

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES**

CARRERA AGROPECUARIA



**TEMA: “EFECTO DE LA APLICACIÓN DE SACAROSA Y DENSIDADES DE
SIEMBRA EN LAS CARACTERÍSTICAS AGROPRODUCTIVAS DE FRÉJOL
(*Phaseolus Vulgaris* L.) EN PEÑAHERRERA-COTACACHI”**

Trabajo de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Agropecuario

AUTOR

Pedro Gabriel Bolaños Gómez

DIRECTOR

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

IBARRA-ECUADOR

2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN
CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE SACAROSA Y DENSIDADES DE SIEMBRA
EN LAS CARACTERÍSTICAS AGROPRODUCTIVAS DE FRÉJOL (*Phaseolus
Vulgaris* L.) EN PEÑAHERRERA-COTACACHI**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su
presentación como requisito parcial para obtener título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

APROBADO:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

DIRECTOR



Firmado electrónicamente por:
**MIGUEL ALEJANDRO
GÓMEZ CABEZAS**

Validar únicamente con FirmaSC

FIRMA

Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

MIEMBRO TRIBUNAL



Firmado electrónicamente por:
**LUIS MARCELO ALBUJA
ILLESCAS**

Validar únicamente con FirmaSC

FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA
AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN A
FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información

DATOS DE CONTACTO			
Cédula de identidad:	1003632088		
Apellidos y nombres:	Bolaños Gómez Pedro Gabriel		
Dirección:	Peñaherrera-Cotacachi-Imbabura		
Email:	pgbolanosg@utn.edu.ec		
Teléfono fijo:	N/G	Teléfono móvil:	0960198048

DATOS DE LA OBRA	
Título:	EFECTO DE LA APLICACIÓN DE SACAROSA Y DENSIDADES DE SIEMBRA EN LAS CARACTERÍSTICAS AGROPRODUCTIVAS DE FRÉJOL (<i>Phaseolus Vulgaris</i> L.) EN PEÑAHERRERA-COTACACHI
Autores:	Bolaños Gómez Pedro Gabriel
Fecha:	03 de marzo del 2026
Solo para trabajos de grado	
Programa	<input type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
Título por el que opta	Ingeniero Agropecuario
Director/Asesor	Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc. Ing. Luis Marcelo Albuja Illescas, MSc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrollo, sin los derechos de autores terceros; por lo tanto, la obra es original y es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 03 días del mes de marzo del 2026

EL AUTOR



Firmado electrónicamente por:
PEDRO GABRIEL
BOLAÑOS GOMEZ
Validar únicamente con FirmaEC

.....
Pedro Gabriel Bolaños Gómez
C.I.: 1003632088

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Pedro Gabriel Bolaños Gómez , bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 03 días del mes de marzo del 2026



Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.
DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 03 días del mes de marzo del 2026

TEMA: “EFECTO DE LA APLICACIÓN DE SACAROSA Y DENSIDADES DE SIEMBRA EN LAS CARACTERÍSTICAS AGROPRODUCTIVAS DE FRÉJOL

(*Phaseolus Vulgaris L.*) EN PEÑAHERRERA-COTACACHI” /Trabajo de titulación.

Ingeniero Agropecuario.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 03 días del mes de marzo del 2025 69 páginas.

DIRECTOR: Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar el efecto de la aplicación de sacarosa y densidades de siembra en las características agroproductivas de fréjol (*Phaseolus vulgaris L.*) en Intag Cotacachi, Imbabura. Entre los objetivos específicos se encuentran: Cuantificar el rendimiento de fréjol bajo las distintas densidades y dosis de sacarosa y comparar las características morfológicas del cultivo de fréjol entre los tratamientos en estudio.



Firmado electrónicamente por:
**MIGUEL ALEJANDRO
GOMEZ CABEZAS**

Validar Únicamente con FirmaEC

.....

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, MSc

Director de Trabajo de Grado



Firmado electrónicamente por:
**PEDRO GABRIEL
BOLAÑOS GOMEZ**

Validar Únicamente con FirmaEC

.....

Bolaños Gómez Pedro Gabriel

Autor

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, deseo expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. Miguel Gómez, MSc, quien, en su calidad de director de tesis, ha sido un pilar fundamental para la culminación exitosa de este trabajo. Su guía, paciencia y compromiso constante fueron determinantes en cada etapa del proceso investigativo, y sus aportes académicos y humanos han dejado una huella profunda en mi formación profesional.

De igual manera, extiendo mi gratitud a la Universidad Técnica del Norte, institución que me acogió y formó a lo largo de mi trayectoria universitaria. Agradezco los conocimientos adquiridos, las experiencias vividas y las oportunidades de crecimiento que me brindó durante estos años de formación.

Finalmente, a mi querida familia, por ser mi mayor fuente de fortaleza y por haberme apoyado incondicionalmente en todo momento. Su amor, comprensión y respaldo han sido fundamentales para alcanzar esta meta.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo con todo mi corazón a mi abuelo Enrique Bolaños, quien desde el cielo me ha acompañado con su luz y bendición. Su recuerdo ha sido una fuente constante de inspiración y fuerza en los momentos más desafiantes. A la compañera de mi vida, Jasmin Guerrero, por su amor, paciencia y apoyo incondicional en cada paso de este camino. Gracias por estar siempre, por creer en mí y por ser mi mayor motivación junto a Miller. A mis padres, Pedro Bolaños y Elena Gómez, por su esfuerzo, sacrificio y el ejemplo de perseverancia que me han inculcado desde pequeño. Este logro es tan mío como de ustedes. A mis hermanos, que de una u otra manera han estado presentes en cada paso que he dado durante todo este trayecto, siendo una inspiración más para salir adelante y sacar a flote este proyecto. Y a toda mi familia que ha creído en mí, y este logro es para demostrar que sí se puede

ÍNDICE DE CONTENIDO

1 INTRODUCCIÓN	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Problema.....	17
1.3 Justificación.....	17
1.4 Objetivos.....	18
1.4.1. Objetivo general.....	18
1.4.2. Objetivos específicos.....	18
1.5 Hipótesis.....	18
2 MARCO TEÓRICO	19
2.1 Generalidades del cultivo de fréjol.....	19
2.1.1. Origen	19
2.1.2. Clasificación taxonómica.....	19
2.1.3. Morfología.....	19
2.2 Condiciones agroclimáticas óptimas para el cultivo.....	22
2.2.1 Clima	22
2.2.2. Suelo	22
2.3 Manejo del cultivo.....	23
2.3.1. Preparación del terreno.....	23
2.3.2. Siembra.....	23
2.3.3. Fertilización.....	23
2.3.4. Labores culturales.....	23
2.3.5. Control de plagas y enfermedades.....	24
2.3.6. Riego.	25
2.3.7. Cosecha.....	25
2.3.8. Trilla y almacenamiento.....	25
2.4 Marco legal.....	26
3 CAPÍTULO III METODOLOGÍA	27
3.1 Caracterización del área de estudio.....	27
3.1.1. Ubicación geográfica.....	27
3.1.2. Características Agroecológicas.....	28
3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas.....	28

3.3 Métodos	29
3.3.1. Factor en estudio	29
3.3.2. Diseño experimental.....	29
3.3.3. Análisis estadístico	32
3.4 Variables evaluadas	32
3.4.1. Rendimiento en grano seco	32
3.4.2. Número de vainas.....	32
3.4.3. Número de semillas por vaina.....	32
3.4.4. Tamaño de vainas.....	33
3.4.5. Tamaño de semillas	33
3.4.6. Peso de cien semillas.....	33
3.4.7. Altura de planta	33
3.4.7. Costos de producción	33
3.5 Manejo específico del experimento	34
3.5.1. Diseño de parcela	34
3.5.2. Preparación del terreno.....	34
3.5.3. Siembra	34
3.5.4. Labores culturales.....	34
3.5.5. Controles fitosanitarios.....	34
3.5.6. Aplicaciones de sacarosa.....	35
3.5.7. Cosecha	35
3.5.8. Evaluación de variables.....	35
CAPÍTULO IV	36
4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
4.1 Tamaño de la vaina	36
4.1.1. Largo de la vaina	36
4.1.2. Ancho de la vaina	37
4.1.3. Espesor de la vaina.....	38
4.2 Tamaño de la semilla.....	39
4.2.1. Largo de la semilla	40
4.2.2. Ancho de la semilla	41
4.2.3. Espesor de la semilla.....	42
4.3. Número de semillas por vaina.....	42

4.4 Número de vainas por planta.....	43
4.5 Altura de la planta.....	44
4.6 Rendimiento kg ha ⁻¹	45
4.7 Peso de 100 semillas.....	46
4.8 Costos de producción.....	47
5 CONCLUSIONES.....	48
6 BIBLIOGRAFÍA.....	49

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Etapas fenológicas del cultivo de fréjol.....</i>	21
Tabla 2. <i>Principales plagas que atacan al fréjol y su manejo según Peralta et al. (1998).</i>	24
Tabla 3. <i>Enfermedades comunes en el fréjol y su control</i>	25
Tabla 4. <i>Características del área en donde se realizó la investigación.</i>	28
Tabla 5. <i>Características agroecológicas del área de estudio.....</i>	28
Tabla 6. <i>Materiales, equipos, insumos y herramientas.....</i>	28
Tabla 7. <i>Densidades de siembra usadas en la investigación</i>	29
Tabla 8. <i>Dosis de sacarosa usadas.....</i>	29
Tabla 9. <i>Análisis de varianza</i>	32
Tabla 10. <i>Resultados del largo de la vaina a diferentes densidades de siembra y dosis de sacarosa.....</i>	40
Tabla 11. <i>Tabla del análisis de varianza de la variable altura de la planta.....</i>	45
Tabla 12. <i>Análisis de varianza de la variable rendimiento kg ha⁻¹.</i>	46
Tabla 13. <i>Costo por parcela y por hectárea de los diferentes factores aplicados, hablando de semilla y sacarosa usados.....</i>	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Ubicación donde se desarrolló el proyecto de investigación.....</i>	27
Figura 2. <i>Diseño experimental.....</i>	30
Figura 3. <i>Diseño de la unidad experimental D1.....</i>	31
Figura 4. <i>Descripción de la unidad experimental D2</i>	31
Figura 5. <i>Largo de la vaina de la interacción entre las dosis de sacarosa y las densidades de siembra</i>	37

Figura 6. <i>Ancho de la vaina de la interacción entre las dosis de sacarosa y las densidades de siembra</i>	38
Figura 7. <i>Espesor de la vaina sometida a diferentes densidades de siembra y dosis de sacarosa.....</i>	39
Figura 8. <i>Acho de la semilla de la interacción entre las dosis de sacarosa y las densidades de siembra</i>	41
Figura 9. <i>Espesor de la semilla de la interacción entre las dosis de sacarosa y las densidades de siembra en fréjol</i>	42
Figura 10. <i>Número de semillas por cada vaina comparadas entre densidades de siembra.</i>	43
Figura 11. <i>Número de vainas por cada planta del resultado de la interacción entre las densidades de siembra y dosis de sacarosa.....</i>	44
Figura 12. <i>Peso de 100 semillas</i>	46

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. <i>Análisis de la base de datos en Infostat</i>	54
---	-----------

**EFFECTO DE LA APLICACIÓN DE SACAROSA Y DENSIDADES DE SIEMBRA
EN LAS CARACTERÍSTICAS AGROPRODUCTIVAS DE FRÉJOL
(*Phaseolus Vulgaris* L.) EN PEÑAHERRERA-COTACACHI**

Autores: Bolaños Gómez Pedro Gabriel

Universidad Técnica del Norte

Correo: pgbolanosg@utn.edu.ec

RESUMEN

El *Phaseolus vulgaris* L (fréjol) es un cultivo fundamental en la alimentación ecuatoriana. No obstante, en los últimos años su rendimiento ha disminuido debido a prácticas agrícolas inadecuadas y a la falta de implementación de técnicas que optimicen su productividad. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de la aplicación foliar de sacarosa y distintas densidades de siembra sobre el rendimiento y características agroproductivas del fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Peñaherrera, Cotacachi. Se empleó un diseño de parcelas divididas con dos densidades de siembra: D1 (3 semillas/punto, 0.6 × 0.3 m) y D2 (1 semilla/punto, 0.6 × 0.2 m), y tres concentraciones de sacarosa (0, 10 y 100 mM). Se midieron variables como rendimiento, número de vainas, número de semillas por vaina, dimensiones de vaina y semilla, y peso de 100 semillas. Los resultados mostraron que, aunque el rendimiento total no presentó diferencias estadísticas significativas entre tratamientos, la densidad baja (D2) logró igualar el rendimiento de D1 con menor número de plantas, evidenciando una mayor eficiencia productiva por planta. Esto se atribuye a una mejor exposición a la luz, que favoreció la formación de vainas, el llenado de semillas y el peso de 100 semillas, el cual se incrementó en un 6.7 %. Asimismo, el número de semillas por vaina aumentó en un 17.71 % en D2 respecto a D1. En cuanto a la sacarosa, su efecto fue más notorio en el número de vainas, registrándose un incremento del 41.3 % en D1 y del 14.8 % en D2 con las mayores concentraciones. Si bien el rendimiento global no varió significativamente, la densidad D2 demostró ser más eficiente y representa una alternativa agronómica viable para mejorar el rendimiento unitario del fréjol.

Palabras clave: Frejol, rendimiento, sacarosa, densidad de siembra.

**EFFECT OF SUCROSE APPLICATION AND PLANTING DENSITIES ON THE
AGRO-PRODUCTIVE CHARACTERISTICS OF BEANS (*Phaseolus Vulgaris*
L.) IN PEÑAHERRERA-COTACACHI**

Author: Bolaños Gómez Pedro Gabriel

University: Universidad Técnica del Norte

Email: pgbolanosg@utn.edu.ec

ABSTRACT

Phaseolus vulgaris L (common bean) is a fundamental crop in Ecuadorian nutrition. However, in recent years, its yield has declined due to inadequate agricultural practices and the lack of implementation of techniques aimed at optimizing productivity. This study aimed to evaluate the effect of foliar sucrose application and different planting densities on the yield and agronomic characteristics of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in Peñaherrera, Cotacachi. A split-plot design was used with two planting densities: D1 (3 seeds/hill, 0.6 × 0.3 m) and D2 (1 seed/hill, 0.6 × 0.2 m), and three sucrose concentrations (0, 10, and 100 mM). Variables such as yield, number of pods, number of seeds per pod, pod and seed dimensions, and weight of 100 seeds were measured. Results indicated that although total yield did not show statistically significant differences among treatments, the lower density (D2) achieved similar yields to D1 with fewer plants, demonstrating greater productive efficiency per plant. This was attributed to improved light exposure, which favored pod formation, seed filling, and a 6.7% increase in the weight of 100 seeds. Likewise, the number of seeds per pod increased by 17.71% in D2 compared to D1. Regarding sucrose application, its effect was more evident in the number of pods, with increases of 41.3% in D1 and 14.8% in D2 at the highest concentrations. While overall yield did not vary significantly, D2 proved to be a more efficient and agronomically viable alternative to enhance per-plant bean productivity.

Keywords: Common bean, yield, sucrose, planting density

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Ecuador es un país con una larga tradición agrícola y el fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los cultivos más importantes en su economía agraria y en la seguridad alimentaria de la población (Guamán et al., 2020). Dado que el fréjol es una leguminosa de grano de consumo directo y es una de las fuentes de proteínas y carbohidratos. Además, aporta a la economía de pequeños y medianos productores, principalmente en la sierra donde es ampliamente sembrado (Vargas Tupiza, 2018). Principalmente en las provincias de Carchi, Imbabura, Chimborazo, Bolívar y Loja (Peralta et al., 2013). El cultivo de fréjol genera 67 mil empleos; además, constituye el 0.63 del valor agregado bruto (VAB) agropecuario del PIB (Sistema de Información Pública Agropecuaria, 2023).

Como se mencionó antes el fréjol es una fuente importante de proteínas, carbohidratos y minerales en la dieta de los ecuatorianos, especialmente en las zonas rurales donde es cultivado ampliamente. Debido a su aporte nutricional de 36% de proteína, 30% de carbohidratos, 19% de lípidos y 15% de fibra dietética (Llanga et al., 2023). Para mejorar el rendimiento del fréjol en Ecuador, es necesario implementar prácticas agrícolas sostenibles como: la rotación de cultivos, el uso eficiente de los recursos hídricos y la selección de variedades adaptadas a las condiciones locales (Mier-Tous et al., 2023).

La densidad de siembra puede ser considerada como la competencia de las plantas por luz. Esta competencia se describe como la interacción entre organismos que coexisten en el mismo hábitat y necesitan simultáneamente uno o más recursos. Para las plantas, estos recursos incluyen luz, agua, espacio y nutrientes (Espinoza, 2009).

