https://www.vecol.com.co/uploads/productos/fertilizantes/Ficha%20Tecnica%20Fertilizante%2015-15-15-11S.pdf>

Yzarra Tito, WJ; López Ríos, FR. 2011. Manual de observaciones fenológicas (en línea). Ministerio de Agricultura. PE. Consultado: 26 de ene de 2020. Disponible en: <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>.

9. ANEXOS

Cuadro A-1. Resumen de análisis de varianzas para cada una de las variables evaluadas

Variable	CME	CV	R ²	S	Nivel de significancia para tratamientos	Nivel de significancia para bloques
Altura a las 15 días DDS (cm)	0,21	4,75	0,39	0,45	0,49 ^{NS}	0,4 ^{NS}
Altura a las 30 días DDS (cm)	17,07	10,52	0,44	4,28	0,51 ^{NS}	0,18 ^{NS}
Altura a las 45 días DDS (cm)	104,73	9,67	0,58	12,18	0,91 ^{NS}	0,01*
Altura a las 60 días DDS (cm)	83,83	5,64	0,69	12,81	0,85 ^{NS}	0,00**
Ganancia de altura (cm)	84,06	6	0,7	12,95	0,84 ^{NS}	0,00**
Ø tallo basal (mm) 30 DDS	0,88	11,46	0,61	1,16	0,53 ^{NS}	0,01*
Ø tallo basal (mm) 45 DDS	0,71	6,22	0,46	0,89	0,95 ^{NS}	0,04*
Ø tallo basal (mm) 60 DDS	4,11	12,2	0,48	2,17	0,43 ^{NS}	0,14 ^{NS}
Ø tallo basal promedio (mm)	1,05	8,02	0,44	1,06	0,85 ^{NS}	0,06 ^{NS}
Ø tallo medio (mm) 15 DDS	0,23	14,88	0,48	0,51	0,85 ^{NS}	0,04*
Ø tallo medio (mm) 30 DDS	0,56	10,17	0,86	1,53	0,17 ^{NS}	0,00**
Ø tallo medio (mm) 45 DDS	0,2	4,09	0,56	0,52	0,60 ^{NS}	0,02*
Ø tallo medio (mm) 60 DDS	0,37	5,76	0,37	0,6	0,67 ^{NS}	0,25 ^{NS}
Ø tallo medio promedio (mm)	0,13	4,57	0,71	0,53	0,28 ^{NS}	0,00**
Número de ramas	0,23	11,41	0,5	0,53	0,46 ^{NS}	0,09 ^{NS}
Número de cápsulas	551,85	12,93	0,49	25,52	0,80 ^{NS}	0,04*
Número promedio de semillas	2854415,17	12,93	0,49	1835,34	0,80 ^{NS}	0,04*
Peso 1000 semillas (g)	0,24	9,51	0,67	0,66	0,71 ^{NS}	0,00**
Rendimiento (qq ha ⁻¹)	1,42	12,92	0,49	1,3	0,79 ^{NS}	0,04*

Cuadro A-2. Coeficientes de correlación de Pearson y nivel de significancia para las variables del ajonjolí

Variables correlacionadas	Coeficiente de correlación (R)	Nivel de significancia (p-valor)
Ganancia de altura (cm)---Ø tallo basal promedio (mm)	0,62	0,0026*
Ganancia de altura (cm)---Ø tallo medio promedio (mm)	0,81	<0,0001**
Ganancia de altura (cm)---Número de ramas	-0,3	0,1937 ^{NS}
Ganancia de altura (cm)---Número de cápsulas	0,35	0,1224 ^{NS}
Ganancia de altura (cm)---Número promedio de semillas por planta	0,35	0,1224 ^{NS}
Ganancia de altura (cm)---Peso de 1000 semillas (g)	-0,44	0,0477*
Ganancia de altura (cm)---Rendimiento (qq ha ⁻¹)	0,35	0,1218 ^{NS}
Ganancia de altura (cm)---Aporte de N (g)	-0,22	0,3409 ^{NS}
Ganancia de altura (cm)---Aporte de P2O5 (g)	-0,22	0,3271 ^{NS}
Ganancia de altura (cm)---Aporte de K2O (g)	-0,22	0,3472 ^{NS}
Ø tallo basal promedio (mm)---Ø tallo medio promedio (mm)	0,54	0,0123*

