

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE AGROPECUARIA



**“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE MELAZA EN LA PRODUCCIÓN
DE CÍTRICOS (*Citrus limon* (L.) Osbeck) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA
PRADERA, CHALTURA”**

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria

AUTORA:

Taña Lizeth Colcha Farinango

DIRECTOR:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, Msc.

Ibarra, 2026

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN

CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE MELAZA EN LA PRODUCCIÓN DE CÍTRICOS (*Citrus limon* (L.) Osbeck) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA, CHALTURA”

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

INGENIERA AGROPECUARIA

APROBADO:

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, Msc.

DIRECTOR

FIRMA

Ing. Jefferson Vladimir Andrade Villareal, Msc.

ASESOR

FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

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:	1755917711		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Colcha Farinango Taña Lizeth		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	tlcolchaf@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	022138599	TELÉFONO MÓVIL:	0967839530

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE MELAZA EN LA PRODUCCIÓN DE CÍTRICOS (<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA, CHALTURA”
AUTORA:	Colcha Farinango Taña Lizeth
FECHA DE APROBACIÓN: DD/MM/AAAA	25/02/2026
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniera Agropecuaria
DIRECTOR:	Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, Msc.

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que 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 25 días del mes de Febrero de 2026

AUTORA:



Firmado electrónicamente por:
**TAÑA LIZETH COLCHA
FARINANGO**

Validar únicamente con FirmaEC

Taña Lizeth Colcha Farinango

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Taña Lizeth Colcha Farinango, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 25 días del mes de Febrero de 2026

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, Msc.

DIRECTOR DE TESIS

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 25 días del mes de Febrero del 2026

Taña Lizeth Colcha Farinango: “EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE MELAZA EN LA PRODUCCIÓN DE CÍTRICOS (*Citrus limon* (L.) Osbeck) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA, CHALTURA”

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 25 días del mes de Febrero del 2026 70 páginas.

DIRECTOR: Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, Msc.

El objetivo principal de la presente investigación fue: Evaluar la aplicación de melaza en la producción de cítricos (*Citrus limon* (L.) Osbeck) en la Granja Experimental la Pradera, Chaltura.

Entre los objetivos específicos se encuentran:

Comparar el rendimiento de los frutos obtenidos mediante la aplicación de melaza frente al manejo convencional, así como analizar la calidad de los frutos producidos con diferentes dosis de melaza aplicadas externamente.

.....

Ing. Miguel Alejandro Gómez Cabezas, Msc.

Director de Trabajo de Grado



Taña Lizeth Colcha Farinango

Autora

AGRADECIMIENTO

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a la Universidad Técnica del Norte por brindarme las oportunidades y recursos necesarios para la realización de esta tesis.

Mi sincero reconocimiento al Ingeniero Miguel Gómez Msc. director de tesis, por su constante apoyo, paciencia y valiosos consejos que fueron fundamentales para el desarrollo de este trabajo.

También agradezco a la Doctora Magaly Cañarejo, quien me guio en la materia de Tesis II, aportando conocimientos y orientación que enriquecieron mi aprendizaje y contribuyeron al éxito de esta investigación.

A todos ellos, mi gratitud y respeto.

DEDICATORIA

Con el corazón lleno de gratitud, dedico este logro a quienes han sido mi fuerza y mi inspiración. A mis amados padres, María y Patricio, por su amor infinito, por cada sacrificio silencioso y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo y la humildad.

A mis queridos hermanos Axel, Lizbeth, Luis, por su apoyo, su cariño y por estar siempre ahí, acompañándome en cada etapa de este camino.

A toda mi familia, que con su amor y palabras de aliento me dieron la motivación para seguir adelante.

Y con especial devoción, dedico este trabajo a Dios y a la Virgencita, por cuidar de mí, darme fuerzas cuando sentí caer y llenar de luz mi camino. Sin su guía, nada de esto habría sido posible.

Este logro es tanto mío como de ustedes. ¡Gracias de todo corazón!

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
RESUMEN	14
ABSTRACT.....	15
CAPÍTULO I	16
INTRODUCCIÓN	16
1.1 Antecedentes.....	16
1.2 Problema de investigación.....	18
1.3 Justificación	19
1.4 Objetivos.....	21
Objetivo general.....	21
Objetivos específicos	21
CAPÍTULO II	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Definición e importancia económica del cultivo de limón	22
2.2 Origen y distribución	23
2.3 Descripción taxonómica del cultivo de limón	23
2.4 Requerimientos agroclimáticos del limón	24
2.4.1 Temperatura	24
2.4.3 Luminosidad.....	26
2.4.4 Altitud	27

2.4.5	Suelos, humedad relativa, viento, pH.....	27
2.5	Manejo y mantenimiento del cultivo	28
2.6	La fotosíntesis y el rol de la sacarosa en las plantas.....	31
2.7	La sacarosa, una molécula de señalización en las plantas	32
2.8	Procesos y factores externos en la adquisición de energía para las plantas.....	32
2.9	Relación fuentes sumidero.....	33
2.10	Marco legal	35
CAPÍTULO III.....		36
MARCO METODOLÓGICO.....		36
3.1	Descripción del área de estudio	36
3.2	Materiales.....	37
3.3	Métodos	38
3.3.1	Enfoque metodológico	38
3.3.2	Factores en estudio.....	38
3.3.3	Tratamientos.....	38
3.3.4	Diseño experimental.....	39
3.3.5	Características del experimento	40
3.3.6	Análisis estadístico.....	40
3.3.7	Variables evaluadas	41
3.4	Manejo del experimento	43
3.4.1	Selección del sitio	43

3.4.2 Aplicación de las soluciones	44
3.4.3 Riego	45
CAPÍTULO IV	50
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1 Rendimiento total.....	46
4.2 Número de frutos total	48
4.3 Rendimiento por categoría.....	49
4.4 Rendimiento por cosecha.....	50
4.5 Número de frutos total por categoría	52
4.6 Diámetro polar de frutos	53
4.7 Diámetro ecuatorial de frutos.....	55
4.8 Peso del fruto	56
4.9 Grados Brix de frutos.....	57
CAPÍTULO V	63
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	59
5.1 Conclusiones.....	59
5.2 Recomendaciones	60
BIBLIOGRAFÍA	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Taxonomía del limón</i>	24
Tabla 2 <i>Características del lugar de estudio</i>	37
Tabla 3 <i>Materiales</i>	37
Tabla 4 <i>En la presente investigación se aplicó un Análisis de Varianza (ADEVA) utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA)</i>	40
Tabla 5 <i>Esquema de la ADEVA en el diseño completamente al azar sin considerar al factor tiempo</i>	41
Tabla 6 <i>Aplicación foliar de tratamientos durante el período experimental</i>	45
Tabla 7 <i>Análisis de varianza para la variable rendimiento total</i>	46
Tabla 8 <i>Medias y error estándar para la variable rendimiento total de limón por árbol bajo 10 aplicaciones de melaza en distintas concentraciones.</i>	46
Tabla 9 <i>Análisis de varianza para la variable número de frutos total.</i>	48
Tabla 10 <i>Medias y error estándar para la variable número de frutos producidos por árbol de limón bajo la aplicación de 10 tratamientos de melaza en diferentes concentraciones</i>	48
Tabla 11 <i>Análisis de varianza para la variable rendimiento por categoría</i>	49
Tabla 12 <i>Rendimiento de limón por árbol por categoría bajo 10 aplicaciones de melaza, en distintas concentraciones.</i>	49
Tabla 13 <i>Análisis de varianza para la variable rendimiento por cosecha</i>	50
Tabla 14 <i>Análisis de varianza para la variable número de frutos total por categoría</i>	52
Tabla 15 <i>Número de frutos de limón por árbol, clasificados por categoría, bajo diez aplicaciones de melaza a diferentes concentraciones</i>	52
Tabla 16 <i>Análisis de varianza del diámetro polar (mm) de los frutos de limón en árboles tratados con soluciones de melaza a diferentes concentraciones</i>	53