La densidad de siembra es un factor crucial que influye en el rendimiento del cultivo de fréjol en Ecuador. Según estudios realizados por Vásquez et al. (2024), densidades más altas pueden resultar en una mayor competencia entre las plantas por los recursos disponibles, lo que puede reducir el rendimiento individual de los cultivos. Por otro lado, Rodríguez et al. (2020) encontraron que densidades más bajas pueden llevar a un aprovechamiento subóptimo del espacio y los recursos, lo que también puede afectar negativamente el rendimiento. Sin embargo, estudios realizados en México han demostrado que variaciones en la densidad de siembra y la disposición de las plantas pueden tener un impacto considerable en los rendimientos agrícolas. Según Pérez C. y Pimentel G. (2014), incrementar la densidad de

plantación de 180000 a 240000 plantas por hectárea, con distancia entre hileras de 76 cm y 20 cm respectivamente, una distancia de 14 cm entre plantas con una semilla por sitio, el cual afectó significativamente componentes del rendimiento como el número de vainas por planta y el número de granos por vaina, corroborando el trabajo Osuna-Ceja et al. (2018).

De la misma manera, Vásquez et al. (2024), donde se estudiaron dos densidades de siembra: D1, una distancia entre plantas de 0.30 m y D2 0.60 m, la distancia de surcos 0.80 m y 0.60m. Donde se estudió su efecto en el número de vainas, longitud de estas, número de granos por vainas, además del rendimiento. Los resultados sugieren que altas densidades de siembra podrían resultar en un menor número de vainas y granos más pequeños. Aunque aún se pueden alcanzar rendimientos óptimos hasta un límite, más allá del cual la competencia por recursos esenciales como agua, luz y nutrientes puede volverse perjudicial.

La sacarosa, un disacárido comúnmente conocido como azúcar de mesa, ha sido reconocida por su capacidad para mejorar el rendimiento de producción en diversos cultivos agrícolas. Varios estudios han demostrado que la sacarosa puede afectar el crecimiento y desarrollo de las plantas y la calidad y cantidad de los productos cosechados (Suarez et al., 2020).

Por otro lado, la sacarosa como fuente de carbohidratos puede proporcionar varios beneficios a los cultivos, incluida una mayor producción y calidad de los productos agrícolas. Según estudios realizados por Medina et al. (2010), la aplicación de sacarosa adecuada al cultivo puede mejorar el crecimiento, desarrollo de las plantas, y mejorar la absorción de nutrientes. Lo que conduce a un aumento significativo en el rendimiento del cultivo. Hay estudios que muestran que altas dosis de sacarosa inciden negativamente en la acción fotosintética de las plantas ((LANGFORD y WAINWRIGHT, 1987); (Ribeiro et al., 2017); (Altuntaş et al., 2019)).

La sacarosa puede aumentar la resistencia de las plantas a factores de estrés abiótico, como la sequía y la salinidad del suelo, lo que contribuye a una mayor tolerancia y supervivencia de los cultivos en condiciones adversas. Ya que pueden usarle como fuente de energía y como sustrato para otros procesos de síntesis de nutrientes (Hoffmann, 2010).

La aplicación de sacarosa puede aumentar la tasa de crecimiento de las plantas, promover una mayor acumulación de biomasa y mejorar la calidad de los frutos, como el tamaño y la firmeza. Además, la aplicación de sacarosa en cultivos como fresas y brotes de arveja comestibles puede mejorar sus características nutricionales, aumentando la concentración de fructosa, vitamina C y proteína soluble (Li et al., 2019).

1.2 Problema

El cultivo de fréjol en Ecuador enfrenta varios desafíos; no siempre satisface la demanda interna, por lo que se importan grandes cantidades de fréjol, especialmente en épocas de escasez (SIPA, 2023). Esto puede atribuirse a diversos factores, como la falta de tecnologías adecuadas, la baja productividad y los problemas de enfermedades y plagas que afectan al cultivo.

La producción de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) podría ser afectada por diversos factores ambientales, entre ellos la disponibilidad de luz y la densidad de siembra. Investigaciones previas han demostrado que la insuficiente exposición a la luz puede reducir la tasa fotosintética y, en consecuencia, disminuir el rendimiento del cultivo. Además, densidades de siembra inadecuadas pueden provocar una mayor competencia entre las plantas por los recursos disponibles, lo que limita su crecimiento y desarrollo, y reduce la producción de fréjol (Vásquez et al., 2024). Por lo tanto, es crucial comprender cómo estos factores influyen en la producción de fréjol y desarrollar estrategias de manejo que minimicen sus efectos negativos. Según estudios recientes, se ha observado que el rendimiento del fréjol en Ecuador puede alcanzar entre 1.0 y 2.5 toneladas por hectárea en condiciones óptimas (SIPA, 2023).

1.3 Justificación

Las densidades de siembras tienden a afectar el rendimiento del cultivo de fréjol; por ende, es importante encontrar un equilibrio óptimo en la densidad de siembra para maximizar el rendimiento del cultivo de fréjol en Ecuador. Esta tiene un impacto significativo en la eficiencia con la que las plantas pueden capturar y utilizar la luz, un factor crucial para la fotosíntesis, por ende, para el rendimiento del cultivo. Al aumentarla, las plantas tienden a competir más intensamente por recursos limitados como la luz, lo que puede resultar en una disminución del acceso de luz solar. Este fenómeno puede disminuir la tasa de fotosíntesis del cultivo, afectando directamente la producción de biomasa y la eficiencia en el uso de la luz, reduciendo el rendimiento total del cultivo (Pérez C. y Pimentel G., 2014).

Uno de los beneficios clave de la sacarosa es su papel como fuente de carbono y energía para las plantas durante el proceso de fotosíntesis. La sacarosa da una fuente de carbono fácilmente disponible que las plantas pueden sintetizar carbohidratos, como almidón y azúcares simples, necesarios para el crecimiento y desarrollo celular. Además, las altas dosis de sacarosa pueden afectar la actividad fotosintética; por eso es importante determinar las dosis correctas (Tan et al., 2022).

Estudios han demostrado que la sacarosa puede actuar como un osmolito compatible, protegiendo las células vegetales de la deshidratación y el daño oxidativo bajo condiciones de estrés. Además, la sacarosa puede inducir respuestas bioquímicas y fisiológicas que ayudan a las plantas a mitigar los efectos negativos del estrés abiótico, como la acumulación de osmolitos y la activación de sistemas de defensa antioxidantes (Altuntaş et al., 2019).

Este estudio se enfoca en identificar estrategias de plantación que optimicen la relación entre la densidad de plantación y la concentración de sacarosa en los cultivos. El objetivo principal es estudiar el rendimiento del cultivo, asegurando que no se comprometa su salud. Al estudiar la densidad de las plantas, se busca establecer la relación de competencia que existe tanto en la absorción de nutrientes, agua y principalmente de luz, uno de los factores clave para el desarrollo óptimo de las plantas. Mientras que, al optimizar la concentración de sacarosa, se pueden determinar las dosis adecuadas que aporten positivamente en el rendimiento y en la calidad del fréjol.

Lograr un equilibrio adecuado entre estos factores es esencial para el desarrollo sostenible de la agricultura moderna, ya que se busca incrementar la productividad, minimizar el impacto ambiental y promover prácticas agrícolas más sostenibles acordes al desarrollo que experimentamos diariamente.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la aplicación de sacarosa y densidades de siembra en las características agroproductivas de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en Peñaherrera Cotacachi

1.4.2. Objetivos específicos

- Cuantificar el rendimiento de fréjol bajo las distintas densidades y dosis de sacarosa.
- Comparar las características morfológicas del cultivo de fréjol entre los tratamientos en estudio.

1.5 Hipótesis

Ho: El rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) es el mismo en diferentes densidades de siembra y dosis de sacarosa.

Ha: El rendimiento del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) no es similar en diferentes densidades de siembra y dosis de sacarosa.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Generalidades del cultivo de fréjol

2.1.1. Origen

Allard (1960) señala que México ha sido reconocido como el centro de origen más probable del fréjol, o al menos como su principal centro de diversificación. Este cultivo ya era conocido alrededor de 5 000 años antes de la era cristiana. No obstante, según Voyses (2000), en el Perú se han hallado los restos más antiguos de fréjol, los cuales, de acuerdo con dataciones por carbono 14, presentan una antigüedad que oscila entre $7\ 680 \pm 280$ y $10\ 000 \pm 300$ años a.C. En dichos hallazgos se identificaron cerca de 30 especímenes de fréjol con granos de color rojo–marrón oscuro, rojo oscuro y moteados, con una amplia diversidad de formas.

2.1.2. Clasificación taxonómica

Según Zimmermann (1988), la clasificación taxonómica del fréjol es

REINO: Plantae

DIVISIÓN: Magnoliofitas

CLASE: Magnoliopsida (Dicotiledóneas)

ORDEN: Fabales

FAMILIA: Papilionaceae (Leguminosas)

GÉNERO: Phaseolus E

SPECIE: vulgaris LINNEO

NOMBRE CIENTÍFICO: *Phaseolus vulgaris* L

2.1.3. Morfología

2.1.3.1. Raíz. Durante las etapas iniciales del desarrollo, el sistema radical se origina a partir de la radícula del embrión, la cual posteriormente da lugar a la raíz principal o primaria; de esta se desarrollan las raíces secundarias y, a su vez, las terciarias (Debouck et al., 1984). En el fréjol, el sistema radicular es de tipo fibroso y se caracteriza por la presencia de abundantes nódulos, resultado de la simbiosis con bacterias que se localizan en la corteza de las raíces laterales (Ortúbe y Aguilera, 1994).

2.1.3.2. Tallo. El tallo es de naturaleza herbácea y presenta una sección transversal cilíndrica o ligeramente angular. Su crecimiento puede ser erecto, semiprostrado o prostrado, y se desarrolla a partir del meristema apical del embrión contenido en la semilla (Debouck et al., 1984). En la planta adulta, el tallo puede ser aristado o cilíndrico y posee una médula hueca; su superficie externa puede ser lisa o presentar pubescencia (Ruiz y Rincón, 1966). Al

comenzar la fase reproductiva, el tallo culmina en una inflorescencia de tipo racimo, cuyas inserciones originan inicialmente flores y posteriormente vainas (Debouck et al., 1984).

2.1.3.2.1. Hábito de crecimiento Shoonhoven (1987) describe este concepto morfoagronómico como la consecuencia de la interacción de diversos caracteres de la planta, los cuales definen su arquitectura final. Asimismo, lo clasifica en función del tipo de desarrollo que presenta la porción terminal del tallo.

Y su clasificación es la siguiente:

Hábito determinado:

Ia: Tallo y ramas fuertes y erectos.

Ib: Tallo y ramas débiles.

Hábito arbustivo indeterminado, con tallo y ramas erectos:

IIa: Sin guías.

IIb: Con guías y habilidad para trepar.

Hábito arbustivo indeterminado, con tallo y ramas débiles rastreros:

IIIa: Guías cortas sin habilidad para trepar.

IIIb: Guías largas con capacidad para trepar.

Hábito de crecimiento voluble, con tallo y ramas débiles, largos y torcidos:

IVa: Vainas distribuidas por toda la planta.

IVb: Vainas concentradas en la parte superior de la planta.

No siempre se usa la subdivisión de cada hábito de crecimiento en a y b.

2.1.3.3. Hojas. La planta de fréjol presenta hojas simples y compuestas, las cuales se insertan en los nudos del tallo y de las ramas. Las hojas simples se manifiestan únicamente durante la etapa inicial de crecimiento y se localizan en el segundo nudo del tallo, mientras que las hojas compuestas son de tipo trifoliado y presentan variación en su tamaño (Ortube y Aguilera, 1994). Los folíolos tienen forma acuminada y asimétrica, con una morfología que va de alargada a triangular. Asimismo, las hojas se encuentran siempre acompañadas de estípulas en los nudos; en el caso de las hojas primarias, estas son de tipo bífido.

2.1.3.4. Flor. La flor del fréjol es hermafrodita, zigomorfa y de tipo papilionáceo, con una amplia diversidad de colores. Los órganos reproductivos masculino y femenino se encuentran protegidos por la envoltura floral, lo que limita las posibilidades de cruzamiento entre variedades; la polinización se produce uno o dos días antes de la apertura de dichas envolturas (Debouck et al., 1984). El desarrollo floral comprende dos fases: el botón floral y la flor abierta; en la primera, la flor está cubierta por bracteolas de forma ovalada o redondeada, las cuales, al

abrirse la flor, recubren únicamente el cáliz. La flor presenta simetría bilateral y una conformación morfológica que favorece la autopolinización (Ortubé y Aguilera, 1994).

2.1.3.5. Fruto. El fruto del fréjol corresponde a una vaina formada por dos valvas, originadas a partir de un ovario aplanado. Estas valvas se encuentran unidas mediante dos suturas, una dorsal y otra ventral. Los óvulos, que posteriormente darán lugar a las semillas, se disponen de manera alternada a lo largo de la sutura ventral, distribuyéndose de forma alterna entre ambas valvas (Debouck et al., 1984).

2.1.3.6. Semilla. La semilla se desarrolla a partir de un óvulo de tipo campilotropo y carece de albumen, por lo que las sustancias de reserva se concentran en los cotiledones. Con base en la materia seca, aproximadamente el 9 % corresponde a la testa o cubierta, el 90 % a los cotiledones y el 1 % restante al embrión (Debouck et al., 1984). En el fréjol común, la semilla presenta una amplia diversidad de formas, que van desde esféricas hasta casi cilíndricas, y su coloración externa es altamente variable, abarcando desde el negro hasta el blanco y prácticamente toda la gama intermedia; además, puede presentarse de manera uniforme, jaspeada, punteada o manchada (Ruiz y Rincón, 1966). Está marcada variabilidad de los caracteres externos de la semilla constituye un criterio importante para la clasificación de las variedades de fréjol, como resultado de la elevada diversidad genética existente dentro de la especie (Brauer, 1969).

2.1.3.4 Etapas fenológicas del cultivo. En el sistema de evaluación estándar de germoplasma de fréjol se utilizan las etapas de desarrollo del cultivo.

Tabla 1.

Etapas fenológicas del cultivo de fréjol

ETAPA	DESCRIPCIÓN
V0	Germinación: absorción de agua por la semilla; emergencia de la radícula y su transformación en raíz primaria.
V1	Emergencia: Los cotiledones aparecen a nivel del suelo y empiezan a separarse. El epicótilo comienza su desarrollo.
V2	Hojas primarias: Hojas primarias totalmente abiertas.
V3	Primera hoja trifoliada: Se abre la primera hoja trifoliada y a las V4 aparece la segunda hoja trifoliada.
V4	Tercera hoja trifoliada: Se abre la tercera hoja trifoliada y las yemas de los nudos inferiores producen ramas.
R5	Prefloración: Aparece el primer botón floral o el primer racimo. Los botones florales de las variedades determinadas se forman en el último nudo del tallo o de la rama. En las variedades indeterminadas, los racimos aparecen primero en los nudos más bajos
R6	Floración: Se abre la primera flor.
R7	Formación de vainas: Aparece la primera vaina que mide más de 2.5 cm de longitud.

- R8 Llenado de las vainas: Comienza a llenarse la primera vaina (crecimiento de la semilla). Al final de la etapa, las semillas pierden su color verde y comienzan a mostrar las características de la variedad. Se inicia la defoliación.
- R9 Madurez fisiológica: Las vainas pierden su pigmentación y comienzan a secarse. Las semillas desarrollan el color típico de la variedad
-

V = vegetativa; R = reproductiva

Cada etapa comienza cuando el 50 % de las plantas muestran las condiciones que corresponden a la descripción de la etapa.

FUENTE: Fernández et al. 1982 (CIAT)

2.2 Condiciones agroclimáticas óptimas para el cultivo

2.2.1 Clima

2.2.1.1 Altitud Según Peralta et al. (1998), el fréjol presenta una adecuada adaptación a altitudes comprendidas entre 1 000 y 2 500 m.s.n.m. en la región de la sierra ecuatoriana; en contraste, en zonas de valles y estribaciones de las cordilleras, su cultivo se desarrolla favorablemente en rangos altitudinales de 800 a 1 200 m.s.n.m.

2.2.1.2. Temperatura La temperatura óptima para el desarrollo del fréjol se sitúa alrededor de los 21 °C. La presencia de temperaturas bajas afecta negativamente su crecimiento, ya que lo inhibe y retrasa, mientras que temperaturas elevadas, combinadas con una humedad relativa superior al 85 %, favorecen la incidencia de diversas enfermedades. En términos generales, el fréjol no tolera heladas ni temperaturas que superen los 35 °C (Ortúbe y Aguilera, 1994).