Ø tallo basal promedio (mm)---Número de ramas	0,18	0,4335 ^{NS}
Ø tallo basal promedio (mm)---Número de cápsulas	0,63	0,0023*
Ø tallo basal promedio (mm)---Número promedio de semillas por planta	0,63	0,0023*
Ø tallo basal promedio (mm)---Peso de 1000 semillas (g)	-0,11	0,6463 ^{NS}
Ø tallo basal promedio (mm)---Rendimiento (qq ha ⁻¹)	0,63	0,0023*
Ø tallo basal promedio (mm)---Aporte de N (g)	-0,14	0,5339 ^{NS}
Ø tallo basal promedio (mm)---Aporte de P2O5 (g)	-0,13	0,5787 ^{NS}
Ø tallo basal promedio (mm)---Aporte de K2O (g)	-0,15	0,5169 ^{NS}
Ø tallo medio promedio (mm)---Número de ramas	-0,09	0,6969 ^{NS}
Ø tallo medio promedio (mm)---Número de cápsulas	0,44	0,0444*
Ø tallo medio promedio (mm)---Número promedio de semillas por planta	0,44	0,0444*
Ø tallo medio promedio (mm)---Peso de 1000 semillas (g)	-0,43	0,0536 ^{NS}
Ø tallo medio promedio (mm)---Rendimiento (qq ha ⁻¹)	0,44	0,0441*
Ø tallo medio promedio (mm)---Aporte de N (g)	-0,25	0,2777 ^{NS}
Ø tallo medio promedio (mm)---Aporte de P2O5 (g)	-0,26	0,2643 ^{NS}
Ø tallo medio promedio (mm)---Aporte de K2O (g)	-0,25	0,2838 ^{NS}
Número de ramas---Número de cápsulas	0,41	0,0684 ^{NS}
Número de ramas---Número promedio de semillas por planta	0,41	0,0684 ^{NS}
Número de ramas---Peso de 1000 semillas (g)	0,33	0,1424 ^{NS}
Número de ramas---Rendimiento (qq ha ⁻¹)	0,41	0,0684 ^{NS}
Número de ramas---Aporte de N (g)	0,30	0,1808 ^{NS}
Número de ramas---Aporte de P2O5 (g)	0,32	0,1634 ^{NS}
Número de ramas---Aporte de K2O (g)	0,3	0,1886 ^{NS}
Número de cápsulas---Número promedio de semillas por planta	1	<0,0001**
Número de cápsulas---Peso de 1000 semillas (g)	0,06	0,7871 ^{NS}
Número de cápsulas---Rendimiento (qq ha ⁻¹)	1	<0,0001**
Número de cápsulas---Aporte de N (g)	0,05	0,8234 ^{NS}
Número de cápsulas---Aporte de P2O5 (g)	0,07	0,7571 ^{NS}
Número de cápsulas---Aporte de K2O (g)	0,04	0,8506 ^{NS}
Número promedio de semillas por planta---Peso de 1000 semillas (g)	0,06	0,7871
Número promedio de semillas por planta---Rendimiento (qq ha ⁻¹)	1	<0,0001**
Número promedio de semillas por planta---Aporte de N (g)	0,05	0,8234 ^{NS}
Número promedio de semillas por planta---Aporte de P2O5 (g)	0,07	0,7571 ^{NS}
Número promedio de semillas por planta---Aporte de K2O (g)	0,04	0,8506 ^{NS}
Peso de 1000 semillas (g)---Rendimiento (qq ha ⁻¹)	0,06	0,7887 ^{NS}
Peso de 1000 semillas (g)---Aporte de N (g)	-0,07	0,7771 ^{NS}
Peso de 1000 semillas (g)---Aporte de P2O5 (g)	-0,06	0,8083 ^{NS}
Peso de 1000 semillas (g)---Aporte de K2O (g)	-0,07	0,765 ^{NS}
Rendimiento (qq ha ⁻¹)---Aporte de N (g)	0,05	0,8232 ^{NS}
Rendimiento (qq ha ⁻¹)---Aporte de P2O5 (g)	0,07	0,7569 ^{NS}
Rendimiento (qq ha ⁻¹)---Aporte de K2O (g)	0,04	0,8503 ^{NS}