Tabla 17 <i>Diámetro polar (mm) de los frutos de limón por cosecha, bajo diez aplicaciones de melaza a diferentes concentraciones</i>	54
Tabla 18 <i>Análisis de varianza del diámetro ecuatorial (mm) de los frutos de limón en árboles tratados con soluciones de melaza a diferentes concentraciones</i>	55
Tabla 19 <i>Análisis de varianza del peso individual de frutos (g) de limón bajo diferentes concentraciones de melaza</i>	56
Tabla 20 <i>Peso individual de los frutos de limón (g) por cosecha, bajo diez aplicaciones de melaza a diferentes concentraciones</i>	56
Tabla 21 <i>Análisis de varianza de los grados Brix de limón bajo diferentes concentraciones de melaza</i>	57

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Localización geográfica de la zona de estudio en la evaluación del efecto de la melaza en limón.	36
Figura 2 Diseño completamente al azar	39
Figura 3 Rango de valores de Índice de color en cítricos.....	41
Figura 4 Registro y pesaje de los frutos cosechados.....	42
Figura 5 Medición del diámetro polar del fruto	42
Figura 6 Medición de los grados Brix con refractómetro manual	43
Figura 7 Actividades preliminares al desarrollo experimental; a) Delimitación y marcación del área de estudio dentro del lote, b) Colocación de señaletería de las unidades y c) Bomba de mochila para la aplicación foliar	44
Figura 8 Riego por gravedad	45

Figura 9 Variable rendimiento total de limón por árbol bajo 10 aplicaciones de melaza en distintas concentraciones.	47
Figura 10 Rendimiento de limón por árbol por cosecha bajo 10 aplicaciones de melaza, en distintas concentraciones.	51
Figura 11 Diámetro ecuatorial (mm) de los frutos de limón bajo diez aplicaciones de melaza a diferentes concentraciones.....	55
Figura 12 Grados Brix (°B) de frutos de limón bajo 10 aplicaciones de melaza, en distintas concentraciones.....	58

**“EVALUACIÓN DE LA APLICACIÓN DE MELAZA EN LA PRODUCCIÓN
DE CÍTRICOS (*Citrus limon* (L.) Osbeck) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA
PRADERA, CHALTURA”**

Taña Lizeth Colcha Farinango

Universidad Técnica del Norte

tlcolchaf@utn.edu.ec

RESUMEN

El limón (*Citrus limon* (L.) Osbeck) constituye un cultivo de gran relevancia para la seguridad alimentaria y la economía familiar en Ecuador. No obstante, pese a su importancia, los agricultores disponen de escasa información técnica sobre alternativas nutricionales que contribuyan a optimizar su productividad. En este contexto, la melaza, un subproducto rico en sacarosa, se plantea como una opción energética potencial para mejorar la producción cítrica, aunque su uso en este cultivo aún es poco explorado. Con el objetivo de evaluar su efecto, se aplicaron cuatro concentraciones foliares de melaza (0, 1, 10 y 100 mM) de forma quincenal, bajo un diseño experimental completamente aleatorizado con ocho repeticiones por tratamiento. El rendimiento total y el número de frutos no presentaron diferencias estadísticas entre tratamientos; sin embargo, el mayor rendimiento se obtuvo con 100 mM 9.05 kg/árbol y 75.13 frutos, seguido de 10 mM. La mayor contribución al rendimiento correspondió a los frutos de mayor tamaño, con 6.88 kg/árbol. El rendimiento por árbol aumentó a lo largo de las cosechas. En la tercera cosecha se registraron los valores más altos, con 6.34 kg/árbol en 100 mM y 6.00 kg/árbol en 10 mM. El diámetro polar fue mayor en la primera cosecha 78.01 mm. El diámetro ecuatorial mostró mayor variación en cosechas posteriores según tratamiento. El peso del fruto fue mayor en la primera cosecha 158.89g. Los grados Brix variaron entre cosechas y tratamientos, evidenciando un efecto positivo de la melaza sobre la calidad interna del fruto.

Palabras claves: limón, melaza, rendimiento, productividad.

"EVALUATION OF MOLASSES APPLICATION ON THE PRODUCTION OF
CITRUS (*Citrus limon* (L.) Osbeck) IN THE LA PRADERA EXPERIMENTAL FARM,
CHALTURA"

Taña Lizeth Colcha Farinango

Universidad Técnica del Norte

tlcolchaf@utn.edu.ec

ABSTRACT

Lemon (*Citrus limon* (L.) Osbeck) is a crop of great importance for food security and the family economy in Ecuador. However, despite its importance, farmers have limited technical information on nutritional alternatives that could help optimize its productivity. In this context, molasses, a byproduct rich in sucrose, is presented as a potential energy option to improve citrus production, although its use in this crop is still relatively unexplored. To evaluate its effect, four foliar concentrations of molasses (0, 1, 10, and 100 mM) were applied every two weeks, using a completely randomized experimental design with eight replicates per treatment. Total yield and the number of fruits did not show statistically significant differences between treatments; however, the highest yield was obtained with 100 mM (9.05 kg/tree and 75.13 fruits), followed by 10 mM. The largest fruit size contributed the most to yield, at 6.88 kg/tree. Yield per tree increased with each harvest. The highest values were recorded in the third harvest, with 6.34 kg/tree at 100 mM and 6.00 kg/tree at 10 mM. The polar diameter was greatest in the first harvest at 78.01 mm. The equatorial diameter showed greater variation in subsequent harvests depending on the treatment. Fruit weight was highest in the first harvest at 158.89g. Brix degrees varied between harvests and treatments, demonstrating a positive effect of molasses on the internal quality of the fruit.

Keywords: lemon, molasses, yield, productivity.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

El limón (*Citrus limon* (L.) Osbeck) es una fruta de gran relevancia, originaria del Sudeste Asiático, y actualmente se cultiva en casi todos los países del planeta. Varios países son responsables de la producción de limón, siendo India el principal productor en 2019, con 3482 toneladas métricas, seguida por México y China, que ocupan el segundo y tercer lugar, respectivamente (Statista, 2021). Dado que no solo tiene un impacto económico significativo, sino que también juega un papel crucial en la esfera social global, influyendo en diversas facetas de la vida humana. Esta fruta es una fuente esencial de vitamina C, lo que la convierte en un componente vital para fortalecer el sistema inmunológico. Además, su versatilidad en la cocina internacional la hace un elemento fundamental en diversas tradiciones culinarias, contribuyendo así a la seguridad alimentaria global (Agricultura, 2023).