2.2.1.3. Precipitación De acuerdo con Peralta et al. (1998), la planta de fréjol en su ciclo de cultivo requiere de 300 a 700 mm de precipitación.

2.2.2. Suelo

2.2.2.1. pH El fréjol presenta un mejor desarrollo en suelos con un pH comprendido entre 6.5 y 7.5, intervalo en el cual la mayoría de los nutrientes se encuentran en su mayor nivel de disponibilidad para la planta. No obstante, el cultivo es capaz de tolerar condiciones de acidez moderada, con valores de pH entre 4.5 y 5.5; a niveles más bajos, suelen manifestarse problemas de toxicidad por aluminio y/o manganeso. En suelos de reacción alcalina, el fréjol puede adaptarse a valores de pH cercanos a 8.2 (Schawartz y Galvez, 1980).

2.2.2.2. Textura El cultivo de fréjol presenta un adecuado desarrollo en suelos de textura franca o franco-arenosa; sin embargo, se recomienda evitar su establecimiento en suelos con problemas de salinidad, ya que estas condiciones afectan negativamente su crecimiento (Vásquez et al., 1992).

2.3 Manejo del cultivo

2.3.1. Preparación del terreno

Una correcta preparación del suelo contribuye a garantizar una adecuada germinación y a mantener el cultivo libre de malezas durante las etapas iniciales de desarrollo. Para ello, el suelo debe quedar suelto y bien nivelado, con el fin de evitar la acumulación de agua (Ruiz y Rincón, 1966). De acuerdo con Jiménez et al. (1996), la preparación del terreno puede realizarse mediante una labor de arado seguida de una pasada de rastra, lo que permite desmenuzar los terrones; posteriormente, el suelo debe ser surcado para la siembra.

2.3.2. Siembra

a) **Época:** En las regiones norte y sur del país, la siembra del fréjol se lleva a cabo tradicionalmente al inicio de la temporada de lluvias, comprendida entre los meses de febrero a abril y de septiembre a noviembre. En cambio, en las estribaciones de la cordillera occidental, esta labor se realiza durante el período de mayo a julio (Peralta et al., 1998).

b) **Cantidad:** 90 a 110 kg ha⁻¹.

c) **Sistema:** Monocultivo

Distancia entre surcos: 60 a 70 cm.

Distancia entre sitios: 25 a 30 cm.

Semillas por sitio: 3 a 4.

Vásquez et al. (1992) señalan que la siembra debe efectuarse cuando el suelo se encuentra en capacidad de campo, colocando la semilla en el talud inferior del surco; para ello, se recomienda una dosis de 100 kg de semilla por hectárea.

2.3.3. Fertilización

La mayoría de los suelos destinados al cultivo de fréjol requieren la aplicación de fertilizantes químicos y/o abonos orgánicos con el fin de lograr rendimientos adecuados (Jiménez et al., 1996). Asimismo, los autores recomiendan que el plan de fertilización se sustente en los resultados del análisis de suelo del área de cultivo.

2.3.4. Labores culturales

El cultivo de fréjol debe mantenerse libre de malezas durante los primeros 30 días posteriores a la germinación, ya que su presencia provoca una disminución del rendimiento proporcional al tiempo en que el cultivo permanezca enmalezado (Ruiz y Rincón, 1966). De acuerdo con Peralta et al. (1998), el control de malezas en preemergencia puede realizarse mediante la aplicación de 1 kg de Afalón (Linuron) más 2 litros de Lazo (Alaclor) disueltos en 400 litros de agua por hectárea, aplicados sobre suelo húmedo. En postemergencia, se recomienda el uso

de Flex (Fomesafen) a una dosis de $1,25 \text{ cm}^3 \text{ l}^{-1}$, para el control de malezas de hoja ancha en estado de 2 a 3 hojas verdaderas, evitando su aplicación en períodos de sequía. Cuando no se efectúa el control químico en preemergencia, es necesario realizar una deshierba entre los 12 y 21 días después de la siembra; posteriormente, al inicio de la floración, se debe realizar una nueva deshierba acompañada de un ligero aporque (Vásquez et al., 1992).

2.3.5. Control de plagas y enfermedades

Peralta et al. (1998) señalan que la aplicación de pesticidas debe realizarse únicamente cuando la población de plagas alcance niveles capaces de ocasionar daños al cultivo. En el cuadro siguiente se describen las principales plagas que afectan al fréjol, junto con las prácticas de manejo recomendadas por los mismos autores.

Tabla 2.

Principales plagas que atacan al fréjol y su manejo según Peralta et al. (1998).

Plaga	Producto		
	Nombre genérico	Nombre comercial	Dosis
Mosca blanca (<i>Trialeurodes vaporariorum</i> W)	Lambda Cihalotrina	Karate + Aplaud	$2.5 \text{ cm}^3 \text{ l}^{-1} + 0.75 \text{ cm}^3 \text{ l}^{-1}$
Trozador (<i>Agrotys</i> sp.) Lorito verde (<i>Empoasca karameri</i> R. y M.)	Endosulfán	Thiodan	$2.5 \text{ cm}^3 \text{ l}^{-1}$
Barrenador de vainas (<i>Epinotia aporema</i> W)	Carbaryl	Sevin	$1.5 \text{ cm}^3 \text{ l}^{-1}$
Gorgojo (<i>Acanthoselides obtectus</i> S)	Carbaryl Fosfamina	Sevin Gastoxin	$1.5 \text{ cm}^3 \text{ l}^{-1}$ $0.02 \text{ tableta kg}^{-1}$

De acuerdo con el Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos – INIAP (2001), las enfermedades más importantes que afectan al cultivo de fréjol incluyen la antracnosis (*Colletotrichum lindemuthianum* S y M), la roya (*Uromyces appendiculatus* P) y el oídio (*Erysiphe polygoni* D). Asimismo, las plagas de mayor incidencia son la mosca blanca (*Trialeurodes vaporariorum* W), los trozadores (*Agrotys* sp.), la araña roja (*Tetranychus* sp.) y el barrenador del tallo y de la vaina (*Epinotia aporema* W), las cuales ocasionan daños directos a la planta y provocan una reducción significativa de la producción.

Tabla 3.*Enfermedades comunes en el fréjol y su control.*

Enfermedad	Producto		
	Nombre genérico	Nombre comercial	Dosis
Roya (<i>Uromyces appendiculatus</i> P)	Oxicarboxin	Plantvax	1g l ⁻¹
Atracnosis (<i>Colletotrichum lindemuthianum</i> S y M)	Cabendazin	Bavistin	1g l ⁻¹
Oidio (<i>Erysiphe polygoni</i> D)	Azufre	Elosal	1 cm ³ l ⁻¹
Ascochyta (<i>Phoma exigua</i> D)	Hexaconazol	Anvil	1 cm ³ l ⁻¹
Añublo de halo (<i>Pseudomonas phaseolicola</i> B)	Kasugamicina	Kusamin	2.5 cm ³ l ⁻¹

FUENTE: Peralta et al., 1998

2.3.6. Riego.

La cantidad y periodicidad de los riegos dependen del tipo de suelo, la variedad cultivada y las condiciones climáticas. En ausencia de precipitaciones, puede ser necesario aplicar entre 10 y 13 riegos por ciclo, lo que equivale aproximadamente a un riego cada ocho días, poniendo especial atención durante las etapas de floración y llenado de vainas (Peralta et al., 1998).

2.3.7. Cosecha.

La cosecha de fréjol en vaina seca debe efectuarse cuando las plantas han alcanzado su madurez fisiológica completa, es decir, cuando se encuentran totalmente defoliadas y las semillas presentan un contenido de humedad entre 18 y 20% (Peralta et al., 1998). Según Ruiz y Rincón (1966), esta labor se realiza arrancando las plantas en las primeras horas de la mañana, una vez que el rocío se ha evaporado, con el fin de evitar la apertura de las vainas y la consecuente pérdida de granos. Las plantas deben cosecharse cuando ha cesado la caída de hojas y aproximadamente las tres cuartas partes de las vainas se encuentran casi secas.

2.3.8. Trilla y almacenamiento.

La trilla del fréjol puede realizarse mediante el pisoteo de animales o por golpes sobre el piso utilizando varas de madera, cuando se trata de volúmenes correspondientes a una o dos hectáreas; para cantidades mayores, se recomienda el uso de trilladoras mecánicas (Peralta et al., 1998). Tanto el grano destinado al consumo como la semilla deben almacenarse en ambientes frescos, con temperaturas entre 10 y 12 °C, secos, con una humedad relativa cercana

al 60%, libres de infestaciones de gorgojo y con un contenido de humedad en el grano inferior al 13% (Peralta et al., 1998).

2.4 Marco legal.

Para el desarrollo de la presente investigación resulta fundamental considerar la normativa vigente establecida en la Constitución de la República del Ecuador. En este marco, el artículo 13 reconoce el derecho de las personas y colectividades a disponer de alimentos seguros, suficientes y nutritivos, producidos preferentemente a nivel local y en armonía con las identidades y tradiciones culturales. Este precepto constitucional resalta la necesidad de impulsar investigaciones orientadas a optimizar el rendimiento de los cultivos, fortaleciendo la producción local y proporcionando a los agricultores herramientas que mejoren sus conocimientos y prácticas productivas.

Asimismo, el artículo 281, correspondiente al capítulo III, establece a la soberanía alimentaria como un objetivo estratégico y una responsabilidad del Estado, cuyo propósito es garantizar que las comunidades alcancen una provisión permanente de alimentos sanos y culturalmente adecuados. En este contexto, el fomento de cultivos como la arveja, relevantes tanto para la alimentación como para la economía local, demanda el fortalecimiento de la investigación científica y la innovación tecnológica, con el fin de incrementar la productividad y superar las limitaciones que afectan al sector agrícola.

Por otra parte, el artículo 320 dispone que los procesos productivos deben desarrollarse bajo principios de calidad, sostenibilidad, productividad sistémica, valoración del trabajo y eficiencia económica y social. En consecuencia, las prácticas agrícolas, incluida la aplicación de coberturas plásticas de distintos colores, deben orientarse a la obtención de productos con adecuado valor nutritivo y que generen beneficios ambientales, económicos y sociales.

A nivel internacional, el Objetivo de Desarrollo Sostenible 2, enmarcado en la Agenda 2030 de las Naciones Unidas, plantea la necesidad de garantizar sistemas de producción alimentaria sostenibles y promover prácticas agrícolas resilientes que permitan aumentar la productividad y la producción. Este objetivo también enfatiza la conservación de los ecosistemas, el fortalecimiento de la capacidad de adaptación frente al cambio climático, la mitigación de los efectos de eventos climáticos extremos y la mejora progresiva de la calidad del suelo.

En este sentido, tanto el marco constitucional ecuatoriano como los compromisos internacionales respaldan la pertinencia del presente estudio, el cual se orienta a evaluar el uso de coberturas plásticas en el cultivo de arveja como una alternativa tecnológica que contribuya a la sostenibilidad, la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola del Ecuador.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1 Caracterización del área de estudio

La investigación se llevó a cabo en la parroquia de Peñaherrera, ubicada en la zona de Intag, perteneciente al cantón Cotacachi, en la provincia de Imbabura. Esta zona se caracteriza por su riqueza en biodiversidad, condiciones agroecológicas favorables y una importante actividad agrícola, lo cual la convierte en un entorno propicio para el desarrollo de estudios relacionados con cultivos como el fréjol.

3.1.1. Ubicación geográfica

Figura 1.

Ubicación donde se desarrolló el proyecto de ~~investigación.~~ investigación.

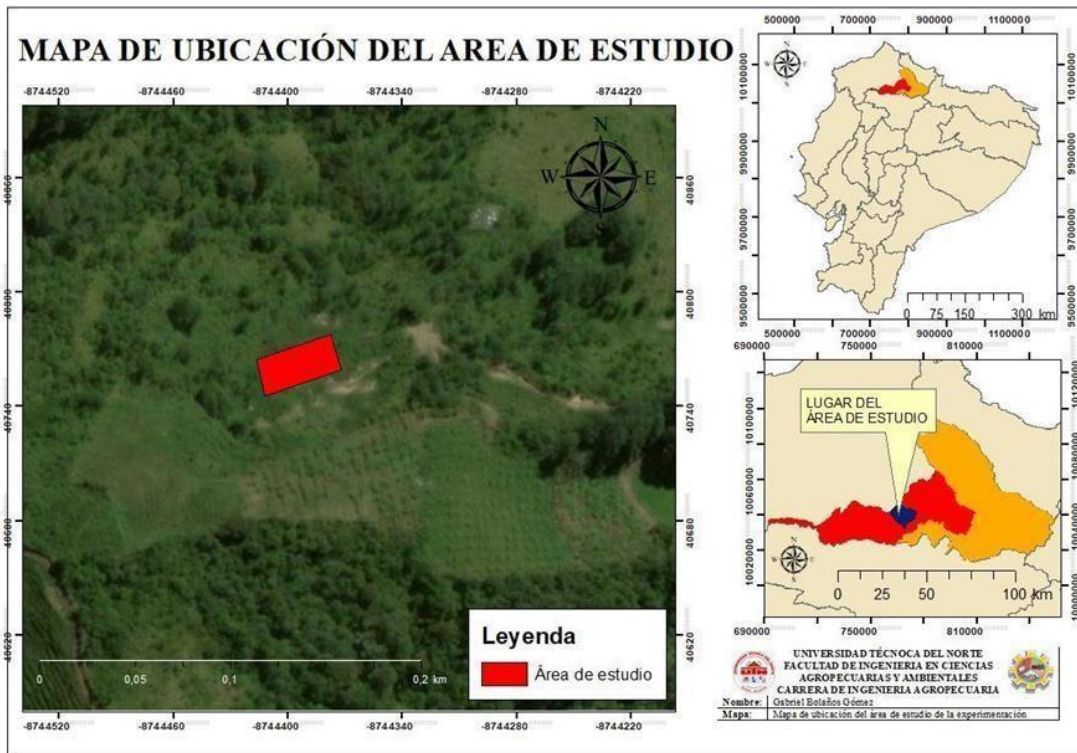


Tabla 4.*Características del área en donde se realizó la investigación.*

Provincia	Imbabura
Cantón	Cotacachi
Parroquia	Peñaherrera
Lugar	El Paraíso
Situación geográfica	
Altitud	2052 m.s.n.m
Coordenadas Geográficas	UTM: X = 772454-E, Y = 10040473-N
Características climáticas	
Temperatura media anual	18 °C
Precipitación media anual	3500-4000

3.1.2. Características Agroecológicas**Tabla 5.***Características agroecológicas del área de estudio*

Característica	Detalle
Pendiente:	55%
Drenaje:	Moderadamente drenados
Textura del suelo:	Franco arcilloso
Temperatura media:	18 °C

3.2 Materiales, equipos, insumos y herramientas

Los materiales utilizados en el desarrollo de la presente investigación se detallan de manera específica en la Tabla 3. En ella se incluyen todos los insumos, herramientas y equipos empleados durante el proceso experimental, lo que permite garantizar la transparencia metodológica y la posibilidad de replicación del estudio en contextos similares.

Tabla 6.*Materiales, equipos, insumos y herramientas*

Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas
Celular		Semilla de fréjol	Piolas
Computadora	Balanza	Fertilizantes	Azadón
Libro de campo		Pesticidas	Estacas
Impresora		Sacarosa	Flexómetro
			Martillo
			Recipientes
			Sacos
			Bomba de fumigar

3.3 Métodos

3.3.1. Factor en estudio.

En el presente trabajo se consideran dos factores experimentales principales: las densidades de siembra y las dosis de sacarosa aplicadas al cultivo. La investigación adopta un enfoque cuantitativo, permitiendo la recolección y análisis de datos numéricos que faciliten la evaluación objetiva del efecto de estos factores sobre el desarrollo y rendimiento del fréjol.

Factor 1. Densidades

Las densidades de siembra utilizadas en esta investigación se encuentran detalladas en la Tabla 4, donde se especifican las distancias entre surcos y entre plantas correspondientes a cada tratamiento. Esta información resulta esencial para analizar el efecto del espaciamiento en el desarrollo vegetativo, la productividad y la interacción con la aplicación de sacarosa en el cultivo de fréjol.

Tabla 7.

Densidades de siembra usadas en la investigación.

Código	Descripción	Número de semillas
D1	60 cm/surco x 30 cm/planta	3 semillas
D2	60 cm/surco x 20 cm/planta	1 semilla

Factor 2. Dosis de sacarosa

Las dosis de sacarosa empleadas en el experimento se encuentran detalladas en la Tabla 5, donde se especifican las concentraciones aplicadas en cada tratamiento. Esta información es fundamental para comprender la influencia de dicho factor en las variables agronómicas evaluadas durante el desarrollo del cultivo de fréjol.