Cuadro A-3. Medias de las variables en el cultivo de ajonjolí

Tratamientos en estudio	Ganancia de altura (cm)	Significancia estadística	Ø tallo basal (mm)	Significancia estadística	Ø tallo medio (mm)	Significancia estadística	Número de ramas	Significancia estadística	Número de cápsulas	Significancia estadística	Número de semillas por planta	Significancia estadística	Rendimiento (Peso 1000 semillas)	Significancia estadística	Rendimiento (qq ha ⁻¹)	Significancia estadística
0	155.78	A	12.26	A	7.99	A	3.82	A	166.56	A	11978.94	A	4.97	A	8,46	A
1	146.66	A	12.32	A	7.75	A	4.58	A	181.3	A	13039.1	A	4.97	A	9,21	A
2	155.13	A	12.96	A	8.31	A	4.31	A	170.21	A	12241.49	A	5.27	A	8,65	A
3	154.7	A	12.75	A	8.09	A	4.17	A	188	A	13520.81	A	5.17	A	9,55	A
4	155	A	13.2	A	8.41	A	4.36	A	187.21	A	13464.48	A	4.8	A	9,51	A
5	152.72	A	13.22	A	7.87	A	3.96	A	187.43	A	13479.89	A	5.47	A	9,52	A
6	149.01	A	12.79	A	7.79	A	4.53	A	191.19	A	13750.61	A	5.13	A	9,71	A

Cuadro A-4. Componentes que explican la varianza

Autovalores			
Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	6.05	0.47	0.47
2	2.76	0.21	0.68
3	2.13	0.16	0.84
4	1.18	0.09	0.93
5	0.71	0.05	0.99
6	0.17	0.01	1
7	0	0	1
8	0	0	1
9	0	0	1
10	0	0	1
11	0	0	1
12	0	0	1
13	0	0	1

Cuadro A-5. Componentes de las variables.

Autovectores		
Variables	e1	e2
%Humedad Total	-0.08	0.55
% Materia Seca	0.08	-0.55
%Ceniza	0.34	0.28
%Proteína Cruda	-0.06	-0.04
%Extracto Etéreo	-0.37	-0.08
%Fibra Cruda	0.26	-0.06
%Carbohidratos	0.33	0.23
ppm Ca	0.4	-0.03
ppm Fe	0.15	0.3
ppm K	0.29	-0.23
ppm Mg	0.34	-0.18
ppm Na	0.03	-0.27
ppm P	0.4	1.40E-03
Correlación cofenética = 0.934		

Figura A-1. Resultados de los análisis bromatológicos de la semilla de ajonjolí.



Figura A-2. Resultados de los análisis de suelo y del estiércol de ganado bovino.



Cuadro A-6. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí sin aplicación de fertilizante.