En Ecuador se produce dos variedades principales, el limón sutil destinado al consumo interno, y el limón Tahití altamente valorado en el mercado internacional. Según datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (2019) la superficie total dedicada a estas dos variedades es de 4609 hectáreas, distribuidas en 3846 unidades de producción agropecuaria (UPAs). Las provincias con mayor producción de limón en el país son Pichincha, Manabí y Guayas.

La provincia de Imbabura se coloca en el cuarto lugar de productoras de limón a nivel nacional, contando con 429 (UPAs), 478 ha de superficie cultivadas, 3700 toneladas de producción y rendimiento con 7.73 t/ha (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2023). Este cultivo genera ingresos significativos para los productores y crea empleo en las comunidades rurales. La Asociación de Productores de Frutas de Imbabura (2021) menciona que más de 10000 familias dependen directamente del cultivo de limón en la provincia, consolidándolo como una fuente vital de ingresos.

La sacarosa ha sido considerada como la principal fuente de carbono en cultivos de tejidos y sigue siendo hasta la fecha, la preferida entre todas las alternativas posibles. Algunos trabajos reportan que la sacarosa es una buena fuente de carbono, es invariablemente el mejor carbohidrato, (Domínguez, 2000).

La sacarosa se la puede encontrar en la melaza, donde esta es rica en potasio, calcio, magnesio y muchos macro y micro minerales, que son esenciales para las plantas en su época de floración. Sanclemente (2012) comparte la importancia del uso de melaza como fertilizante en cultivos, ésta mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, es importante porque aporta materia orgánica que mejora el suelo y proporciona nutrientes que ayudan a la planta a crecer sana y fuerte.

En un estudio realizado por Nijabat et al. (2024), se investigó el efecto de la aplicación de melaza sobre el cultivo de zanahoria (*Daucus carota* (L.)). Las plántulas se regaron con tres tratamientos diferentes: agua corriente estándar (T0), aguas residuales diluidas con melaza (T1) y aguas residuales con melaza sin tratar (T2). El período de observación del estudio fue de entre 100 y 110 días. El riego con aguas residuales diluidas con melaza (T1) mostró un efecto significativo ($p < 0.001$) en las características que influyen en el rendimiento de la zanahoria, como la longitud, el diámetro y el peso de la raíz, con un incremento superior al 90% en comparación con el riego con agua corriente. El patrón de crecimiento en términos del número de hojas por planta fue el siguiente: las plantas regadas con T0 presentaron 10 hojas, las regadas con T1 alcanzaron 26 hojas, y las regadas con T2 tuvieron 9 hojas.

Por otro lado, Pyakurel et al. (2019), evaluaron el impacto de la melaza y los fertilizantes orgánicos sobre la fertilidad del suelo y el rendimiento de espinaca (*Spinacia oleracea* (L.)), utilizando un diseño de bloques completos aleatorizados con cinco tratamientos y cinco réplicas. Los tratamientos fueron los siguientes, melaza aplicada al suelo (T1), melaza aplicada de forma foliar (T2), combinación de melaza y fertilizantes orgánicos (T3), solo fertilizantes orgánicos (T4), control (T5). El pH del suelo más alto se registró en el tratamiento control (T5: 5.96), mientras que el pH más bajo se observó en el tratamiento con melaza aplicada al suelo (T1: 5.54), con una diferencia estadísticamente significativa al 1%. En cuanto al rendimiento kg/parcela, el mayor se alcanzó con la combinación de melaza y fertilizantes orgánicos (T3: 3.08), y el menor en el grupo control (T5: 1.22), también con una diferencia significativa al 1%.

Nugroho et al. (2023) realizaron un estudio utilizando un diseño de bloques aleatorizados con dos factores: tipo de labranza y concentración de melaza, con seis combinaciones de tratamientos y cuatro réplicas en el cultivo de maíz (*Zea mays* (L.)). Durante el experimento, se aplicaron 100-150 ml de melaza por maceta cada 7 a 8 días.

Los resultados mostraron que la actividad biológica del suelo y el crecimiento de las plantas dependieron de la concentración de melaza y el sistema de labranza. La aplicación de 0.2 g/L de melaza aumentó la actividad de la glucosidasa hasta un 56.57% en labranza de conservación (PT), siendo esta más sensible a la melaza que la labranza convencional (CT). La altura de las plantas y la biomasa seca fueron mayores en CT que en PT, pero la melaza, aunque mejoró la actividad enzimática del suelo, no proporcionó suficiente nutrición para un crecimiento óptimo de las plantas (Nugroho et al., 2023).

1.2 Problema de investigación

La evolución de la agricultura moderna ha suscitado un renovado interés por el uso de insumos naturales para agilizarlos y hacerlos más económicos y amigables con el medio ambiente. La producción citrícola, en especial del limón (*Citrus limon* (L.) Osbeck), presenta importantes complicaciones con el manejo de la fertilidad del suelo y al mismo tiempo, la nutrición vegetal.

Una es la melaza, subproducto de la industria azucarera, ha sido sugerida como un recurso para el enriquecimiento de los terrenos a través de azúcares, compuestos orgánicos fermentables, y oligoelementos que favorecen la microbiología del suelo (Geremew, 2024).

En una parte de la parroquia Chaltura del cantón Antonio Ante, La Pradera es uno de los centros prácticos de agricultura y ganadería con un enfoque científico y técnico. El cultivo de limones en esta área tiene un potencial importante debido al clima; sin embargo, los agricultores locales han indicado que hay problemas con el crecimiento vegetativo y la productividad de los árboles, lo cual está vinculado a la mala calidad del suelo y el uso inapropiado de químicos.

Como indica Akintunde (2023), la melaza es conocida por su capacidad para estimular la proliferación de microorganismos beneficiosos, descomponer materia orgánica y llevar a cabo la mineralización de nutrientes en formas que son esenciales para las plantas. Algunos estudios preliminares sugieren que la melaza aplicada a cultivos frutales mejora las propiedades estructurales del sistema, aumenta el contenido de materia orgánica y facilita una mayor absorción de nutrientes. No obstante, falta información científica organizada sobre el impacto de la melaza en las plantas cítricas, particularmente en limones bajo las condiciones locales de Chaltura.

La falta de recursos adecuados en áreas rurales hace necesario diseñar e implementar tecnologías simples que mejoren las prácticas de fertilidad del suelo sostenibles. En este sentido, evaluar la efectividad de la melaza como adición o sustituto de fertilizantes convencionales

puede contribuir significativamente hacia el desarrollo agroecológico sostenible. La Granja La Pradera ofrece una oportunidad ideal para llevar a cabo investigaciones prácticas debido a su naturaleza experimental y su preocupación por alternativas agronómicas de bajo impacto.