Tabla 8.

Dosis de sacarosa usadas.

Código	Descripción
d1	0 mM
d2	10 mM
d3	100 mM

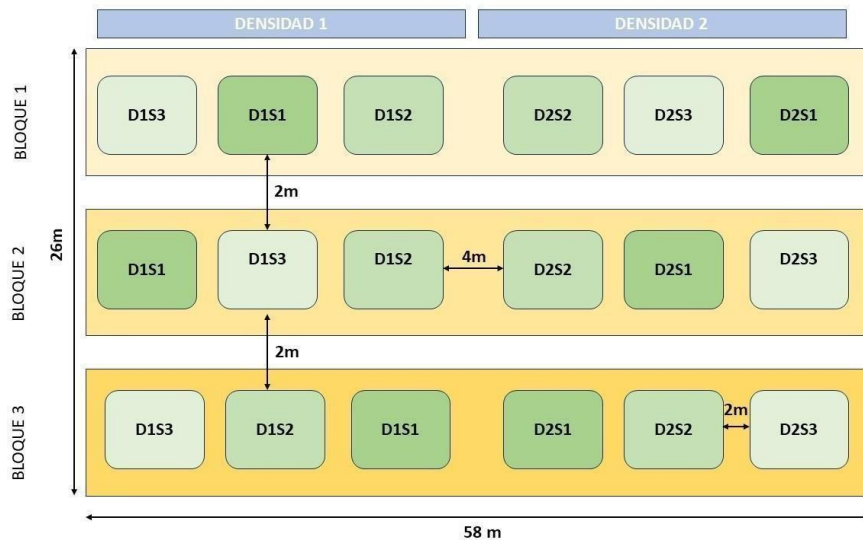
3.3.2. Diseño experimental.

Para el desarrollo de la presente investigación se implementó un diseño en bloques completos al azar con parcelas divididas, estructurado en tres bloques. En este diseño, la parcela principal corresponde a las densidades de siembra, mientras que las subparcelas están determinadas por

las dosis de sacarosa aplicadas. La distribución del diseño se representa gráficamente en la Figura 2.

Figura 2.

Diseño experimental



3.3.3.1 Características del experimento. Para el desarrollo de la presente investigación se implementó un diseño experimental en bloques completos al azar con parcelas divididas. El ensayo estuvo conformado por tres bloques o repeticiones, en los cuales se distribuyeron dos densidades de siembra como parcela principal y tres dosis de sacarosa como subparcelas, dando como resultado un total de 18 unidades experimentales (3 bloques \times 2 densidades \times 3 dosis). La disposición del experimento se encuentra representada en la Figura 2. El área total utilizada fue de 1508 m², considerando el espacio necesario para cada unidad experimental y los pasillos de separación, lo cual garantizó condiciones adecuadas para el desarrollo del cultivo y la recolección de datos confiables.

3.3.3.2 Características de la unidad experimental. La unidad experimental comprendió una parcela de 42 m², con dimensiones de 6 metros de largo por 7 metros de ancho. Se trabajó con dos tratamientos de densidad de siembra: en la densidad 1 (D1) se establecieron 3 semillas por punto, alcanzando un total de 315 plantas por unidad experimental (Figura 4); mientras que en la densidad 2 (D2) se sembró una semilla por punto, resultando en 170 plantas por unidad experimental (Figura 3). Para fines de evaluación, se consideró una parcela neta dentro de cada unidad experimental, en la cual se seleccionaron 10 plantas para análisis agronómico. Las parcelas se distribuyeron con una distancia de 2 metros entre bloques y también 2 metros entre parcelas, lo que permitió una adecuada separación y evitó interferencias entre tratamientos.

Figura 3.

Diseño de la unidad experimental D1

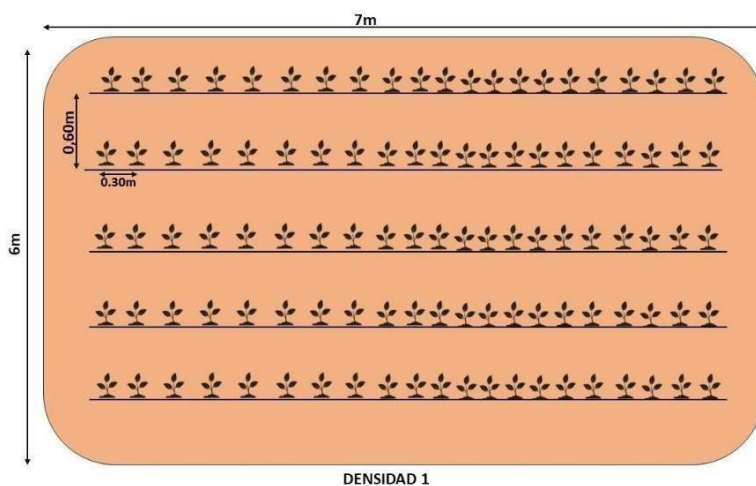
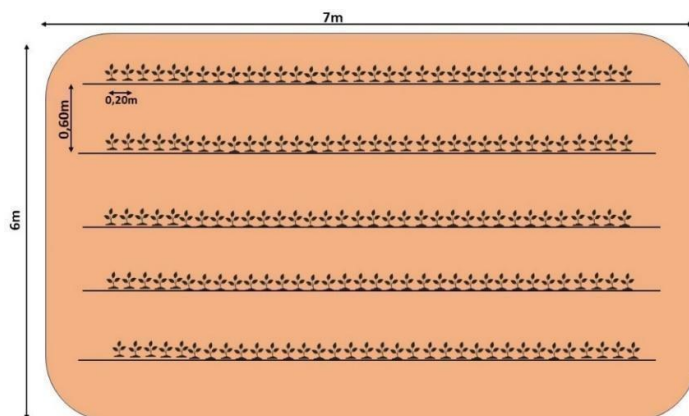


Figura 4.

Descripción de la unidad experimental D2



3.3.3. Análisis estadístico.

Para el procesamiento de los datos se realizó un análisis de varianza (ANOVA) con pruebas de comparación de medias mediante la prueba LSD de Fisher al nivel de significancia de $\alpha = 0.05$, siempre que se cumplan los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas. En caso de que dichos supuestos no se verifiquen, se procederá con pruebas no paramétricas de Friedman, adecuadas para diseños en bloques con distribuciones no normales.

Tabla 9.

Análisis de varianza

Fuentes de Variación	Formula	GL
Bloques	$(3-1)$	2
Densidad	$(d-1)$	1
B (Densidad)	$(p-1) (2)$	2
Dosis	$(r-1)$	2
B (dosis)	$(r-1) (2)$	5
Den (dosis)	$(p-1) (r-1)$	10
Error	$N - pnr + p + r - 1$	10
Total	$N - 1$	17

3.4 Variables evaluadas.

3.4.1. Rendimiento en grano seco.

Para el cálculo de esta variable, se cosecharon todas las plantas de cada parcela experimental, y posteriormente se pesó el total del grano recolectado por parcela. Este procedimiento permitió obtener datos precisos del rendimiento total por tratamiento, facilitando así la comparación estadística entre las distintas combinaciones de densidades de siembra y dosis de sacarosa evaluadas¹.

3.4.2. Número de vainas.

Se seleccionó al azar un total de 10 plantas, las cuales fueron cuidadosamente elegidas para representar una muestra representativa del cultivo. En cada una de estas plantas, se realizó un conteo exhaustivo del número de vainas presentes, con el fin de obtener una medición precisa que permitió evaluar la productividad de estas dentro del contexto del estudio.

3.4.3. Número de semillas por vaina.

De las vainas cosechadas, se seleccionó 5 al azar, de las cuales se realizó un conteo detallado de las semillas en cada vaina. Este proceso permitió obtener una medición precisa del número de semillas por vaina, lo cual fue fundamental para evaluar el rendimiento y la calidad del cultivo en el contexto del estudio.

3.4.4. Tamaño de vainas.

Se midieron un total de 5 vainas cosechadas, de las cuales se registraron de manera detallada las dimensiones de cada una, incluyendo el largo, ancho y espesor. Estas mediciones permitieron realizar un análisis completo de las características morfológicas de las vainas, proporcionando información relevante sobre su tamaño y desarrollo, lo cual es crucial para evaluar la calidad y el rendimiento del cultivo ¹.

3.4.5. Tamaño de semillas.

Para esta variable se tomaron 5 semillas de cada una de las 10 plantas seleccionadas como parcela neta dentro de cada unidad experimental, obteniendo así un total de 50 semillas por unidad. A cada una de estas semillas se le midieron de forma detallada las dimensiones de largo, ancho y espesor. Estas mediciones permitieron obtener una caracterización precisa de las características morfológicas de las semillas, información esencial para evaluar la calidad del grano y su relación con las diferentes densidades de siembra y dosis de sacarosa aplicadas en el estudio ¹.

3.4.6. Peso de cien semillas.

Una vez finalizado el proceso de trilla, se contó y pesó cien semillas por cada tratamiento. Esta operación se realizó con tres repeticiones por unidad experimental, lo que permitió obtener un promedio representativo del peso de cien semillas para cada combinación de densidad de siembra y dosis de sacarosa. Esta variable resulta clave para evaluar el rendimiento comercial del cultivo y la influencia de los factores experimentales en el desarrollo y llenado del grano.

3.4.7. Altura de planta.

Para esta variable se seleccionaron 10 plantas por unidad experimental, correspondientes a la parcela neta de cada tratamiento. La altura fue medida en centímetros utilizando un flexómetro graduado en centímetros y milímetros, tomando la distancia desde la base del tallo (nivel del suelo) hasta la última hoja apical. Las mediciones se realizaron en tres momentos distintos, con un intervalo de 15 días después de la floración, lo que permitió obtener un seguimiento detallado del crecimiento vegetativo del cultivo bajo las distintas condiciones experimentales.

3.4.7. Costos de producción.

Para esta variable solo se vio cuál es el costo de producir con las diferentes densidades y dosis de sacarosa y compararlas entre ellas y ver el impacto de estas en la economía de los agricultores.

3.5 Manejo específico del experimento

3.5.1. Diseño de parcela.

Para la delimitación de las parcelas experimentales se utilizó piolas, estacas y martillo, herramientas que permitieron trazar con precisión los espacios correspondientes a cada tratamiento. La correcta distribución y demarcación de las parcelas fue fundamental para garantizar la organización del experimento, así como para evitar interferencias entre tratamientos y asegurar condiciones homogéneas dentro de cada unidad experimental.

3.5.2. Preparación del terreno.

La preparación del terreno se realizó de forma manual utilizando azadón, herramienta con la cual se removió y se niveló el suelo para facilitar el establecimiento del cultivo. Posteriormente, se trazaron los surcos de manera uniforme, manteniendo una distribución recta y ordenada según el diseño experimental. Esta labor fue fundamental para asegurar una adecuada implantación de las semillas y un manejo eficiente durante el desarrollo del cultivo.

3.5.3. Siembra.

La siembra se llevó a cabo de forma manual con la ayuda de un palo, el cual se utilizó para realizar los hoyos en el suelo según el distanciamiento establecido en los tratamientos. Se aplicaron dos densidades de siembra: a) 60 cm entre surcos por 30 cm entre plantas, depositando 3 semillas por golpe, y b) 60 cm entre surcos por 20 cm entre plantas, con una semilla por golpe. Esta labor se realizó de manera cuidadosa para asegurar una correcta distribución de las semillas y facilitar un desarrollo uniforme del cultivo.

3.5.4. Labores culturales.

Durante el desarrollo del cultivo se realizaron labores culturales esenciales para su adecuado crecimiento. El deshierbe se efectuó de manera manual en dos momentos clave, con el objetivo de eliminar la maleza y reducir la competencia por nutrientes, agua y luz. Por su parte, el aporque se llevó a cabo una vez que las plantas alcanzaron un tamaño adecuado, acumulando tierra en la base del tallo para brindar mayor soporte, favorecer el desarrollo radicular y mejorar el drenaje. Estas prácticas contribuyeron significativamente a mantener las condiciones óptimas del cultivo y asegurar un buen rendimiento.

3.5.5. Controles fitosanitarios.

Se realizaron aplicaciones tanto preventivas como curativas en función de la presencia de plagas y enfermedades observadas en el cultivo. Estas intervenciones se aplicaron de manera oportuna para proteger el desarrollo de las plantas y evitar pérdidas en el rendimiento. El monitoreo constante permitió identificar a tiempo los focos de afectación y aplicar los

productos fitosanitarios correspondientes, garantizando así un manejo integrado y responsable de la sanidad del cultivo.

3.5.6. Aplicaciones de sacarosa.

Las aplicaciones de sacarosa se iniciaron a los 42 días después de la siembra (dds), coincidiendo con el inicio de la etapa de floración del cultivo. Se realizaron un total de cinco aplicaciones, con un intervalo de 8 días entre cada una, utilizando una bomba de mochila de 20 litros con boquilla ajustable, pistola de paso y regulador de flujo, lo que permitió una pulverización en niebla fina. Las soluciones de sacarosa fueron preparadas disolviendo la sacarosa en 1 litro de agua por tratamiento, con las siguientes concentraciones: 0 mM (0 mg l⁻¹), 10 mM (3.4229 mg l⁻¹) y 100 mM (34.229 mg l⁻¹), considerando la masa molar de la sacarosa (C₁₂H₂₂O₁₁) de 342.29 g mol⁻¹. La aplicación se realizó por aspersión foliar hasta humedecer completamente la superficie de las hojas, asegurando una cobertura uniforme en todas las plantas correspondientes a cada subparcela. Esta metodología permitió evaluar de manera precisa el efecto de las diferentes concentraciones de sacarosa sobre las características agroproductivas del cultivo.

3.5.7. Cosecha.

La cosecha se realiza cuando las plantas presentan signos de senescencia y las vainas adquieren el característico color café amarillento, indicativo de que han alcanzado su madurez. Esta actividad se lleva a cabo de forma manual, arrancando las plantas del suelo y dejándolas secar al sol. Una vez secas, las plantas se trillan utilizando varas, golpeando las vainas de manera que estas se abran y liberen los granos. Posteriormente, se procede a la limpieza de los granos recolectados, eliminando impurezas como polvo y restos de plantas, para lo cual se utiliza el viento, un proceso conocido como aventado. Esta técnica permite obtener granos limpios y listos para su posterior análisis.

3.5.8. Evaluación de variables.

Las evaluaciones en el cultivo de fréjol se realizaron tomando 10 plantas por tratamiento. Las variables medidas incluyeron: rendimiento en grano seco (peso total de grano por parcela), número de vainas (promedio por planta), número de semillas por vaina (de 5 vainas aleatorias), tamaño de vainas (dimensiones de 5 vainas), tamaño de semillas (mediciones de 5 semillas por planta, 50 semillas por tratamiento), peso de cien semillas (promedio de 3 repeticiones por unidad experimental) y altura de planta (medida desde la base del tallo hasta la última hoja apical en 10 plantas). Estas mediciones permitieron un análisis detallado del desarrollo y rendimiento bajo las condiciones experimentales.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La presente sección describe detalladamente los materiales utilizados y los métodos aplicados durante la ejecución de esta investigación. Se especifican el lugar y periodo en que se desarrolló el estudio, así como los procedimientos experimentales, técnicas de muestreo, análisis y herramientas empleadas. Esta información permite garantizar la reproducibilidad del experimento y la validez de los resultados obtenidos.

4.1 Tamaño de la vaina.

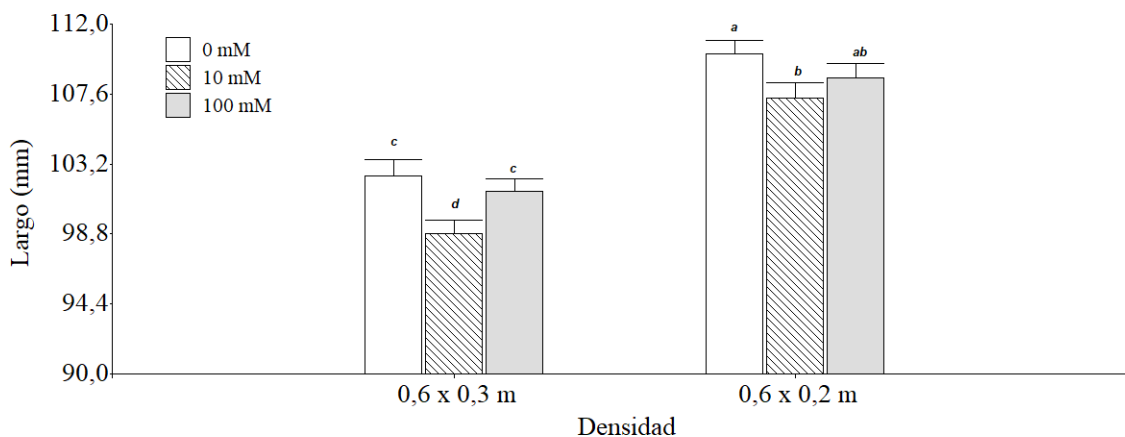
En esta sección se analizó el tamaño de la vaina (largo, ancho y espesor) del cultivo de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L) en relación con las condiciones experimentales de densidad de siembra y dosis de sacarosa.