Actividad	Cantidad en 28 m ²	Cantidad en 1 manzana	Cantidad en 1 hectárea	Precio unitario (dólares)	Precio total por 28 m ² (dólares)	Precio total por manzana (dólares)	Precio total por hectárea (dólares)
Costos							
Herbicida Paraquat	0.0048 litro	1.21 litro	1.73 litro	\$4.50	\$0.021	\$5.44	\$7.78
Mano de obra para aplicar herbicida	2 d/p*	2d/p*	2d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Insecticida Connet	0.0081 litro	0.45 litro	0.65 litro	\$41.61	\$0.33	\$18.72	\$27.04
Mano de obra para aplicar insecticida	3 d/p*	3d/p*	3d/p*	\$6.00	\$18.00	\$18.00	\$18.00
Fungicida Oxidor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$40.00	\$0.24	\$60.00	\$86.4
Fungicida Prevalor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$58.77	\$0.35	\$88.74	\$126.94
Mano de obra para aplicar fungicidas	5 d/p*	5d/p*	5d/p*	\$6.00	\$30.00	\$30.00	\$30.00
				Sub total	\$60.94	\$232.90	\$308.16
Ingresos							
Venta de la producción/manzana	0.03 quintales	7.50 quintales	10.71 quintales	\$60.00	\$1.80	\$450.00	\$642.60
				Ingreso neto	\$-59.14	\$217.10	\$334.44

*d/p = día persona.

Cuadro A-7. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante orgánico (estiércol de ganado bovino).

Actividad	Cantidad en 28 m ²	Cantidad en 1 manzana	Cantidad en 1 hectárea	Precio unitario (dólares)	Precio total por 28 m ² (dólares)	Precio total por manzana (dólares)	Precio total por hectárea (dólares)
Costos							
Fertilizante orgánico	0.28 quintal	70 quintal	100 quintal	\$2.50	\$0.70	\$175.00	\$250.00
Mano de obra para fertilizar	2 d/p*	2 d/p*	2 d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Herbicida Paracuat	0.0048 litro	1.21 litro	1.73 litro	\$4.50	\$0.021	\$5.44	\$7.78
Mano de obra para aplicar herbicida	2 d/p*	2d/p*	2d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Insecticida Connet	0.0081 litro	0.45 litro	0.65 litro	\$41.61	\$0.33	\$18.72	\$27.04
Mano de obra para aplicar insecticida	3 d/p*	3d/p*	3d/p*	\$6.00	\$18.00	\$18.00	\$18.00
Fungicida Oxidor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$40.00	\$0.24	\$60.00	\$86.4
Fungicida Prevalor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$58.77	\$0.35	\$88.74	\$126.94
Mano de obra para aplicar fungicidas	5 d/p*	5d/p*	5d/p*	\$6.00	\$30.00	\$30.00	\$30.00
				Sub total	\$73.64	\$407.9	\$558.16
Ingresos							
Venta de la producción/manzana	0.0328 quintales	8.20 quintales	11.71 quintales	\$60.00	\$1.96	\$492.00	\$702.60
				Ingreso neto	\$-71.68	\$84.10	\$144.44

*d/p = día persona.

Cuadro A-8. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 0.50 kg/28 m².

Actividad	Cantidad en 28 m ²	Cantidad en 1 manzana	Cantidad en 1 hectárea	Precio unitario (dólares)	Precio total por 28 m ² (dólares)	Precio total por manzana (dólares)	Precio total por hectárea (dólares)
Costos							
Fertilizante 15-15-15	0.005 quintal	1.25 quintal	1.78 quintal	\$50.00	\$0.25	\$62.50	\$89.00
Mano de obra para fertilizar	2 d/p*	2 d/p*	2 d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Herbicida Paraquat	0.0048 litro	1.21 litro	1.73 litro	\$4.50	\$0.021	\$5.44	\$7.78
Mano de obra para aplicar herbicida	2 d/p*	2d/p*	2d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Insecticida Connet	0.0081 litro	0.45 litro	0.65 litro	\$41.61	\$0.33	\$18.72	\$27.04
Mano de obra para aplicar insecticida	3 d/p*	3d/p*	3d/p*	\$6.00	\$18.00	\$18.00	\$18.00
Fungicida Oxidor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$40.00	\$0.24	\$60.00	\$86.4
Fungicida Prevalor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$58.77	\$0.35	\$88.74	\$126.94
Mano de obra para aplicar fungicidas	5 d/p*	5d/p*	5d/p*	\$6.00	\$30.00	\$30.00	\$30.00
				Sub total	\$73.19	\$307.40	\$409.52
Ingresos							
Venta de la producción/manzana	0.0348 quintales	8.70 quintales	12.42 quintales	\$60.00	\$2.08	\$522.00	\$745.20
				Ingreso neto	-\$77.10	\$214.60	\$335.68