Como resultado, la falta de datos experimentales sobre dosis exactas de melaza, tiempos óptimos de aplicación y sus efectos en el crecimiento, la floración, la producción y la calidad de los frutos, niega a los agricultores la capacidad de tomar decisiones informadas. Asimismo, la falta de información válida obstruye la integración fluida de tecnologías limpias en los sistemas agrícolas de monocultivo. Evaluar los efectos específicos de la melaza en la producción de frutas cítricas podría ayudar a integrar información técnica para el desarrollo de planes de manejo más efectivos y sostenibles (Salas, 2023).

El limón se clasifica correctamente como un cultivo estratégico y un alimento dentro del contexto de la fruticultura ecuatoriana debido a sus elementos nutricionales, aplicaciones industriales.

Comprender el problema de cómo aumentar la productividad teniendo en cuenta la sostenibilidad' requirió adoptar diferentes opciones que satisfagan tanto las necesidades del agricultor como que sean ecológicas. El uso de melaza agrícola responde a la necesidad de lograr un equilibrio en los sistemas de producción que deben ser mucho más duraderos, especialmente debido a la acelerada erosión y degradación del suelo en la región de los Andes.

1.3 Justificación

La búsqueda de métodos dentro del orden agrícola que promuevan la sostenibilidad ha motivado el estudio de insumos orgánicos que mejoren la fertilidad del suelo y el rendimiento de los cultivos sin una intensiva industrialización. Esto agota recursos químicos. Gracias a su riqueza en azúcares, minerales, y compuestos bioactivos, la melaza tiene el potencial para fomentar el cultivo de fruta cítrica como el limón. Su uso podría beneficiar a pequeños agricultores de escasos recursos (Geremew, 2024).

En las zonas rurales existe la necesidad de implementar técnicas de cultivo que sean más respetuosas con el medio ambiente, sostenibles y regenerativas debido al uso desmedido de fertilizantes sintéticos que han impedido restablecer la fertilidad natural del suelo. La melaza, al menos en pequeñas proporciones, puede recuperar la actividad microbiológica del suelo y, por ende, la recuperación de varios nutrientes. Determinar sus efectos sobre los cultivos de limón ayudaría a establecer su verdadero impacto en parámetros de producción y fisiológicos,

vitales para culminar el ciclo productivo, creando una base firme sobre la cual se puede sustentar la aplicación sistemática.

El cultivo de limón es una creciente fuente de economía familiar en la parroquia de Chaltura. Los agricultores, a pesar de tener una base, son azotados por la alta competitividad y los altos precios de insumos. Sin embargo, este tipo de melaza como insumo de bajo costo al que se le menciona podría mejorar a gran escala la productividad sin desmejorar la calidad del agro ecosistema (Otero, 2024).

En este contexto, la Granja Experimental La Pradera es un lugar apropiado para el desarrollo de actividades científicas en el contexto local. Tener condiciones controladas con infraestructura especializada y personal calificado, agrupa a parcelas experimentales y aumenta el grado de ejecución de proyectos agrícolas. Estudiar el uso de melaza en la siembra de limón con esas asistencias financiará colaboración práctica y científica.

La melaza ha mostrado impactos positivos como insumo en agricultura en el maíz, banano y la caña de azúcar. No obstante, los efectos que podría tener sobre estos cítricos en un determinado sistema agroclimático aún son ampliamente escasos. El crédito de dicha cobertura ayuda a formular políticas que representen la economía agrícola de la barra y les permitan a otros compararse. Hemos discutido, así que, resultados distintos (Amin, 2024).

Implementar estas estrategias y políticas protege el medio ambiente mientras también mejora la seguridad alimentaria futura. El uso responsable de productos agroindustriales como la melaza podría frenar el uso de agroquímicos, reducir desechos contaminantes y sostener la productividad en los campos. Si se demuestran impactos positivos limpios, hay una alta probabilidad de que más productores limpios se unan a esta causa.

Tener acceso a estos insumos también puede ayudar a cumplir con estos criterios mientras simultáneamente mejora la estima de los agricultores desde un punto de vista ecológico. El acceso de los agricultores a estos insumos proporcionará al mercado productos de calidad. Evaluar la melaza como un implemento agrícola ayuda a cumplir con estas obligaciones fomentando un cambio de paradigma en el sector (García, 2023).

Los procesos para transferir y adaptar tecnología están dentro del marco de la existencia de datos confiables que respalden la información presentada. Evaluar el desarrollo altitudinal de la planta, el diámetro del tallo, la floración y la fructificación, junto con su rendimiento tras la aplicación de melaza, contribuye a una toma de decisiones informada. La prueba científica de

prácticas novedosas o tradicionales es esencial para asimilarlas en la agricultura como parte de la consolidación de la gestión técnica.

Construir tales marcos en los que el razonamiento científico se cruza con la sabiduría local fortalece las habilidades de las comunidades rurales. Trabajar en problemas muy precisos contribuye directamente a empoderar a los agricultores y mejorar sus actividades productivas. Dentro de este contexto previo, la investigación centrada en la aplicación de melaza en cultivos de limón tiene como objetivo la mejora de la agricultura a través de soluciones simples y contextualmente relevantes.

1.4 Objetivos

Objetivo general

Evaluar la aplicación de melaza en la producción de cítricos (*Citrus limon* (L.) Osbeck) en la Granja Experimental la Pradera, Chaltura.

Objetivos específicos

- Comparar el rendimiento de frutos obtenidos con la aplicación de melaza frente al manejo convencional.
- Analizar la calidad de los frutos producidos con diferentes dosis de melaza aplicada externamente.

1.5 Hipótesis

Hipótesis nula

No existen diferencias significativas en el rendimiento ni en la calidad de los frutos de cítricos entre las plantas tratadas con melaza y aquellas bajo manejo convencional, independientemente de las dosis de melaza aplicadas externamente.

Hipótesis alternativa

Existen diferencias significativas en el rendimiento y en la calidad de los frutos de cítricos entre las plantas tratadas con melaza y aquellas bajo manejo convencional, en función de las diferentes dosis de melaza aplicadas externamente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Definición e importancia económica del cultivo de limón

El cultivo de limón se define como una actividad agrícola relacionada con el cultivo de frutas de limón, que pertenecen a la familia de los cítricos, ya que son ricas en vitamina C, con amplios usos industriales. Esta actividad requiere un manejo adecuado del suelo y del cultivo, control de plagas y condiciones climáticas óptimas. La producción de limón es una actividad importante en algunas regiones agrícolas, ya que ayuda en el desarrollo rural y la seguridad alimentaria local (Bueno, 2023).

Con un mercado global en crecimiento, los limones se vuelven estratégicamente importantes para la economía agrícola. La demanda continuada de las industrias de alimentos, cosméticos y farmacéuticos impulsa las exportaciones y devuelve ingresos significativos a los productores. El comercio de limones tanto frescos como procesados impulsa la economía del país al aumentar el empleo y las inversiones en agricultura y tecnología, lo que fortalece la competitividad del sector.

Durante los últimos años, el cultivo considerable de limón ha ofrecido a muchos países la oportunidad de diversificar su economía. Con la adopción de técnicas agrícolas adecuadas y acceso a certificación, el producto puede posicionarse en mercados de alta demanda. También hay un desarrollo rural sostenido en áreas donde se cultiva la cosecha debido a la integración de agricultores de pequeña y mediana escala en cadenas de valor más rentables y sostenibles (Vallejo, 2023).