4.1.1. Largo de la vaina.

El análisis de varianza para esta variable (Anexo 1) muestra que existe una interacción entre el factor densidad de siembra y dosis de sacarosa ($p=0.0489$). En la figura 5, se puede observar que, ambas densidades de siembra evaluadas, la aplicación de sacarosa no incrementó el largo de la vaina. En la densidad de siembra D1, el largo de la vaina de plantas tratadas con la concentración de 0 mM y 100 mM son similares entre sí, alcanzando un promedio de 101.94 mm, superando al largo observado en plantas tratadas con la concentración de 10 mM por 3.17%. Por otra parte, en la densidad de siembra D2, se registró que la S1 superó a la S2 por 2.55%, mientras que, en el caso de S3, mantiene un promedio similar al observado en las dosis restantes. Además, se observa que el largo de vaina es mayor en plantas sembradas D2, registrándose incrementos del 7.49, 8.67 y 7.08% para las dosis S1, S2 y S3 respectivamente, en comparación con D1

Figura 5.

Largo de la vaina de la interacción entre las dosis de sacarosa y las densidades de siembra.



Estos resultados contrastan parcialmente con los de Kouam y Tsague-Zanfack (2020), quienes no encontraron un efecto significativo de la densidad de siembra sobre el largo de la vaina en cuatro genotipos de fréjol común en condiciones tropicales. Sin embargo, la ausencia de respuesta en dicho estudio podría atribuirse a diferencias genotípicas o a que la competencia entre plantas no alcanzó un umbral crítico para afectar esta variable. Por otro lado, una revisión sistemática exhaustiva realizada por Karavidas et al. (2022) concluye que la densidad de siembra es una de las prácticas agronómicas más influyentes en los componentes del rendimiento, incluyendo el largo de la vaina, ya que modula la disponibilidad de recursos para cada planta.

Los resultados del presente trabajo, donde la densidad D2 (menor población) superó a D1, se alinean con la teoría de que una menor competencia interespecífica permite a la planta destinar más fotoasimilados al desarrollo de los órganos reproductivos, como las vainas. En cuanto a la aplicación de sacarosa, no se observó un efecto promotor claro en el largo de la vaina en ninguna de las dos densidades, lo que indica que, bajo las condiciones de este experimento, la aplicación exógena de este carbohidrato no fue un factor limitante para la elongación de la vaina. Lo que difiere de Medina et al. (2010), quien menciona que la sacarosa ayuda de manera positiva a la planta.

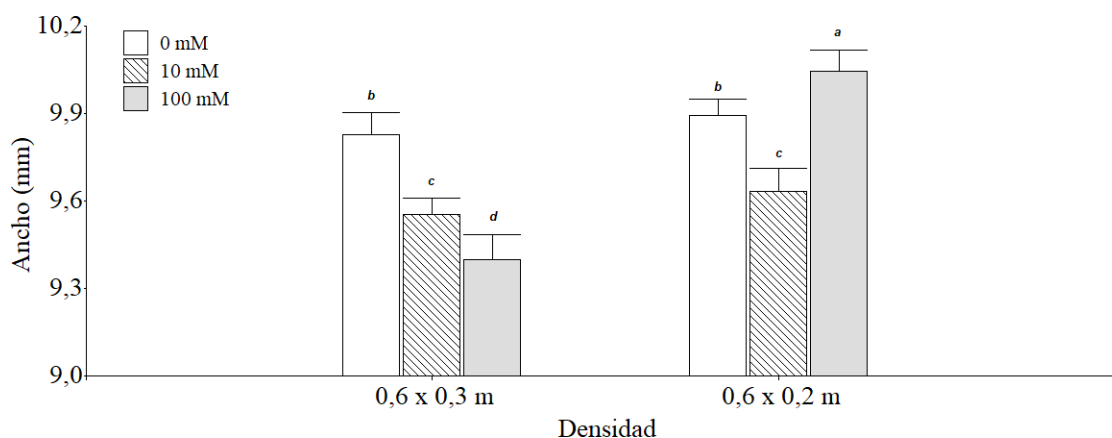
4.1.2. Ancho de la vaina.

El análisis de varianza para esta variable (Anexo 1) muestra que existe interacción entre el factor densidad de siembra y dosis de sacarosa ($p = <0.0001$). Como se puede observar en la Figura 6, en las dos densidades de siembras en evaluación, la aplicación de dosis de sacarosa no tiene incremento para el ancho de la vaina. En el caso de la densidad de siembra D1, las plantas tratadas con concentración de 0 mM tienen un promedio de 9.83 mm, superando en un

2.84% a 10 mM y en un 4.37% a 100 mM. En cuestión de la D2, se pudo observar que S3 (100 mM) tiene un valor mayor con un promedio de 10.05 mm, siendo mayor a S1 (0 mM) en un 1.59% y para S2 (10 mM) en un 4.18%. Además, al comparar las densidades de siembra, se puede observar que, tanto en D1 como en D2, las dosis de S1 y S2 son similares entre sí, no siendo el caso de S3, en donde D1 es mayor que D2 en un 6.47%.

Figura 6.

Ancho de la vaina de la interacción entre las dosis de sacarosa y las densidades de siembra.



La literatura científica ha establecido que el ancho de la vaina es un rasgo con una estabilidad genética relativamente alta, aunque puede ser modulado por las condiciones ambientales. En un estudio, evaluaron una colección de germoplasma de fréjol en diferentes ambientes y encontraron que el ancho de la vaina mostraba una variación similar entre localidades, sugiriendo una fuerte base genética para este rasgo (Stoilova et al. 2013). Sin embargo, la interacción significativa encontrada indica que factores agronómicos como la densidad pueden alterar la expresión de esta característica.

La revisión de Karavidas et al. (2022) refuerza la idea de que las prácticas de manejo, como la densidad, son determinantes para las características de la vaina, ya que optimizan la arquitectura de la planta y la intercepción de la luz, afectando la distribución de asimilados hacia los frutos en desarrollo. El hecho de que en D2 (menor densidad) la dosis alta de sacarosa promoviera un mayor ancho podría indicar que, con menor competencia, la planta pudo capitalizar mejor el suplemento energético para el desarrollo lateral de la vaina.

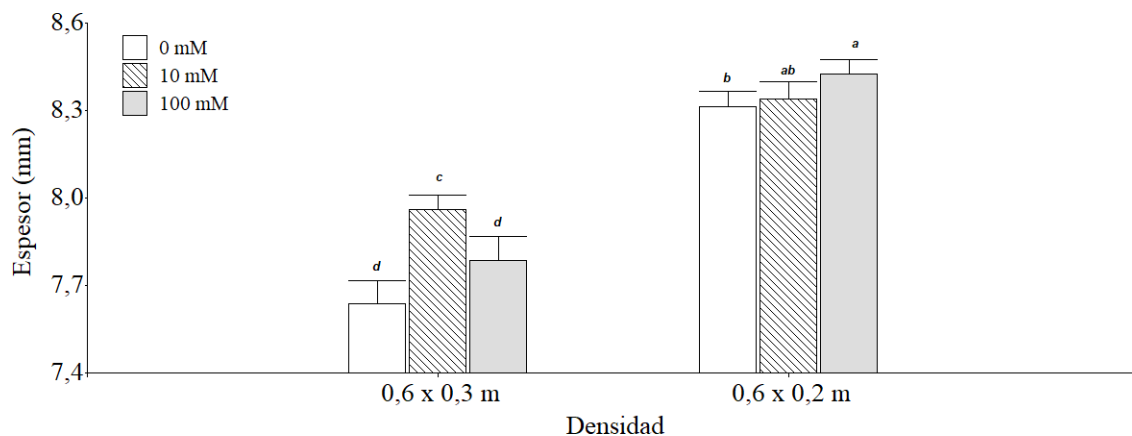
4.1.3. Espesor de la vaina.

El análisis de varianza de esta variable (Anexo 1) nos indica que existe una interacción entre la densidad de siembra y la dosis de sacarosa ($p = 0.036$). En la Figura 7 se puede observar que en D2 sí hubo un incremento en el espesor de la vaina. En la densidad D1 se aprecia que las

plantas tratadas con una concentración de 0 mM y 10 mM, con un promedio de 7.72 mm, fueron inferiores en un 3.02% a las tratadas con 10 mM. En cuanto a la densidad D2, la S3 con un promedio de 8.43 fue superior a S1 con un 1.42%, pero no a S2, que es similar a las 2 dosis. Por otro lado, se observa que el espesor de la vaina es mayor en plantas sembradas bajo la densidad D2, en donde hubo incrementos del 8.06, 4.56 y 7.59% para las dosis de S1, S2 y S3 respectivamente.

Figura 7.

Espesor de la vaina sometida a diferentes densidades de siembra y dosis de sacarosa.



La investigación sobre el espesor de la vaina es menos común que la del largo o ancho. Sin embargo, estudios sobre caracterización morfológica lo incluyen como un descriptor importante. Chhetri et al., 2025 encontraron que el espesor de la semilla estaba significativamente correlacionado con el peso de esta, y aunque no midieron directamente el espesor de la vaina, es lógico inferir que ambos rasgos están relacionados. La respuesta positiva a la menor densidad (D2) observada en este estudio es consistente con los principios de fisiología de cultivos, donde la optimización del espaciamiento entre plantas es clave para maximizar los componentes individuales del rendimiento (Osuna-Ceja et al., 2013).

4.2 Tamaño de la semilla.

Para la caracterización del tamaño de la semilla, se seleccionaron muestras representativas de semillas de fréjol (*Phaseolus vulgaris*), a las cuales se les midió el largo, el ancho y el espesor utilizando un calibrador digital de precisión. Las mediciones se realizaron en una muestra aleatoria de semillas antes del proceso de siembra, garantizando uniformidad en cada grupo experimental.

4.2.1. Largo de la semilla.

El análisis de varianza para la variable largo (Tabla 10) indica que no se presentaron efectos significativos de la densidad de siembra ($p = 0.0629$), de la dosis de sacarosa ($p = 0.3355$) ni de la interacción entre factores ($p = 0.9183$). Las medias ajustadas para las densidades D1 (15.45 cm) y D2 (15.60 cm) fueron muy similares entre sí, lo que evidencia que el espaciamiento entre plantas no generó variaciones importantes en esta característica. Lo que difiere de Zaman et al. (2021), quien menciona que, a mayor distanciamiento, mayor tamaño de la semilla.

De igual manera, las dosis de sacarosa no produjeron diferencias relevantes. Las medias ajustadas para S1 (15.59 cm), S3 (15.54 cm) y S2 (15.45 cm) se mantuvieron en un rango estrecho, sin incrementos atribuibles a la aplicación del regulador ($p > 0.05$). En conjunto, estos resultados muestran que, bajo las condiciones del experimento, ni la densidad de siembra ni las dosis de sacarosa evaluadas influyeron significativamente en el largo de la planta.

Tabla 10.

Resultados del largo de la vaina a diferentes densidades de siembra y dosis de sacarosa.

Fuente de variación	gl	gl error	F	p
Intercepto	1	892	142288.02	< .001
Densidad	1	892	3.47	.063
Sacarosa	2	892	1.09	.336
Densidad × Sacarosa	2	892	0.09	.918

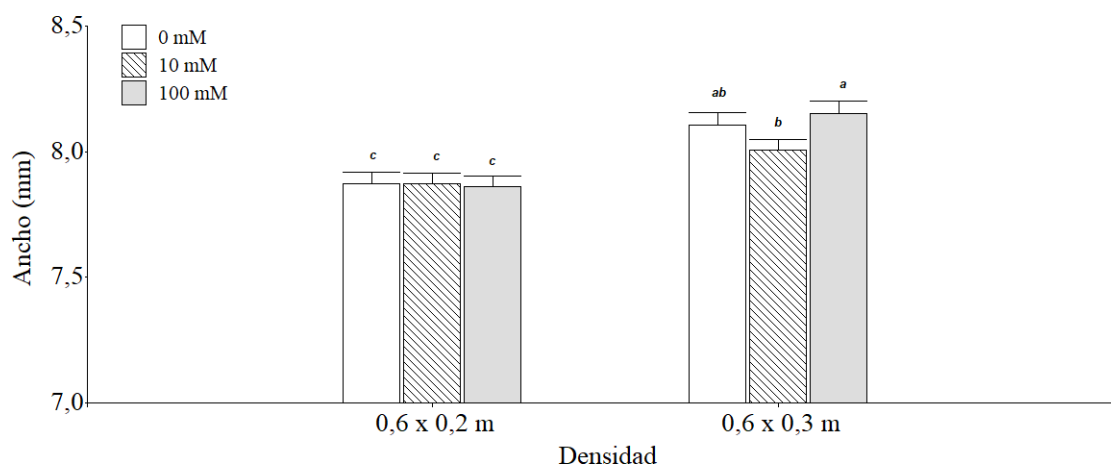
Vásquez et al. (2024), refieren que, con dos densidades de siembra, 11 plantas m^2 (0.60 m entre surcos y 0.30 m entre plantas) y 4 plantas m^2 (0.80 m entre surcos y 0.60 m entre plantas), tuvo un incremento en 2 y 3% el largo de la semilla entre las densidades, siendo más grande en la densidad de 4 plantas por metro cuadrado. Lo que difiere de los resultados obtenidos, donde no se encontró ninguna diferencia significativa, debido a que en la aplicación de sacarosa no se presentó incremento del largo en las semillas, principalmente por la densidad muy alta de plantas, como el autor en mención que refiere que la mayor cantidad de plantas inhibe el desarrollo de esta.

4.2.2. Ancho de la semilla.

El análisis de varianza de esta variable (Anexo 1) nos indica que existen diferencias significativas entre los factores de densidad de siembra y dosis de sacarosa ($p = 0.0409$). En la Figura 8 se puede observar que en las dos densidades de siembra no se incrementó el ancho de la semilla; esto difiere de Calzada et al. (2015), quien sí encontró diferencias significativas para esta variable, pudiendo ser resultado de la aplicación de un promotor del crecimiento activado molecularmente. En la densidad D1 podemos apreciar que no existe diferencia teniendo un promedio entre las dosis de sacarosa de 7.866 mm. Por otra parte, en la densidad D2 podemos observar que las plantas tratadas con concentraciones de 100 mM, con un promedio de 8.15 mm, fueron superiores a las tratadas con 10 mM en un 1.72%; así mismo, las tratadas con 0 mM fueron similares a las anteriores mencionadas. Además, se observa que el largo de la vaina en las plantas sembradas a la densidad de siembra D2 es mayor, con incrementos del 2.96, 1.75 y 3.55% para las dosis S1, S2 y S3 respectivamente.

Figura 8.

Acho de la semilla de la interacción entre las dosis de sacarosa y las densidades de siembra.



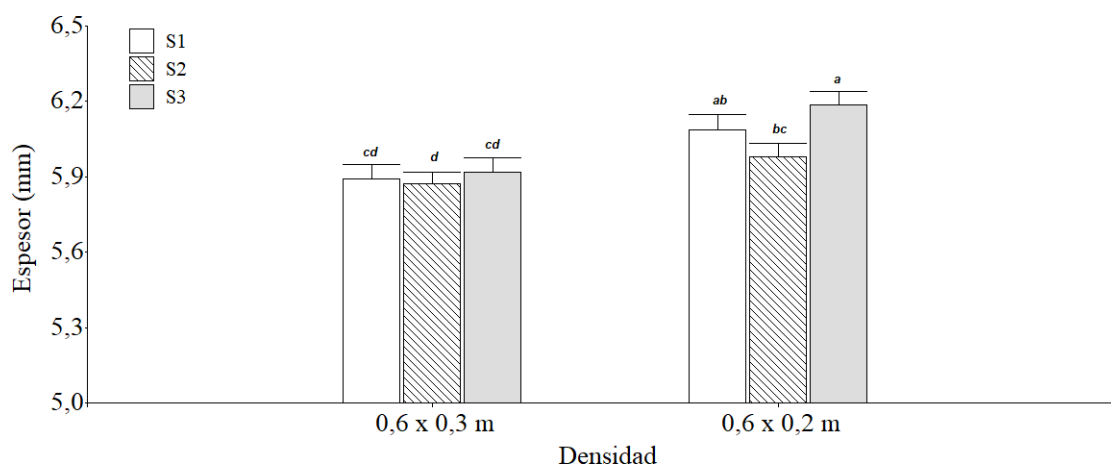
Montenegro et al. (2016) mencionan que, en su estudio realizado en Cuba con la implementación de una densidad de siembra, obtuvieron anchos de la semilla entre 4.7 mm y 7.5 mm. Mientras que en la aplicación de dos densidades de la presente investigación se obtuvo anchos entre 7.86 y 8.15 mm, obteniendo mejores resultados por la variedad utilizada. En lo que concierne a dosis de sacarosa empleadas, no tuvieron ningún efecto; caso contrario con el estudio de Suarez et al. (2020), quien realizó un experimento en jengibre en donde con mayores concentraciones de sacarosa tuvo mejores resultados en el tamaño de los brotes. Por lo que se considera que la concentración de la dosis utilizada fue muy baja.