*d/p = día persona.

Cuadro A-9. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 0.72 kg/28 m².

Actividad	Cantidad en 28 m ²	Cantidad en 1 manzana	Cantidad en 1 hectárea	Precio unitario (dólares)	Precio total por 28 m ² (dólares)	Precio total por manzana (dólares)	Precio total por hectárea (dólares)
Costos							
Fertilizante 15-15-15	0.0072 quintal	1.80 quintal	2.50 quintal	\$50.00	\$0.36	\$90.00	\$125.00
Mano de obra para fertilizar	2 d/p*	2 d/p*	2 d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Herbicida Paraquat	0.0048 litro	1.21 litro	1.73 litro	\$4.50	\$0.021	\$5.44	\$7.78
Mano de obra para aplicar herbicida	2 d/p*	2d/p*	2d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Insecticida Connet	0.0081 litro	0.45 litro	0.65 litro	\$41.61	\$0.33	\$18.72	\$27.04
Mano de obra para aplicar insecticida	3 d/p*	3d/p*	3d/p*	\$6.00	\$18.00	\$18.00	\$18.00
Fungicida Oxidor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$40.00	\$0.24	\$60.00	\$86.4
Fungicida Prevalor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$58.77	\$0.35	\$88.74	\$126.94
Mano de obra para aplicar fungicidas	5 d/p*	5d/p*	5d/p*	\$6.00	\$30.00	\$30.00	\$30.00
				Sub total	\$73.30	\$334.90	\$445.16
Ingresos							
Venta de la producción/manzana	0.0409 quintales	10.22 quintales	14.60 quintales	\$60.00	\$2.45	\$613.20	\$876.00
				Ingreso neto	-\$70.85	\$278.3	\$430.84

*d/p = día persona.

Cuadro A-10. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 0.84 kg/28 m².

Actividad	Cantidad en 28 m ²	Cantidad en 1 manzana	Cantidad en 1 hectárea	Precio unitario (dólares)	Precio total por 28 m ² (dólares)	Precio total por manzana (dólares)	Precio total por hectárea (dólares)
Costos							
Fertilizante 15-15-15	0.0084 quintal	2.1 quintales	3 quintales	\$50.00	\$0.42	\$105.00	\$150.00
Mano de obra para fertilizar	2 d/p*	2 d/p*	2 d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Herbicida Paraquat	0.0048 litro	1.21 litro	1.73 litro	\$4.50	\$0.021	\$5.44	\$7.78
Mano de obra para aplicar herbicida	2 d/p*	2d/p*	2d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Insecticida Connet	0.0081 litro	0.45 litro	0.65 litro	\$41.61	\$0.33	\$18.72	\$27.04
Mano de obra para aplicar insecticida	3 d/p*	3d/p*	3d/p*	\$6.00	\$18.00	\$18.00	\$18.00
Fungicida Oxidor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$40.00	\$0.24	\$60.00	\$86.4
Fungicida Prevalor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$58.77	\$0.35	\$88.74	\$126.94
Mano de obra para aplicar fungicidas	5 d/p*	5d/p*	5d/p*	\$6.00	\$30.00	\$30.00	\$30.00
				Sub total	\$73.36	\$349.90	\$470.16
Ingresos							
Venta de la producción/manzana	0.0404 quintales	10.10 quintales	14.42 quintales	\$60.00	\$2.42	\$606.00	\$865.20
				Ingreso neto	-\$70.94	\$256.1	\$395.04

*d/p = día persona.