Bajo tal contexto, previo se puede inferir que el cultivo de limón tiene un gran potencial para fortalecer las economías regionales. Emplear a personas directamente, desde la producción hasta la exportación, y beneficiando indirectamente a comunidades enteras. Económicamente, es importante por su papel en el comercio internacional, ya que ayuda a integrar a los productores locales en sistemas de comercio global que fomentan un desarrollo inclusivo y sostenible.

2.2 Origen y distribución

Los primeros limones son originarios del sudeste asiático, donde se encontraron evidencias de su domesticación. Con coches, barcos o comerciales, poco a poco los limones se fueron esparciendo por diferentes continentes, tales como Europa y América.

En el último continente comenzó a usarse en la agricultura y la medicina como un activador gracias a sus increíbles beneficios curativos (Kashyap, 2023).

Los europeos fueron quienes se esparcieron de manera más rápida en el siglo XV en América, sobre todo en el sur de Brasil y México. Hoy en día, son unas de las naciones más productivas en limones. La gran mayoría de estas especies se podían adaptar a diferentes tipos de climas. Eso, junto al incremento de la demanda internacional de cítricos, ayudó al cultivo por su gran resistencia.

En las últimas décadas, gran parte de los países de clima subtropical y tropical han incorporado el cultivo de limón como parte fundamental de sus actividades agrícolas. Además, el avance en tecnologías de producción, junto con las condiciones edafoclimáticas, ha favorecido su expansión en continentes como África y Oceanía. La globalización del comercio agrícola ha establecido redes de exportación que conectan a los agricultores con los mercados más competitivos del mundo (Akintunde, 2023).

La extensiva y completa cobertura geográfica para el abastecimiento de limón garantiza un suministro continuo durante todo el año, lo cual contribuye a la estabilidad del mercado. Esto se suma a la diversidad genética disponible en las distintas regiones, que da lugar a variedades cultivadas adaptadas a condiciones específicas. De esta manera, resulta más sencillo mantener una producción constante y enfrentar los desafíos que la variabilidad climática o las enfermedades que atacan a los cítricos, fortaleciendo la cadena de valor agrícola en múltiples territorios.

2.3 Descripción taxonómica del cultivo de limón

El estudio de la taxonomía del limón permite entender su clasificación en el reino vegetal y sus relaciones con otros cítricos. Conocer su posición sistemática dentro de la jerarquía biológica se presta para análisis científicos y agronómicos, que son esenciales para estudios genéticos y en el manejo de operaciones agrícolas e incluso en el control de plagas. Tal información

también es útil para mejorar programas destinados a fortalecer la calidad de la fruta y su resistencia estructural en diversas regiones productoras.

Taxonomía

Clasificación taxonómica del limón se detalla a continuación

Tabla 1

Taxonomía del limón

Taxonomía del limón	
Reino:	Plantae
Filo:	Tracheophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Sapindales
Familia:	Rutaceae
Género:	Citrus
Especie:	<i>Citrus limon</i> (L.) Osbeck

Fuente: Global Biodiversity Information Facility (GBIF, 2022).

Según la información proporcionada por el GBIF (2022), sobre Biodiversidad, el limón está clasificado bajo el género Citrus y la especie *Citrus limon* (L.) Osbeck, que se incluye en la familia Rutaceae. Esta clasificación muestra algunas características botánicas comunes con otras frutas cítricas, lo que permite una planificación de producción integrada. La taxonomía ofrece oportunidades fundamentales para el desarrollo de tecnologías con investigación aplicada sobre cultivos, conservación y comercialización internacional del limón.

2.4 Requerimientos agroclimáticos del limón

2.4.1 Temperatura

La temperatura es uno de los factores más importantes de la fisiología del cultivo de limón. Durante el crecimiento vegetativo y fructificación el árbol requiere temperaturas mínimas, y durante la etapa de la floración membranar, hay que alcanzar niveles superiores. La temperatura media de 23 hasta 30 grados Celsius es ideal para la fotosíntesis, crecimiento celular así también para producción de frutos en tamaño, color y sabor comercialmente atractivo (Yzquierdo, 2021).

Climas constantes son favorables para mantener crecimiento continuo en su cultivo durante todo el año. En regiones de temperatura estable, limones se producen en periodos escalonados para mantener producción ininterrumpida. Sin embargo, si hay descenso térmico bajo 10

Celsius el estema puede paralizar crecimiento e limitar en la producción de flores y frutos en forma sostenida.

Las heladas representan una amenaza crítica porque causan daños irreversibles a las hojas, ramas jóvenes y estructuras florales. La exposición prolongada a bajas temperaturas resulta en necrosis y pérdida de productividad. Es por eso que las áreas agrícolas más adecuadas suelen encontrarse en regiones libres de heladas o que tienen protección natural contra fluctuaciones extremas (Cabot, 2023).

Consecuentemente, las prácticas agrícolas incluyen el uso de cubiertas protectoras que mitigan los efectos climáticos en el cultivo. El uso de cultivos cubiertos, cortavientos, o sistemas de riego por aspersión ayuda a reducir el impacto de cambios de temperatura severos. Un plan eficiente que utilice datos agroclimáticos puede mantener la temperatura ambiental dentro de límites favorables, asegurando una producción de alta calidad estable a lo largo de cada ciclo agrícola.

2.4.2 Precipitación

La precipitación influye directamente en el cultivo de limón ya que proporciona el agua necesaria para que los procesos fisiológicos tengan lugar. Las lluvias equilibradas facilitan la absorción de nutrientes, el turgor celular y el crecimiento foliar. Con precipitaciones regulares, el cultivo puede mantener un crecimiento constante, lo que ayuda en la floración y producción de frutos apreciados comercialmente (Farfán, 2023).

Un régimen de precipitación anual entre 1000 y 1500 milímetros es ideal para el cultivo de este cultivo. La lluvia moderada fomenta la humedad del suelo sin alcanzar la saturación. Una buena precipitación emparejada con suelos bien drenados permite que las raíces funcionen de manera efectiva mientras se evita la asfixia radicular y las enfermedades fúngicas.

Las lluvias excesivas plantean importantes desafíos para el cultivo de limón, incluyendo hematomas profundos en la piel de los frutos o caída prematura de flores. La alta humedad influye en la prevalencia de patógenos que comprometen la salud del cultivo. Por lo tanto, la gestión del agua a través de sistemas de drenaje y de prácticas agronómicas adecuadas se vuelve crucial para evitar pérdidas económicas mientras se mantiene un rendimiento sostenible (Pincay, 2021).

De igual manera, la estacionalidad de las lluvias es un factor primordial en la selección de áreas de siembra para las zonas de cultivo. En áreas caracterizadas por estaciones secas prolongadas, se instalan sistemas de riego suplementario para satisfacer las demandas de agua del cultivo.

Los sistemas automatizados controlados por monitoreo de lluvias pueden ser programados para mantener un nivel estable de humedad no saturada para el suelo, cumpliendo así con la demanda de agua fisiológica en todo momento durante el ciclo de crecimiento.