4.2.3. Espesor de la semilla.

El análisis de varianza que se usó para esta variable (Anexo1) muestra que existe una interacción entre el factor densidad de siembra y dosis de sacarosa ($p = 0.0329$). En la Figura 9 se puede apreciar que no se presencié un incremento en el espesor de la semilla. En la densidad de siembra D1, el espesor de la semilla en todas las concentraciones de sacarosa fue similar teniendo un promedio de 5.89 mm. Por otro lado, en la densidad D2 se puede observar que el espesor de la semilla no es diferente entre las dosis, teniendo un promedio de 6.09 mm. Además, se puede apreciar que el espesor es mayor en D2, teniendo así un incremento del 3.28, 1.84 y 4.36% en las dosis S1, S2 y S3 respectivamente.

Figura 9.

Espesor de la semilla de la interacción entre las dosis de sacarosa y las densidades de siembra en fréjol.



En esta variable se repite la tendencia en donde D2 tiene mejor tamaño que D1, lo cual tiene similitud con estudios realizados en el valle interandino del Ecuador con condiciones similares a las de la investigación, en donde se experimentó que con menores densidades de siembra de 4 plantas m^2 se obtuvo mayor número de vainas y tamaños de las semillas en comparación con las que tenían 11 plantas por m^2 (Vásquez et al., 2024). Esto concuerda con la presente investigación, en donde la D2 teniendo menor carga de plantas, tuvo mejor tamaño que las que D1 con mayor carga de plantas. Por otro lado, la sacarosa no mostró ninguna diferencia significativa entre ellas, atribuyéndolo a mucha densidad de siembra y por la competencia por luz, agua y nutrientes; por esto se limita el crecimiento de la semilla (Blanco-Valdés, 2019).

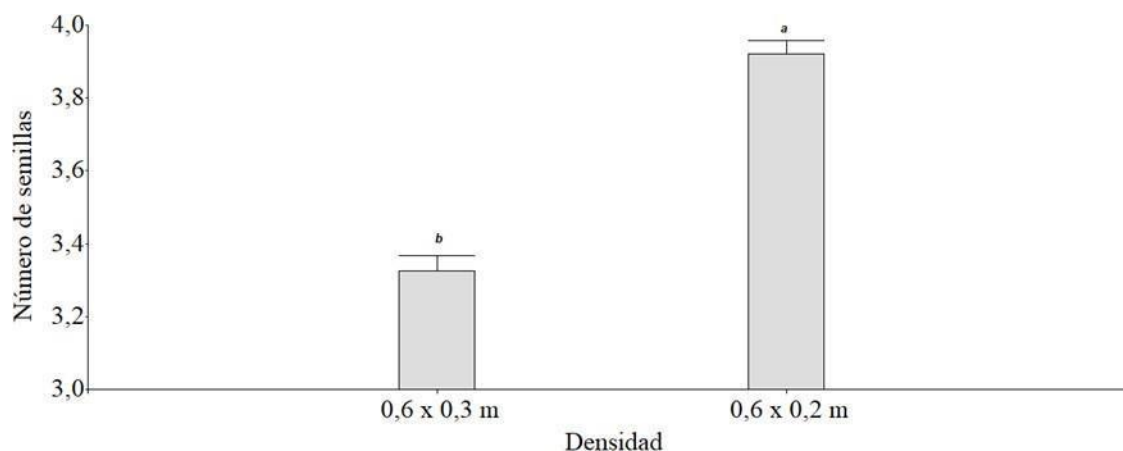
4.3. Número de semillas por vaina.

El análisis de varianza para esta variable (Anexo 1) muestra que existen diferencias significativas solo en densidad ($p \ll 0.0001$). En la Figura 10 se puede observar que la

densidad D2 (0.6 x 0.3 m), con un promedio de 3.92 semillas planta⁻¹ tiene mayor número de semillas, con un incremento de un 15.05% en comparación con la densidad D1 (0.6 x 0.3 m).

Figura 10.

Número de semillas por cada vaina comparadas entre densidades de siembra.



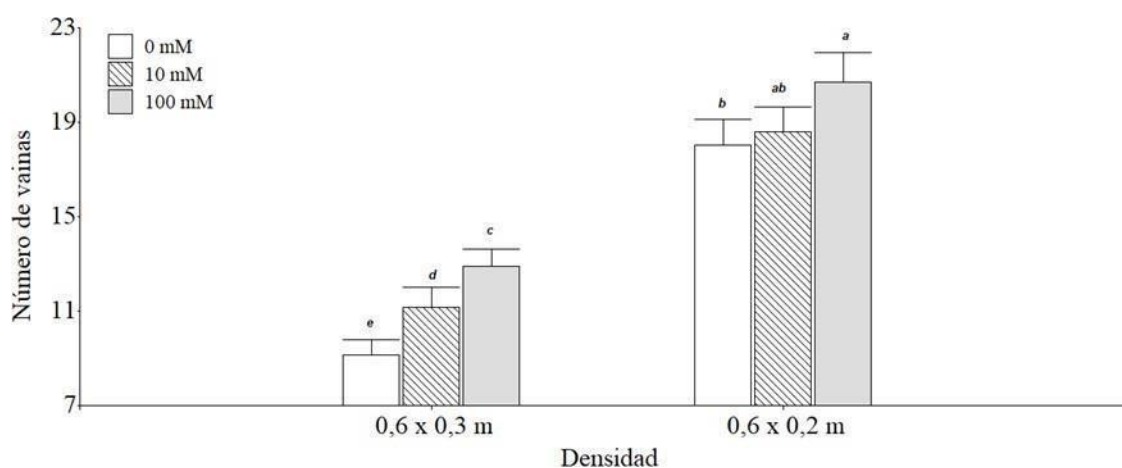
(Araújo et al., 2019) mencionan que, al tener vainas más grandes, tenemos más números de granos por vaina. Lo que se corrobora con lo que se obtuvo en la investigación, en donde hubo vainas más grandes en el caso de D2; por ende, en esta variable se aprecia el incremento de estas. Lo que concuerda con Aybar-Peve et al. (2025), quien indica que, mientras más grande sea la vaina, mayor número de semillas se producirán.

4.4 Número de vainas por planta.

El análisis de varianza para esta variable (Anexo 1) nos indica que existe una interacción entre el factor densidad de siembra y dosis de sacarosa ($p=0.0424$). En la Figura 11 se puede apreciar que las densidades de siembra y dosis de sacarosa influyen en el número de vainas por planta. En la densidad de siembra D1, el número de vainas tratadas con 100 mM de sacarosa, con un promedio de 12.90 vainas, fue superior a las concentraciones de 10 mM y 0 mM en un 13.41 y 29.22% respectivamente. En cuanto a D2, la dosis de S3 con un promedio de 20.70 vainas fue superior a S1 en un 12.9%, mientras que, en el caso de S2, mantiene un promedio similar al observado en las otras concentraciones. Por otro lado, se tienen incrementos en la densidad D2 de 49.36, 39.95 y 37.68% para S1, S2 y S3 respectivamente.

Figura 11.

Número de vainas por cada planta del resultado de la interacción entre las densidades de siembra y dosis de sacarosa.



En un estudio realizado en Costa Rica, se aplicaron densidades de 14, 17, 20, 23 y 26 plantas m^2 , se resalta la densidad de 14 y 17 plantas m^2 debido a que se obtuvo mejores rendimientos por tener más espacio entre ellas (Bernardo Mora et al., 1998). Lo cual concuerda con esta investigación que, con densidad de 8 plantas m^2 tuvo mayor número de vainas en comparación con la que tenía 33 plantas m^2 . En este contexto, la sacarosa influyó en el número de vainas; esto nos dice que a mayor dosis de sacarosa, mayor cantidad de vainas, concordando con lo que refiere Suarez et al. (2020) en el caso del jengibre, donde se obtuvo mayor número de brotes gracias a la aplicación de sacarosa.

4.5 Altura de la planta.

El análisis de varianza para la variable altura (Tabla 11) muestra que no se encontraron efectos significativos de la densidad de siembra ($p = 0.8270$), de la dosis de sacarosa ($p = 0.3422$) ni de la interacción entre ambos factores ($p = 0.6953$). Las dos densidades evaluadas presentaron alturas prácticamente iguales, con medias ajustadas de 32.25 cm en D1 y 32.38 cm en D2, evidenciando que la variación entre tratamientos fue mínima.

Del mismo modo, las dosis de sacarosa no generaron diferencias importantes en esta variable. Las medias ajustadas para S1 (32.78 cm), S3 (32.45 cm) y S2 (31.71 cm) se mantuvieron dentro de un rango estrecho, sin incrementos atribuibles a la aplicación del regulador ($p > 0.05$). En conjunto, estos resultados indican que, bajo las condiciones del experimento, ni la densidad de siembra ni la sacarosa tuvieron un efecto significativo sobre la altura de las plantas de fréjol.

Tabla 11.

Tabla del análisis de varianza de la variable altura de la planta.

Fuente de variación	gl	gl error	F	p
Intercepto	1	532	11219.56	< 0.001
Densidad	1	532	0.05	0.827
Sacarosa	2	532	1.07	0.342
Densidad × Sacarosa	2	532	0.36	0.695

En un estudio realizado por Lambert G et al. (2019) en Cuba, donde se aplicaron microorganismos esenciales y quitosano al cultivo de fréjol y maní, la altura de la planta registró un 9.23 y 6.11% de incremento en altura en frijol y maní, respectivamente. A diferencia de lo encontrado en la presente investigación, donde la aplicación de sacarosa no tuvo ninguna diferencia en la altura de la planta. Por otro lado, Santacruz y Salas (2008) mencionan que a mayores densidades de siembra las plantas, por fototropismo crecen más, lo que difiere de Calero et al.(2017) quienes realizaron un experimento usando 4 densidades de siembra en fréjol común en Cuba, mostrando que las plantas que tenían menor densidad de siembra tenían más tamaño. En contraste con los resultados de esta investigación, en donde no se presentaron diferencias significativas en la altura de la planta.

4.6 Rendimiento kg ha⁻¹

El análisis de varianza para el rendimiento (Tabla 12) mostró que no existieron efectos significativos de la densidad de siembra ($p = 0.2089$), de la dosis de sacarosa ($p = 0.1650$) ni de la interacción entre ambos factores ($p = 0.8933$). Las medias ajustadas para D1 (622.43 kg ha⁻¹) y D2 (568.73 kg ha⁻¹) fueron similares, indicando que la variación en el espaciamiento no generó cambios importantes en el rendimiento.

De igual manera, las dosis de sacarosa no produjeron diferencias relevantes. Las medias ajustadas para S1 (645.12 kg ha⁻¹), S2 (575.36 kg ha⁻¹) y S3 (566.27 kg ha⁻¹) se mantuvieron dentro de un rango estrecho, sin incrementos atribuibles a la aplicación del regulador ($p > 0.05$). En conjunto, estos resultados muestran que, bajo las condiciones del experimento, ni la densidad de siembra ni la sacarosa afectaron significativamente el rendimiento del cultivo.

Tabla 12.

Análisis de varianza de la variable rendimiento kg ha-1.

Fuente de variación	gl	gl error	F	p
Intercepto	1	10	1526.73	< .001
Densidad	1	10	1.80	0.209
Sacarosa	2	10	2.17	0.165
Densidad × Sacarosa	2	10	0.11	0.893

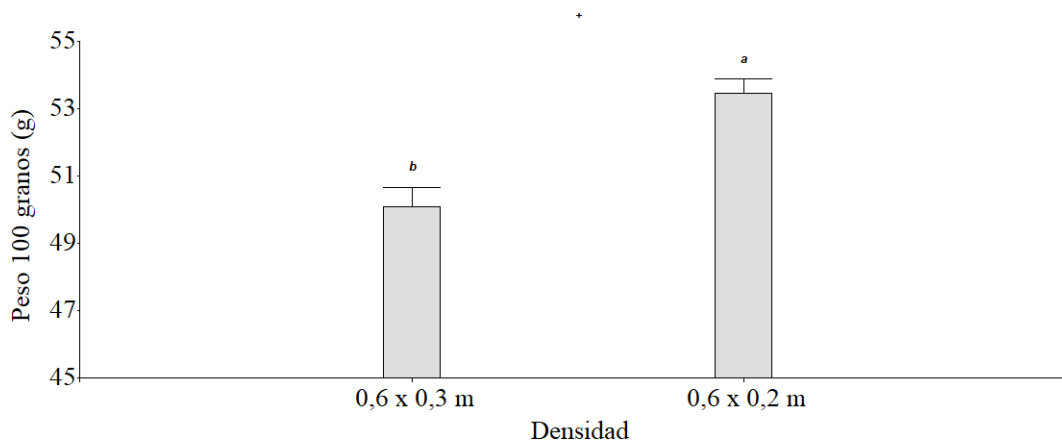
A pesar de que no se tuvieron diferencias significativas en esta variable, se puede deducir que D2 es mejor que D1 debido a que, al igualarla con menos cantidad de planta, optimizamos recursos. En comparación con un estudio donde se aplicó 5 densidades de siembra diferentes, obteniendo más rendimiento las que tenían 14 y 17 plantas m² (Bernardo Mora et al., 1998). Por otro lado, un estudio de Villatoro y Cano (2018) corrobora lo dicho; en el experimento que ellos realizaron, las plantas con menos densidad de siembra tuvieron mejores resultados en rendimiento.

4.7 Peso de 100 semillas.

El análisis de varianza para la variable peso de 100 semillas (Anexo 1) indica que existen diferencias significativas entre las densidades de siembra, mas no en las dosis de sacarosa. Podemos ver en la Figura 12 que el peso de las 100 semillas en el caso de la densidad de siembra D2, con un promedio de 53.44 g, es mayor que el peso de las semillas de la densidad de siembra D1 en un 4.62%.

Figura 12.

Peso de 100 semillas.



En un experimento realizado en México, se usó tres tipos de densidades de siembra (hilera sencilla, tres hileras y seis hileras), de las cuales las que tenían una hilera tuvieron mejores resultados en el peso de cien semillas (Osuna-Ceja et al., 2013). Mientras que Modesto et al. (2023) muestran que no existen diferencias significativas, atribuyéndolo a los tallos cortos. Los resultados obtenidos confirman lo que refiere Osuna-Ceja et al. (2013) donde se demuestra que a menor número de plantas, mayor peso de los granos, repitiéndose la tendencia que se viene dando en la investigación.

4.8 Costos de producción

Los costos de producción por hectárea presentaron diferencias al comparar las densidades de siembra evaluadas (Tabla 13). La densidad D1 (0.3×0.6 m con tres semillas por punto) registró un mayor costo de producción en semilla por hectárea (67.28 USD) en comparación con la densidad D2 (0.2×0.6 m con una semilla por punto), cuyo costo fue de 36.31 USD. Esta diferencia se atribuye principalmente al mayor uso de semilla requerido en la densidad D1, lo que incrementa el costo total del establecimiento del cultivo.

Tabla 13.

Costo por parcela y por hectárea de los diferentes factores aplicados, hablando de semilla y sacarosa usados.

Costos	D1	D2	S1	S2	S3
Por parcela	0.28\$	0.15\$	0\$	0.01\$	0.1\$
Por hectárea	67.28\$	36.31\$	0\$	2.1\$	21\$

A pesar de que el rendimiento no mostró diferencias estadísticas significativas entre densidades, la densidad D2, con aproximadamente 40 476 plantas ha^{-1} , logró igualar el rendimiento obtenido en la densidad D1, que contó con cerca de 75 000 plantas ha^{-1} , evidenciando una mayor eficiencia productiva al utilizar una menor cantidad de plantas y reducir los costos de producción.