Cuadro A-11. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 1.26 kg/28 m².

Actividad	Cantidad en 28 m ²	Cantidad en 1 manzana	Cantidad en 1 hectárea	Precio unitario (dólares)	Precio total por 28 m ² (dólares)	Precio total por manzana (dólares)	Precio total por hectárea (dólares)
Costos							
Fertilizante 15-15-15	0.0126 quintal	3.15 quintales	4.50 quintales	\$50.00	\$0.63	\$157.50	\$225.00
Mano de obra para fertilizar	2 d/p*	2 d/p*	2 d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Herbicida Paraquat	0.0048 litro	1.21 litro	1.73 litro	\$4.50	\$0.021	\$5.44	\$7.78
Mano de obra para aplicar herbicida	2 d/p*	2d/p*	2d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Insecticida Connet	0.0081 litro	0.45 litro	0.65 litro	\$41.61	\$0.33	\$18.72	\$27.04
Mano de obra para aplicar insecticida	3 d/p*	3d/p*	3d/p*	\$6.00	\$18.00	\$18.00	\$18.00
Fungicida Oxidor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$40.00	\$0.24	\$60.00	\$86.4
Fungicida Prevalor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$58.77	\$0.35	\$88.74	\$126.94
Mano de obra para aplicar fungicidas	5 d/p*	5d/p*	5d/p*	\$6.00	\$30.00	\$30.00	\$30.00
				Sub total	\$73.57	\$402.4	\$545.16
Ingresos							
Venta de la producción/manzana	0.0388 quintales	9.70 quintales	13.85 quintales	\$60.00	\$2.32	\$580.00	\$831.00
				Ingreso neto	-\$71.24	\$177.6	\$285.85

*d/p = día persona.

Cuadro A-12. Presupuesto para cultivar una hectárea de ajonjolí con aplicación de fertilizante fórmula 15-15-15 en dosis de 1.40 kg/28 m².

Actividad	Cantidad en 28 m ²	Cantidad en 1 manzana	Cantidad en 1 hectárea	Precio unitario (dólares)	Precio total por 28 m ² (dólares)	Precio total por manzana (dólares)	Precio total por hectárea (dólares)
Costos							
Fertilizante 15-15-15	0.014 quintales	3.50 quintales	5.00 quintales	\$50.00	\$0.70	\$175.00	\$250.00
Mano de obra para fertilizar	2 d/p*	2 d/p*	2 d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Herbicida Paraquat	0.0048 litro	1.21 litro	1.73 litro	\$4.50	\$0.021	\$5.44	\$7.78
Mano de obra para aplicar herbicida	2 d/p*	2d/p*	2d/p*	\$6.00	\$12.00	\$12.00	\$12.00
Insecticida Connet	0.0081 litro	0.45 litro	0.65 litro	\$41.61	\$0.33	\$18.72	\$27.04
Mano de obra para aplicar insecticida	3 d/p*	3d/p*	3d/p*	\$6.00	\$18.00	\$18.00	\$18.00
Fungicida Oxidor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$40.00	\$0.24	\$60.00	\$86.4
Fungicida Prevalor	0.0060 litro	1.51 litro	2.16 litro	\$58.77	\$0.35	\$88.74	\$126.94
Mano de obra para aplicar fungicidas	5 d/p*	5d/p*	5d/p*	\$6.00	\$30.00	\$30.00	\$30.00
				Sub total	\$73.64	\$419.90	\$570.16
Ingresos							
Venta de la producción/manzana	0.0325 quintales	8.12 quintales	11.60 quintales	\$60.00	\$1.95	\$487.20	\$696.00
				Ingreso neto	-\$71.69	\$67.30	\$125.84

*d/p = día persona.