2.4.3 Luminosidad

El brillo es de gran importancia con respecto al desarrollo fisiológico del cultivo de limón. La incidencia solar directa facilita la fotosíntesis, lo que permite una producción óptima de carbohidratos necesarios para el crecimiento de hojas, flores y frutos. La exposición adecuada a la luz fomenta la producción de yemas productivas, lo que aumenta la eficiencia del ciclo vegetativo. La falta de luz disminuye el rendimiento y debilita la estructura general de la planta (Caro, 2023).

Un buen ambiente con altos niveles de radiación solar ayuda a aumentar los azúcares en los frutos, mejorando su sabor y valor comercial. En áreas con sombra prolongada, los limoneros tienden a tener frutos más pequeños, menos jugosos y con cortezas más gruesas. La intensidad de la luz sirve como un factor regulador natural para el metabolismo de la planta y tiene un efecto directo en la productividad de la planta. Por lo tanto, el sitio y la orientación del cultivo deben ser determinados con criterios técnicos.

La suficiente luminosidad en el cultivo inicial del limonero y durante su cultivo radicular y de follaje permite un desarrollo vigoroso. En este periodo es clave que el limonero logre una estructura óptima para futuras cargas de fruto. Durante los periodos de floración y fructificación, la polinización y el cuajado dependen de la cantidad de luz recibida y de su regulación durante esos periodos. Un exceso de sombra puede llegar a ser perjudicial en estas etapas, limitando la producción del cultivo (Efendi, 2021).

El cultivo del limón se favorece en regiones tropicales y subtropicales debido a la alta irradiación. Se debe controlar la densidad de siembra y realizar una adecuada poda para controlar el sombreado producido entre las plantas. Un correcto diseño del sistema productivo maximiza la captación de luz durante todo el dosel. La fotosíntesis se logra de mejor manera en cada parte del árbol cuando es iluminado de manera adecuada.

2.4.4 Altitud

La altitud influye directamente en las condiciones térmicas que rodean el cultivo del limón. La temperatura, que afecta la velocidad y el tiempo de producción de los frutos, también varía con la altura.

En el caso de altitudes intermedias, el árbol presenta un desarrollo equilibrado siempre que la temperatura se mantenga dentro de un rango favorable. Zonas muy elevadas limitan la floración por la presencia de climas fríos (Ainarkar, 2023).

En regiones con menor altitud, el limón goza de temperaturas más cálidas que permiten una floración durante todo el año. Aun así, el exceso de calor puede causar estrés a la planta, comprometiendo la calidad del fruto. Por esta razón, se sugiere sembrar en terrenos donde la altitud no genere condiciones térmicas extremas. Lograr temperaturas medias anuales estables resulta crítico para optimizar el rendimiento del cultivo.

El nivel de un cultivo en la tierra puede modificar todo el riesgo que un productor pueda sufrir por factores climáticos adversos, como plagas y temperaturas. Ciertas zonas geográficas son propensas a determinadas plagas y plantas enfermas; una adecuada selección de variedades y la altitud pueden tener beneficios. Al definir la localización, la región se verá beneficiada o hostigada por temperaturas cálidas (Yagual, 2023).

Las acciones agronómicas a realizar para una mejor productividad de limón están influenciadas tanto por la altitud como por las limoneras existentes. La altitud cordial puede influir en el resultado final, obteniendo una mayor producción y aumentando la calidad. Una buena selección mejora el rendimiento, al igual que una planificación adecuada también al utilizar la certeza de contar con un ambiente propicio para el desarrollo de los árboles.

2.4.5 Suelos, humedad relativa, viento, pH

Los suelos más adecuados para el cultivo de limón deben tener buena textura y drenaje, apoyando un desarrollo radicular profundo y saludable. Cualquier acumulación excesiva de agua reduce la cantidad de oxígeno disponible, lo que puede favorecer enfermedades. Una estructura suelta facilita el intercambio gaseoso y la retención de nutrientes importantes. La presencia de materia orgánica aumenta la capacidad del suelo para mantener un crecimiento continuo y mejora la eficiencia de absorción de elementos minerales (Jeet, 2024).

Dentro de tal contexto, la humedad relativa moderada ayuda a mantener el equilibrio fisiológico de la planta. Valores extremadamente altos fomentan el crecimiento de hongos, mientras que una atmósfera más seca de lo normal puede llevar a un estrés hídrico.

Las condiciones óptimas también apoyan una floración sostenida y un cuajado efectivo. Se pueden realizar ajustes en la humedad relativa utilizando riego controlado y cobertura vegetal que estabilizan el ecosistema circundante y minimizan los riesgos de exceso o déficit de humedad en el aire.

La exposición a ráfagas constantes de viento puede aumentar el riesgo de daño físico a la estructura del árbol retrasando la caída de frutos y deshidratando tejidos jóvenes. Para el cultivo se presentan soluciones como las barreras vivas y cortinas rompe vientos que protegen de los vientos. De esta forma, un entorno bien resguardado permite que el limonero conserve sus recursos y mantenga un crecimiento vigoroso y estable (Campozano, 2023).

Consecuentemente, la extractibilidad de los nutrientes en el suelo, así como su pH resulta muy importante en el cultivo del limón. Un valor moderadamente ácido potencia la captura de hierro, zinc y otros micronutrientes esenciales del cultivo. Límites de pH en extrema neutralidad o acidez dificultan el desarrollo, generando deficiencias nutricionales. Enmiendas agronómicas a nivel de corrección de pH aseguran la condición óptima del metabolismo, potenciando la calidad y cantidad de la cosecha.

2.5 Manejo y mantenimiento del cultivo

Riego

El riego es esencial para la producción eficiente de cultivos de limón, particularmente en áreas con patrones de lluvia erráticos. El riego adecuado de los árboles fomenta un crecimiento uniforme y mejora la calidad de la fruta. La asimilación de nutrientes en las fases más críticas del crecimiento vegetativo se ve potenciada por sistemas como el riego por goteo, que permiten una entrega precisa de agua con un mínimo desperdicio (Akintunde, 2023).

Evitar tanto el déficit como el exceso de agua es posible cuando la programación de riego se alinea con las etapas de crecimiento del cultivo. La aplicación eficiente se logra mediante el monitoreo constante de la humedad del suelo, condiciones climáticas y evapotranspiración. Un suministro adecuado de agua durante la floración y la cuaja es crítico para maximizar el rendimiento. Una estrategia de riego adecuada sostiene una buena productividad agrícola mientras asegura el desarrollo sostenible del sistema de cultivo.

2.5.1 Fertilización

La fertilización puede ser considerada como uno de los aspectos más importantes para los altos niveles de producción en el cultivo de limón. La nutrición en forma de nitrógeno, fósforo y potasio complementa el desarrollo vegetativo, floración y cúmulo del fruto.

Contar con un programa bien planificado permite suplir las demandas nutricionales del cultivo en función a la fenología, lo que garantiza mayor eficiencia en la absorción de elementos necesarios para el crecimiento arbóreo (Mena, 2021).