En cuanto a las dosis de sacarosa, los costos por hectárea fueron bajos en todos los tratamientos. El tratamiento S1 (0 mM) no presentó costo adicional, mientras que S2 (10 mM) y S3 (100 mM) registraron costos de 2.10 USD y 21 USD por hectárea, respectivamente. No se observaron diferencias significativas en el rendimiento atribuibles a la aplicación de sacarosa, por lo que el incremento en el costo, especialmente en la dosis más alta, no se reflejó en una mejora productiva del cultivo.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES

El rendimiento del cultivo de fréjol fue numéricamente superior con la densidad de siembra 0.2×0.6 m y una semilla por punto (D2), especialmente en combinación con la mayor concentración de sacarosa, aunque sin diferencias estadísticamente significativas. Esto indica una tendencia positiva, pero su impacto en la productividad total estuvo condicionado por factores como la luz.

La densidad de siembra 0.2×0.6 m con una semilla por punto (D2), especialmente en combinación con la dosis más alta de sacarosa (S3), presentó los mejores resultados en características morfológicas como largo, ancho y espesor de la vaina, así como espesor y ancho de la semilla. Este tratamiento superó significativamente a los demás en la mayoría de las variables evaluadas.

RECOMENDACIONES

Para futuras experimentaciones, se sugiere aumentar las dosis de sacarosa aplicadas, ya que los resultados obtenidos en la presente investigación indican que la luz desempeñó un papel más determinante que la sacarosa en el desarrollo del cultivo. Esto sugiere que las concentraciones utilizadas podrían haber sido insuficientes para generar un efecto significativo. Por lo tanto, se recomienda evaluar concentraciones más elevadas de sacarosa, con el objetivo de potenciar su efecto fisiológico y lograr mejores resultados en combinación con condiciones adecuadas de luminosidad.

CAPÍTULO VI

BIBLIOGRAFÍA.

- Allard, R. (1960). *Principles of plant breeding*. John Wiley and Sons.
- Altuntaş, C., Sezgin, A., Demiralay, M., Terzi, R., Sağlam, A., & Kadioğlu, A. (2019). Application of sucrose modulates the expressions of genes involved in proline and polyamine metabolism in maize seedlings exposed to drought. *Biologia Plantarum*, 63(1), 247–252. <https://doi.org/10.32615/bp.2019.028>
- Araújo, L. B. R., Pinheiro, M. D. S., Fiege, L. B. D. C., Bertini, C. H. C. D. M., & Dovale, J. C. (2019). Agronomic potential and genetic diversity of landraces of cowpea of the state of Ceará. *ResearchGate*. <https://doi.org/10.1590/1983-21252019v32n314rc>
- Aybar-Peve, L., Cervantes-Zamudio, R., Camargo-Cobeñas, M., Chihuan-Palomino, E., Rojas-Meza, M., & Terán-Rojas, J. (2025, agosto 15). *Fenología, crecimiento y rendimiento de nueve líneas de frijol común (Phaseolus vulgaris L.) en condiciones agroclimáticas de Chincha, Perú*.
- Bernardo Mora, G., Flores, G., Fernández, S., & Solórzano, A. (1998). Efecto de las densidades de siembra y un fungicida en el rendimiento del frijol. 9(2).
- Blanco-Valdés, Y. (2019). Importancia de la calidad de la luz entre las plantas arvenses–cultivo. 40(4).
- Brauer, O. (1969). *Fitogenética aplicada*. Editorial Limura.
- Calero, A., Castillo, Y., Quintero, E., Pérez, Y., & Olivera, D. (2017). Efecto de cuatro densidades de siembra en el rendimiento agrícola del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista de la Facultad de Ciencias*, 7(1), 88–100.
- Calzada, K. P., Fernández, J. C. R., & Sotolongo, M. S. (2015, diciembre). *Comportamiento productivo del frijol (Phaseolus vulgaris L.) ante la aplicación de un promotor del crecimiento activado molecularmente*.

- Chhetri, A. B., Lal, J. P., Nair, R. M., & Singh, A. K. (2025). Genetic diversity for pod and seed traits in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Discover Plants*, 2(1), 228. <https://doi.org/10.1007/s44372-025-00316-y>
- Debouck, D., Hidalgo, R., Ospina, H., & Flor, C. (1984). *Morfología de la planta de fréjol común*. CIAT.
- Espinoza, E. A. (2009). *Evaluación de 16 genotipos seleccionados en dos densidades de siembra de frijol cv. Centenario (Phaseolus vulgaris L.)* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina].
- Fernández, F., Gepts, P., & López, M. (1982). *Etapas de desarrollo de la planta de fréjol común (Phaseolus vulgaris L.)*. CIAT.
- Guamán, R. N. G., Vera, T. X. D., Abril, Á. F. V., Cortázar, S. M. U., & Salguero, E. J. R. (2020). Adaptabilidad de cuatro variedades de fréjol (*Phaseolus vulgaris* L.) en la parroquia Luz de América—Ecuador. *Siembra*, 7(1). <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1908>
- Hoffmann, C. M. (2010). Sucrose accumulation in sugar beet under drought stress. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196(4), 243–252. <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2009.00415.x>
- INIAP. (2001). *Informe de investigación: Estudio de la producción, poscosecha, mercadeo y consumo de fréjol arbustivos en el Valle del Chota, Ecuador*. INIAP.
- Jiménez, R., Ramón, M., Lépiz, R., & Ullauri, J. (1996). *El cultivo de fréjol común en los valles de la provincia de Loja*. CIAT–INIAP.
- Karavidas, I., Ntatsi, G., Vougeleka, V., et al. (2022). Agronomic practices to increase the yield and quality of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agronomy*, 12(2), 271. <https://doi.org/10.3390/agronomy12020271>
- Kouam, E. B., & Tsague-Zanfack, A. B. (2020). Effect of plant density on growth and yield attributes of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 12(2), 399–408. <https://doi.org/10.15835/nsb12210519>

- Lambert G., T., Santiesteban S., R., Ceiro C., W. G., et al. (2019). Efecto de bioproductos en la producción de *Phaseolus vulgaris* L. y *Arachis hypogea* L. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 36(1), 59–66. <https://doi.org/10.22267/rcia.193601.98>
- Langford, P. J., & Wainwright, H. (1987). Effects of sucrose concentration on the photosynthetic ability of rose shoots in vitro. *Annals of Botany*, 60(6), 633–640. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a087493>
- Li, D., Zhang, X., Xu, Y., et al. (2019). Effect of exogenous sucrose on anthocyanin synthesis in postharvest strawberry fruit. *Food Chemistry*, 289, 112–120. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.042>
- Llanga, L., Avila-Salem, M. E., Montesdeoca, F., et al. (2023). Efecto de la labranza y fertilización nitrogenada en los cultivos de fréjol y maíz. *Siembra*, 10(1). <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.4261>
- Medina, I., Rodés, R., & Kuehn, C. (2010). Avances en el conocimiento de las proteínas transportadoras de sacarosa. *Cultivos Tropicales*, 31(4).
- Mier-Tous, J.-M., Pineda-Vides, F., Hernández-Ureche, J., et al. (2023). Retos en la agricultura sostenible de América Latina. *Boletín de Innovación, Logística y Operaciones*, 5(1). <https://doi.org/10.17981/bilo.5.1.2023.09>
- Modesto, L. G. L., Fajardo, L. D. M., López, H. C. C., & Hernández, Y. J. (2023). *Evaluación de componentes de rendimiento en frijol*.
- Montenegro, C. F. D. L. F., Piedra, A. L., Cárdenas Travieso, R. M., & Pérez, J. H. (2016). Agronomic response of common bean cultivars in Cuba. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2992.2805>
- Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., & Martínez-Gamiño, M. Á. (2018). Rendimiento de frijol Pinto Saltillo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3(7). <https://doi.org/10.29312/remexca.v3i7.1345>
- Osuna-Ceja, E. S., Reyes-Muro, L., Padilla-Ramírez, J. S., et al. (2013). Rendimiento de genotipos de frijol. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4(8), 1209–1221.

- Peralta, E., Murillo, A., Caicedo, C., Pinzón, J., & Rivera, M. (1998). *Manual agrícola de leguminosas*. INIAP.
- Peralta, E., Pinzón, J., Vásquez, J., & Lépiz, R. (1995). *Las leguminosas de grano comestible en el Ecuador*. INIAP–PROFIZA.
- Peralta, I. E., Murillo, I. A., Mazón, N., Pinzón Z., J., & Villacrés, E. (2013). *Manual agrícola de fréjol y otras leguminosas*. INIAP.
- Pérez, C. D. J., & Pimentel, G. J. L. (2014). *Efecto de densidades y espaciamentos en frijol Amadeus 77*. Zamorano.
- Ribeiro, R. V., Machado, E. C., Magalhães Filho, J. R., et al. (2017). Sink strength and sucrose in sugarcane. *Journal of Plant Physiology*, 208, 61–69.
<https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.11.005>
- Santacruz, E., & Salas, P. (2008). Competencia de malezas y densidad de siembra en algodón. *Investigación Agraria*, 10(2), 21–28.
- Schawartz, H., & Gálvez, G. (1980). *Bean production problems*. CIAT.
- Shoonhoven, A. (1987). *Sistema estándar para la evaluación de germoplasma de fréjol*. CIAT.
- SIPA. (2023). *Boletín situacional fréjol*. <https://online.fliphtml5.com/ijia/vnvs/>
- Stoilova, T., Pereira, G., & De Sousa, M. (2013). Morphological characterization of common bean. *Journal of Central European Agriculture*, 14(3).
<https://doi.org/10.5513/JCEA01/14.3.1277>
- Suarez, I. E., Pérez Meza, P. M., López Díaz, C. M., & Suarez Padrón, I. E. (2020). Evaluación de sacarosa y GA3. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 21(2).
https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num2_art:1193
- Tan, C., Zhang, L., Duan, X., et al. (2022). Exogenous sucrose and selenium in pea sprouts. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(7), 2855–2863.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.11626>

- Vargas Tupiza, L. F. (2018). *Identificación de plagas y enfermedades del fréjol*. UTB.
- Vásquez, S. C., Sanchez, E. I. V., Guamán, A., Molina-Müller, M., & Uquillas, C. A. M. (2024). Densidad de plantas en fréjol. *La Granja*, 39(1), 160–170.
<https://doi.org/10.17163/lgr.n39.2024.10>
- Villatoro, S. G. H., & Cano, J. F. L. (2018). Efecto de densidades de siembra en frijol en Guatemala.
- Voysest, O. (2000). *Mejoramiento genético del frijol*. CIAT.
- Zaman, I., Ali, M., Shahzad, K., et al. (2021). Plant spacing and cotton yield. *Agronomy*, 11(12), 2589. <https://doi.org/10.3390/agronomy11122589>

ANEXOS.

Anexo 1.

Análisis de la base de datos en Infostat.

1. TAMAÑO DE LA SEMILLA

Variable	n	CV
LARGO	900	7,96
ANCHO	900	7,08
ESPESOR	900	11,18

1.1 LARGO DE LA SEMILLAS

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value	
(Intercept)	1	892	142288,02	<0,0001	
Densidad		1	892	3,47	0,0629
Sacarosa	2	892	1,09	0,3355	
Densidad:Sacarosa	2	892	0,09	0,9183	

LARGO - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D2	15,60	0,06	A
D1	15,45	0,06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Variable	Media	E.E.
D1	LARGO	15,45	0,06
D2	LARGO	15,60	0,06

LARGO - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S1	15,59	0,07	A
S3	15,54	0,07	A
S2	15,45	0,07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Sacarosa	Variable	Media	E.E.
S1	LARGO	15,59	0,08
S2	LARGO	15,45	0,07
S3	LARGO	15,54	0,06

1.2 ANCHO DE LA SEMILLAS

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	892	53326,54	<0,0001
Densidad	1	892	35,73	<0,0001
Sacarosa	2	892	1,18	0,3063
Densidad:Sacarosa	2	892	1,61	0,0409

ANCHO - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D2	8,09	0,04	A
D1	7,87	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANCHO - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S3	8,01	0,04	A
S1	7,99	0,04	A
S2	7,94	0,04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANCHO - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad*Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

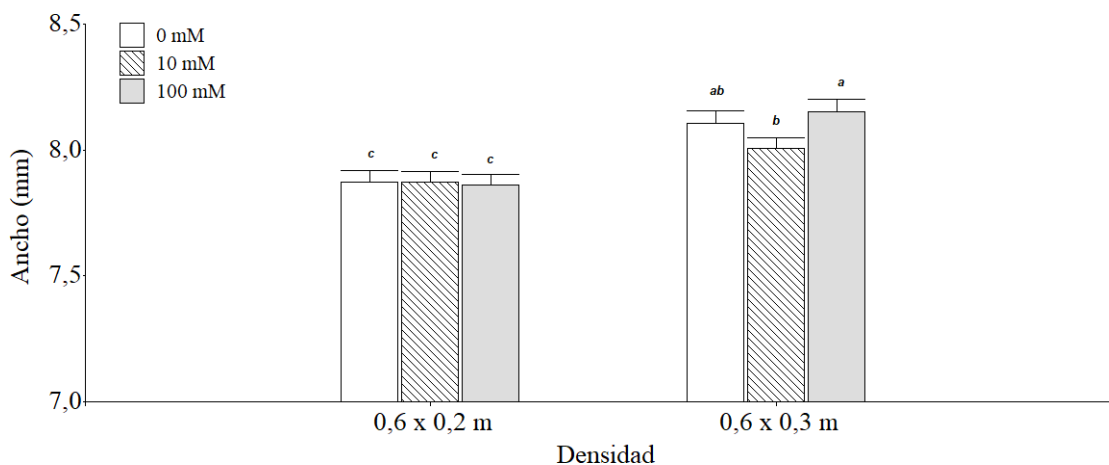
Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Sacarosa	Medias	E.E.	
D2	S3	8,15	0,05	A
D2	S1	8,11	0,05	A B
D2	S2	8,01	0,05	B
D1	S1	7,87	0,05	C
D1	S2	7,87	0,05	C
D1	S3	7,86	0,05	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Sacarosa	Variable	Media	E.E.
----------	----------	----------	-------	------

D1	S1	ANCHO	7,87	0,05
D1	S2	ANCHO	7,87	0,04
D1	S3	ANCHO	7,86	0,04
D2	S1	ANCHO	8,11	0,05
D2	S2	ANCHO	8,01	0,04
D2	S3	ANCHO	8,15	0,05



1.3 ESPESOR DE LA SEMILLA

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	892	11685,92	<0,0001
Densidad	1	892	18,55	<0,0001
Sacarosa	2	892	2,78	0,0625
Densidad:Sacarosa	2	892	1,11	0,3294

ESPESOR - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D2	6,08	0,06	A
D1	5,90	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ESPESOR - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.		
S3	6,05	0,06	A	
S1	5,99	0,06	A	B
S2	5,93	0,06		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ESPESOR - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad*Sacarosa

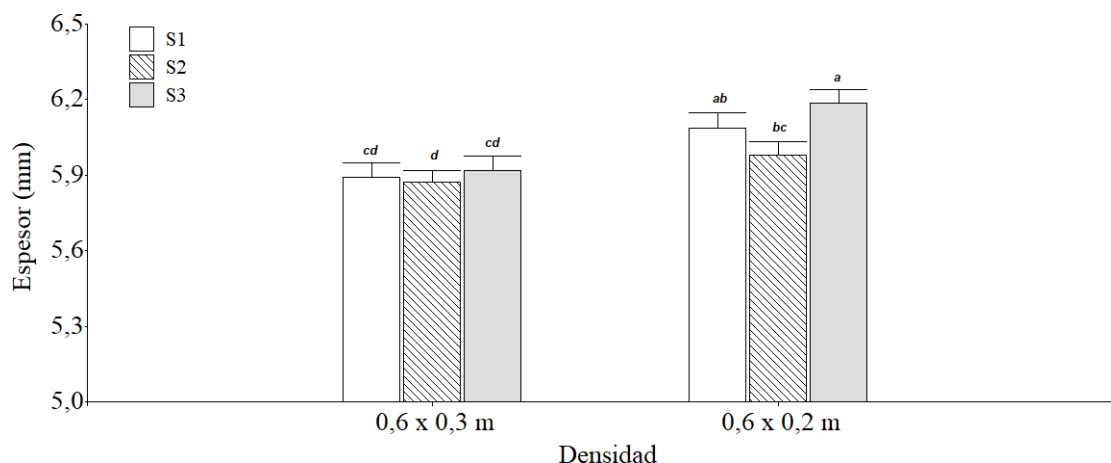
LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Sacarosa	Medias	E.E.			
D2	S3	6,19	0,07	A		
D2	S1	6,09	0,07	A	B	
D2	S2	5,98	0,07		B	C
D1	S3	5,92	0,07			C
D1	S1	5,89	0,07			C
D1	S2	5,87	0,07			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Sacarosa	Variable	Media	E.E.
D1	S1	ESPESOR	5,89	0,06
D1	S2	ESPESOR	5,87	0,05
D1	S3	ESPESOR	5,92	0,06
D2	S1	ESPESOR	6,09	0,06
D2	S2	ESPESOR	5,98	0,05
D2	S3	ESPESOR	6,19	0,05



2. TAMAÑO DE LA VAINA

Variable	n	CV
LARGO	894	11,25
ANCHO	894	9,16
ESPESOR	894	10,09
#SEMILLAS	894	23,98

2.1 LARGO DE LA VAINA

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	886	65859,02	<0,0001
Densidad	1	886	111,84	<0,0001
Sacarosa	2	886	6,25	0,0020
Densidad:Sacarosa	2	886	0,30	0,0489

LARGO - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D2	108,71	0,55	A
D1	100,90	0,55	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LARGO - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S1	106,27	0,67	A
S3	105,05	0,66	A
S2	103,09	0,66	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

LARGO - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad*Sacarosa

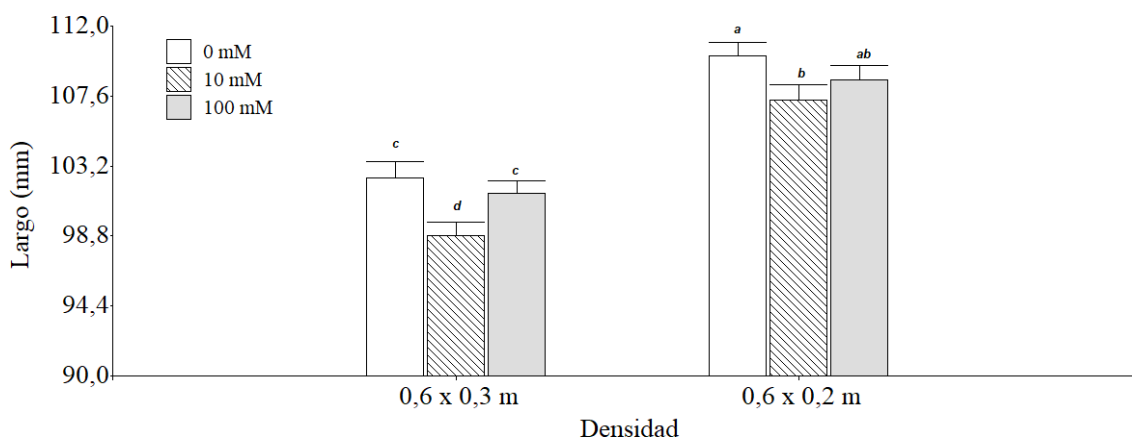
LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Sacarosa	Medias	E.E.	
D2	S1	110,11	0,92	A
D2	S3	108,64	0,92	A B
D2	S2	107,37	0,92	B
D1	S1	102,43	0,94	C
D1	S3	101,45	0,92	C
D1	S2	98,80	0,92	D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Sacarosa	Variable	Media	E.E.
D1	S1	LARGO	102,43	1,02
D1	S2	LARGO	98,80	0,88
D1	S3	LARGO	101,45	0,79
D2	S1	LARGO	110,11	0,87
D2	S2	LARGO	107,37	0,96
D2	S3	LARGO	108,64	0,91



2.2 ANCHO DE LA VAINA

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	886	28330,93	<0,0001
Densidad	1	886	21,48	<0,0001
Sacarosa	2	886	6,99	0,0010
Densidad:Sacarosa	2	886	11,01	<0,0001

ANCHO - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D2	9,86	0,06	A
D1	9,59	0,06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANCHO - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S1	9,86	0,07	A
S3	9,72	0,07	A B
S2	9,59	0,07	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANCHO - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad*Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

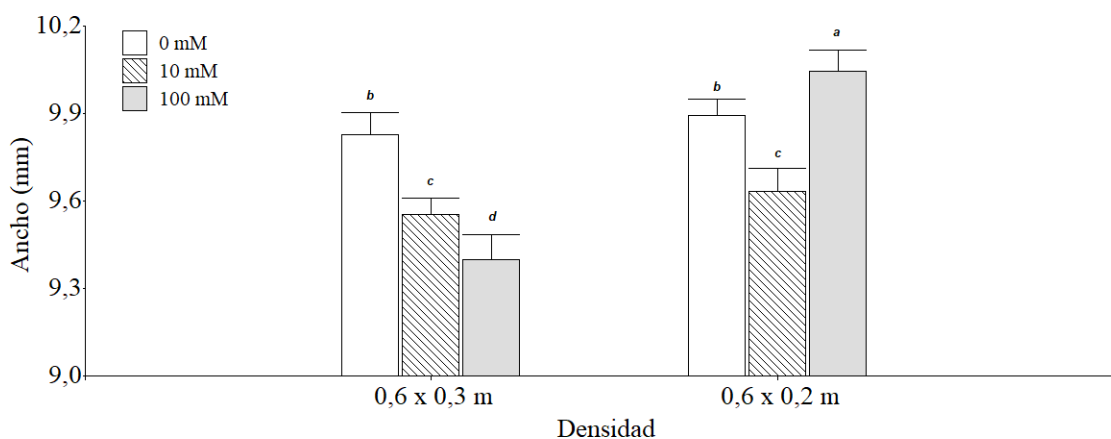
Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Sacarosa	Medias	E.E.
----------	----------	--------	------

D2	S3	10,05	0,09	A				
D2	S1	9,89	0,09	A	B			
D1	S1	9,83	0,09		B	C		
D2	S2	9,63	0,09			C	D	
D1	S2	9,55	0,09				D	E
D1	S3	9,40	0,09					E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Sacarosa	Variable	Media	E.E.
D1	S1	ANCHO	9,83	0,08
D1	S2	ANCHO	9,55	0,06
D1	S3	ANCHO	9,40	0,08
D2	S1	ANCHO	9,89	0,06
D2	S2	ANCHO	9,63	0,08
D2	S3	ANCHO	10,05	0,07



2.3 ESPESOR DE LA VAINA

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	886	97763,00	<0,0001
Densidad	1	886	122,08	<0,0001
Sacarosa	2	886	4,13	0,0164
Densidad:Sacarosa	2	886	3,34	0,0360

ESPESOR - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D2	8,36	0,04	A
D1	7,80	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ESPESOR - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S2	8,15	0,04	A
S3	8,11	0,04	A
S1	7,98	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ESPESOR - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad*Sacarosa

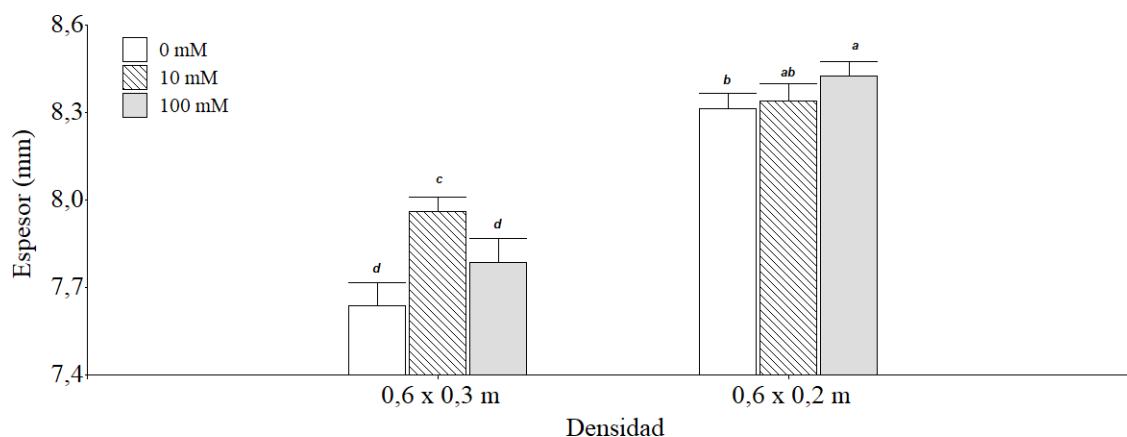
LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Sacarosa	Medias	E.E.	
D2	S3	8,43	0,06	A
D2	S2	8,34	0,06	A
D2	S1	8,31	0,06	A
D1	S2	7,96	0,06	B
D1	S3	7,79	0,06	C
D1	S1	7,64	0,06	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Sacarosa	Variable	Media	E.E.
D1	S1	ESPESOR	7,64	0,08
D1	S2	ESPESOR	7,96	0,05
D1	S3	ESPESOR	7,79	0,08
D2	S1	ESPESOR	8,31	0,05
D2	S2	ESPESOR	8,34	0,06
D2	S3	ESPESOR	8,43	0,05



3. NUMERO DE SEMILLAS

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	886	15764,00	<0,0001
Densidad	1	886	118,72	<0,0001
Sacarosa	2	886	0,47	0,6229
Densidad:Sacarosa	2	886	1,47	0,2294

SEMILLAS - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

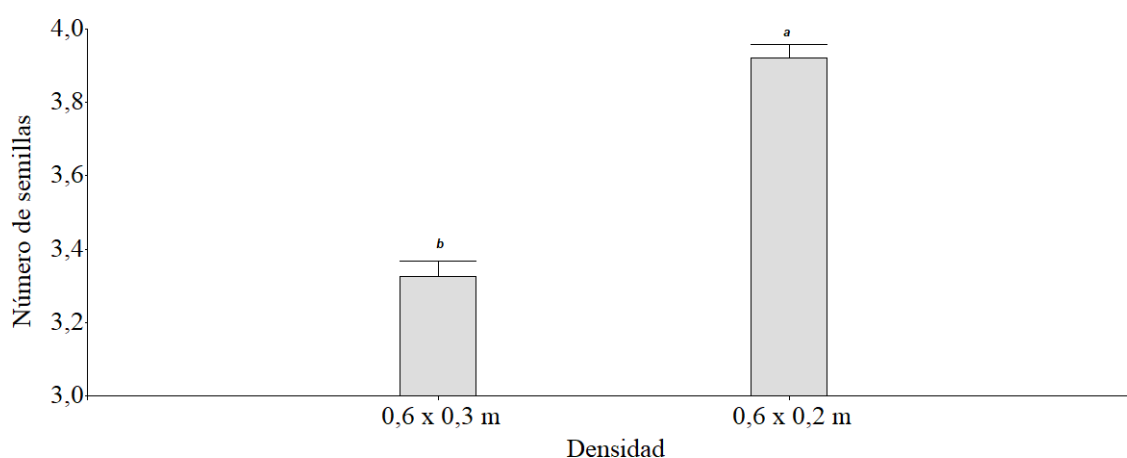
LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D2	3,92	0,04	A
D1	3,33	0,04	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Variable	Media	E.E.
D1	#SEMILLAS	3,33	0,04
D2	#SEMILLAS	3,92	0,04



SEMILLAS - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S1	3,66	0,05	A
S3	3,62	0,05	A
S2	3,60	0,05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Sacarosa	Variable	Media	E.E.
S1	#SEMILLAS	3,67	0,05
S2	#SEMILLAS	3,60	0,05
S3	#SEMILLAS	3,62	0,05

4. NÚMERO DE VAINAS

Variable	n	CV
#VAINAS	180	44,23

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	172	707,73	<0,0001
Densidad	1	172	108,58	<0,0001
Sacarosa	2	172	5,86	0,0035
Densidad:Sacarosa	2	172	4,33	0,0424

VAINAS - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D2	19,11	0,69	A
D1	11,07	0,69	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

VAINAS - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S3	16,80	0,79	A
S2	14,88	0,79	B
S1	13,58	0,79	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

VAINAS - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad*Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

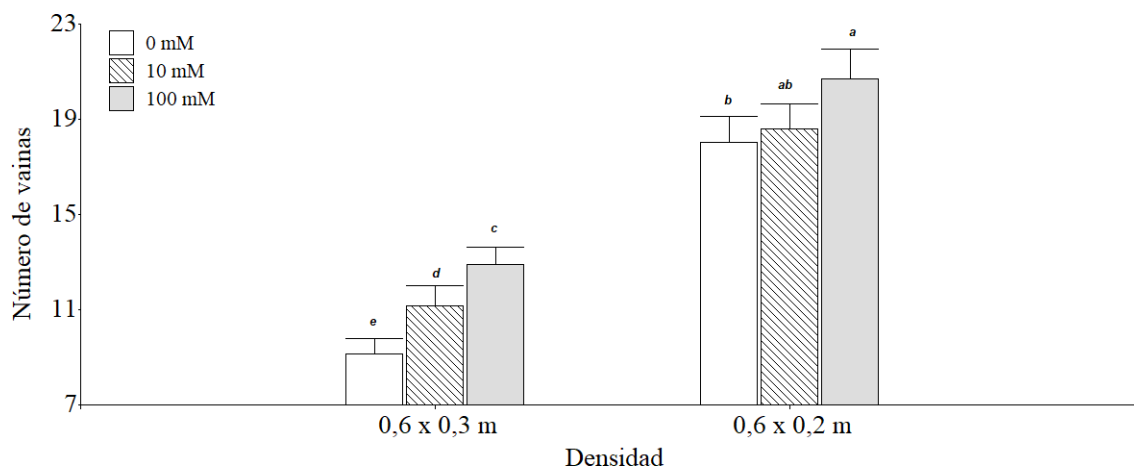
Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Sacarosa	Medias	E.E.		
D2	S3	20,70	1,03	A	
D2	S2	18,60	1,03	A	B
D2	S1	18,03	1,03		B
D1	S3	12,90	1,03		C
D1	S2	11,17	1,03		C D
D1	S1	9,13	1,03		D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Sacarosa	Variable	Media	E.E.
D1	S1	#VAINAS	9,13	0,66

D1	S2	#VAINAS	11,17	0,83
D1	S3	#VAINAS	12,90	0,71
D2	S1	#VAINAS	18,03	1,08
D2	S2	#VAINAS	18,60	1,06
D2	S3	#VAINAS	20,70	1,24



5. ALTURA DE LA PLANTA

Variable	n	CV
altura	540	21,90

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	532	11219,56	<0,0001
Densidad	1	532	0,05	0,8270
Sacarosa	2	532	1,07	0,3422
Densidad:Sacarosa	2	532	0,36	0,6953

altura - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.
D2	32,38	0,43
D1	32,25	0,43

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Variable	Media	E.E.
D1	altura	32,25	0,43
D2	altura	32,38	0,43

altura - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S1	32,78	0,53	A
S3	32,45	0,53	A
S2	31,71	0,53	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Sacarosa	Variable	Media	E.E.
S1	altura	32,78	0,53
S2	altura	31,71	0,52
S3	altura	32,45	0,54

6. RENDIMIENTO KG HA⁻¹

Variable	n	CV
renkgha	18	14,30

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value
(Intercept)	1	10	1526,73	<0,0001
Densidad		1	10	1,80 0,2089
Sacarosa	2	10	2,17	0,1650
Densidad:Sacarosa	2	10	0,11	0,8933

renkgha - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D1	622,43	17,41	A
D2	568,73	35,99	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Variable	Media	E.E.
D1	renkgha	622,43	18,74
D2	renkgha	568,73	34,36

7. PESO DE 100 SEMILLAS

renkgha - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S1	645,12	34,62	A
S2	575,36	34,62	A

S3 566,27 34,62 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Sacarosa	Variable	Media	E.E.
S1	renkgha	645,12	17,64
S2	renkgha	575,36	45,31
S3	renkgha	566,27	31,62

Variable	n	CV
peso	54	6,04

Pruebas de hipótesis secuenciales

	numDF	denDF	F-value	p-value	
(Intercept)	1	46	15377,89	<0,0001	
Densidad		1	46	23,68	<0,0001
Sacarosa	2	46	0,65	0,5243	
Densidad:Sacarosa	2	46	3,04	0,0575	

peso - Medias ajustadas y errores estándares para Densidad

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Densidad	Medias	E.E.	
D2	53,44	0,54	A
D1	50,07	0,54	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Densidad	Variable	Media	E.E.
D1	peso	50,07	0,57
D2	peso	53,44	0,43

peso - Medias ajustadas y errores estándares para Sacarosa

LSD Fisher (Alfa=0,05)

Procedimiento de corrección de p-valores: No

Sacarosa	Medias	E.E.	
S2	52,17	0,64	A
S1	51,89	0,64	A
S3	51,22	0,64	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