Realizar correctamente el muestreo de suelos y hojas permite ajustar dosis de fertilizantes en función a las reales necesidades del cultivo. La agroquímica controlada incrementa la calidad del fruto y prolonga la vida útil del árbol. Prácticas como la fertilización fraccional y la adición de materia orgánica mejoran la textura del suelo y permiten construir sistemas más equilibrados y sostenibles en el tiempo.

Manejo cultural

Dentro del manejo cultural del cultivo de limón, la poda representa una práctica fundamental para garantizar el buen desarrollo de la planta, mejorar su productividad y facilitar las labores agrícolas. A continuación, se describen los principales tipos de poda aplicados en este cultivo:

2.5.1.1 Poda de formación

La poda de formación ayuda a definir la estructura del limonero durante sus primeros años de crecimiento. Su práctica proporciona una mejor distribución de ramas, mejora la interceptación de luz y ayuda a la ventilación de las hojas. Una estructura bien definida favorece la resistencia del árbol ante vientos fuertes y disminuye la susceptibilidad a muchas enfermedades. La acción temprana es crítica si se busca dar forma a un dosel productivo y manejable (Rojas, 2022).

Una poda correcta aumenta la efectividad de otras actividades agrícolas como la fertilización, control de plagas y cosecha. La eliminación de ramas mal dirigidas o débiles dirige las energías hacia las partes vigorosas del árbol, aumentando así la producción de flores y frutos. Un buen diseño estructural asegurará que el árbol pueda ser alcanzado fácilmente desde todas las partes y mantendrá un equilibrio entre el crecimiento vegetativo y las actividades de producción de frutos.

2.5.1.2 Poda de desarrollo

La poda de desarrollo elimina brazos desordenados para permitir el flujo de savia, así como la formación de la corona con el fin de optimizar completamente el transporte de savia y la formación de la corona.

Una poda adecuada durante esta etapa resultará en una mejor admisión de luz, ventilación interna, rendimiento uniforme y productos de alta calidad de manera sostenible. La poda de desarrollo ayuda a equilibrar la actividad de crecimiento y el nivel de rendimiento esperado. Cabe destacar que la eliminación de ramas no productivas y el fomento de las productivas permiten al árbol fortalecer su estructura de soporte, ayudando a evitar roturas debido al peso excesivo de los frutos (Hui, 2023).

La poda de desarrollo se centra en optimizar el transporte de savia y la formación de la corona durante la fase activa de crecimiento. Si se realiza correctamente, también ayuda en la admisión de luz y ventilación interna, lo que lleva a un rendimiento uniforme y de alta calidad. Hacer esto también aborda problemas estructurales con anticipación y ayuda a reducir problemas asociados con la estructura durante las operaciones en campo al permitir una manipulación optimizada.

2.5.1.3 Poda de fructificación

El propósito de la poda en el cultivo de limones es fomentar la producción de flores y frutos en ramas bien posicionadas. Al eliminar ramas envejecidas, muertas o no productivas, la energía del árbol se dirige a las partes "activas" del árbol, mejorando así la productividad. Una poda adecuada permite el mantenimiento de un dosel aireado, la penetración de luz y reduce la incidencia de muchas enfermedades que afectan directamente la calidad de la cosecha (Sedat, 2023).

Un manejo constante durante la fase de sostenimiento, perteneciente a la fructificación que mantiene de cerca los niveles de producción y aumenta la consistencia en la forma y tamaño de los frutos individuales. Controlar el número de ramas productivas aumenta la longevidad del árbol al prevenir la sobreexplotación. Esta técnica agrícola requiere comprensión del comportamiento fenológico de los limoneros para intervenir en el momento correcto con el fin de equilibrar el desarrollo vegetativo y la capacidad productiva del cultivo.

2.5.1.4 Poda de limpieza

En los cultivos de limón, la poda de limpieza se enfoca en la sanidad del árbol mediante la eliminación de ramas no productivas. Para evitar su propagación, es necesario eliminar sistemáticamente ramas secas, dañadas o afectadas por plagas. Esta práctica mejora el incremento de aire y luz y disminuye el riesgo de enfermedades que comprometan el rendimiento y la calidad de los frutos (Hernández, 2025).

Con la poda constante de limpieza, un árbol bien mantenido demuestra mayor vigor y mejor respuesta fisiológica a condiciones adversas. La muerte de brotes carentes de flores, así como el desprendimiento de partes sombreadas, permite que los recursos se concentren en ramas activas. Esta actividad aumenta el acceso para otras labores agrícolas, tales como la fertilización y cosecha, lo que mejora el manejo del cultivo y garantiza resultados más positivos en cada ciclo productivo.

2.5.1.5 Poda de renovación

La poda o renovación en el cultivo de limón tiene como objetivo rejuvenecer árboles envejecidos o aquellos con baja productividad. Las renovaciones rejuvenecen los árboles de limón envejecidos o de bajo rendimiento al eliminar ramas gruesas o escarificadas. Promueve el desarrollo de nuevos brotes que son más vigorosos por naturaleza. Esta práctica requiere planificación porque es una decisión radical y la recuperación es progresiva en los ciclos de producción (Sornoza, 2023).

Una poda de renovación bien hecha permite extender la vida útil del cultivo y restaurar su potencial productivo. El objetivo es reestructurar la copa regenerando tejido a través de tejido joven esculpido capaz de soportar una nueva carga de fructificación. El monitoreo posterior ayuda en gran medida a guiar hacia lo deformado y ayuda a eliminar deformidades que guían a la planta a perder el equilibrio entre el vigor y el rendimiento en la temporada de bajos ingresos en las próximas temporadas agrícolas.

2.6 La fotosíntesis y el rol de la sacarosa en las plantas

Las plantas asimilan la energía solar para fabricar productos orgánicos mediante la fotosíntesis, la cual constituye un proceso clave en su biología. La clorofila permite que la luz se transmute en energía química, la cual se puede utilizar para formar glucosa a partir de dióxido de carbono y agua. Este proceso no solo apoya el crecimiento de los vegetales, sino que produce el oxígeno necesario para la vida de otros (Akintunde, 2023).

De la glucosa obtenida en el proceso, parte se convierte en sacarosa que tiene un rol importante como fuente de energía. Transportada por el floema, la sacarosa se dirige desde las hojas hacia las raíces, frutos y otros órganos donde se requiere energía para el crecimiento. Va más allá de almacenar porque regula activamente la circulación de metabolitos dentro del sistema vegetal (Niaz, 2022).

El metabolismo de la sacarosa permite una sucesión adaptativa a través de factores ambientales. La planta regula la síntesis y el transporte de este azúcar en función de la luz, la temperatura y los requerimientos energéticos de cada tejido.

La importancia fisiológica de la sacarosa proviene de su adaptabilidad como soluto y su capacidad para ser transportada, convirtiéndose así en una molécula crucial para la homeostasis, el crecimiento y la respuesta de recuperación al estrés.

2.7 La sacarosa, una molécula de señalización en las plantas

Como molécula de señalización, la sacarosa tiene influencia en múltiples procesos de desarrollo de las plantas. No solo proporciona energía, sino que también regula la expresión de genes relacionados con las raíces, la floración y la maduración de los frutos.

Tiene un papel fisiológico en la señalización de diferentes partes de la planta sobre la condición de toda la planta y permite la coordinación esencial requerida para un crecimiento armonioso (Ratnadass, 2021).

La sacarosa también puede ser influenciada por factores externos como sequías o exceso de luz. Puede activar vías metabólicas y limitar la acción hormonal, lo que la hace crucial en la toma de decisiones a nivel celular. Esto permite a la planta cambiar su metabolismo, asignar recursos a órganos esenciales y responder eficientemente a un entorno cambiante.

2.8 Procesos y factores externos en la adquisición de energía para las plantas

Las plantas adquieren energía principalmente a través del proceso de fotosíntesis, que convierte la luz solar en compuestos orgánicos útiles. La eficiencia de los procesos de transformación depende considerablemente de la disponibilidad de agua, dióxido de carbono y luz. Durante el día, las células vegetales capturan fotones que desencadenan rutinas bioquímicas, permitiendo la síntesis de azúcares que son importantes para su desarrollo estructural y funcional (Sharma, 2022).

Algunos factores externos, como la intensidad de la luz, la temperatura y la calidad del suelo, tienen un efecto inmediato en el potencial energético de la planta. Los cambios en el entorno

pueden aumentar o disminuir la tasa de fotosíntesis y, por lo tanto, impactar la productividad general. La capacidad para hacer frente a tales cambios negativos requiere mecanismos de control fisiológico, como la apertura estomática, la síntesis de pigmentos y la redistribución de recursos necesaria para un uso eficiente de los recursos mínimos para sostener los procesos vitales y el crecimiento.

2.9 Relación fuentes sumidero

En las plantas, la relación fuente-sumidero se refiere al movimiento de fotoasimilados desde los productores a los consumidores dentro de la planta.

Las hojas en crecimiento funcionan como fuentes al sintetizar sacarosa durante la fotosíntesis. Esta energía química se transporta a los sumideros, donde se utiliza en crecimiento, almacenamiento o reproducción. El equilibrio entre ambos facilita tanto la eficiencia de transporte de nutrientes internos como la productividad óptima (Wang, 2022).

A través del floema, la sacarosa se transporta de fuentes a sumideros a lo largo de un gradiente de presión. Las raíces en crecimiento activo, los frutos en desarrollo y los brotes jóvenes requieren un suministro constante de carbohidratos.

La interconexión dinámica de estos órganos permite una redistribución eficiente alineada con las demandas fisiológicas de la planta en diferentes etapas de la vida.

La radiación fotosintéticamente activa (PAR), la intensidad de la luz, la disponibilidad de agua o minerales pueden modificar la relación fuente-sumidero. La reducción de la exposición solar limita la capacidad fotosintética, restringiendo el suministro de azúcares a los sumideros. De manera similar, el estrés por déficit hídrico puede interrumpir el flujo interno, priorizando la asignación de recursos a órganos vitales para sostener la vida vegetativa (Ratnadass, 2021).

El desarrollo agrícola busca mejorar la productividad considerando esta relación. La poda, el deshoje e incluso la fertilización buscan fortalecer los sumideros sin debilitar las fuentes. La gestión adecuada de un cultivo mejora la partición de foto asimilados hacia regiones específicas, como los frutos comerciales, mejorando tanto la calidad como la cantidad. Comprender este sistema ayuda a tomar decisiones técnicas importantes en la producción de cultivos.

El transporte de carbohidratos en la relación fuente-sumidero

El transporte de carbohidratos en la relación fuente-sumidero depende del floema, un tejido especializado responsable de mover la sacarosa desde las hojas a otras partes de la planta, que es un flujo activo. Las células fuente ejercen una presión osmótica que genera un flujo hacia

los órganos sumidero. Los compuestos ricos en energía pueden entonces alcanzar y nutrir las raíces, los frutos y otras regiones en desarrollo para el crecimiento estructural y metabólico (McIntyre, 2021).

Cada órgano receptor tiene una demanda específica y variable según su función y etapa de desarrollo. Durante la fructificación, los frutos sirven como sumideros primarios, cargándose con hasta el 30% de carbohidratos para la maduración. La planta controla el suministro de carbohidratos mediante señales moleculares que regulan la eficiencia del transporte.

Esta oscilación mantiene un equilibrio energético apropiado y apoya la resiliencia frente a cambios ambientales y fisiológicos.

Ciclo de la relación fuente-sumidero

Las relaciones sumidero-fuente siguen un patrón cíclico dinámico y dependen de la etapa de crecimiento de la planta. Durante la fase vegetativa, las hojas maduras actúan como fuentes produciendo carbohidratos a través de la fotosíntesis, mientras que los tallos jóvenes y las raíces sirven como sumideros. A lo largo del día, el transporte del azúcar mantiene un flujo constante, proporcionando suministro de energía a las regiones en crecimiento o almacenamiento (Liao, 2024).

Hacia la etapa reproductiva, la función de los órganos comienza a cambiar progresivamente. Los frutos en maduración se transforman en un importante sumidero y requieren grandes cantidades de carbohidratos para su desarrollo. Para abastecer esta demanda, la planta reorganiza sus flujos internos regulando la actividad del floema y modulando la asignación de recursos. Este cambio mejora la eficiencia del uso de energía y ayuda a mantener la homeostasis de los procesos del ciclo de vida.

Importancia de la relación fuente-sumidero

La relación fuente-sumidero es esencial para el desarrollo equilibrado de una planta, ya que permite la distribución de carbohidratos producidos durante el proceso de fotosíntesis a diferentes órganos con requisitos energéticos. A través de esta interacción, se vuelve posible sostener el crecimiento de tejidos jóvenes, mantener las funciones vitales y almacenar reservas. El equilibrio entre el suministro y el uso de energía automatiza respuestas activas para diversas condiciones ambientales (Gui, 2024).

Gestionar adecuadamente esta relación aumenta la productividad en cultivos agrícolas. Comprender el flujo de transporte de sacarosa desde las fuentes hasta los sumideros, como

hojas, frutos y raíces, permite implementar estrategias que mejoren la asignación de recursos. La poda equilibrada, el riego controlado y la fertilización oportuna tienen un impacto en el equilibrio fuente-sumidero, mejorando la eficiencia de la acumulación de biomasa y la calidad del rendimiento.

2.10 Marco legal

La investigación desarrollada se enmarca dentro del cumplimiento de la normativa legal vigente en el Estado ecuatoriano, particularmente en concordancia con la Ley Orgánica del Régimen de la Soberanía Alimentaria (LORSA). En este sentido, se destaca el Artículo 9, que hace referencia a la investigación y extensión como herramientas clave para alcanzar la soberanía alimentaria.

Asimismo, el estudio se alinea con lo establecido en el Artículo 7, que contempla la protección de la agrobiodiversidad. Este artículo resalta la importancia de preservar los ecosistemas y promover la recuperación de la agrobiodiversidad, especialmente frente a las consecuencias del uso inadecuado de recursos naturales como el agua y el suelo (LORSA, 2011).

CAPÍTULO III

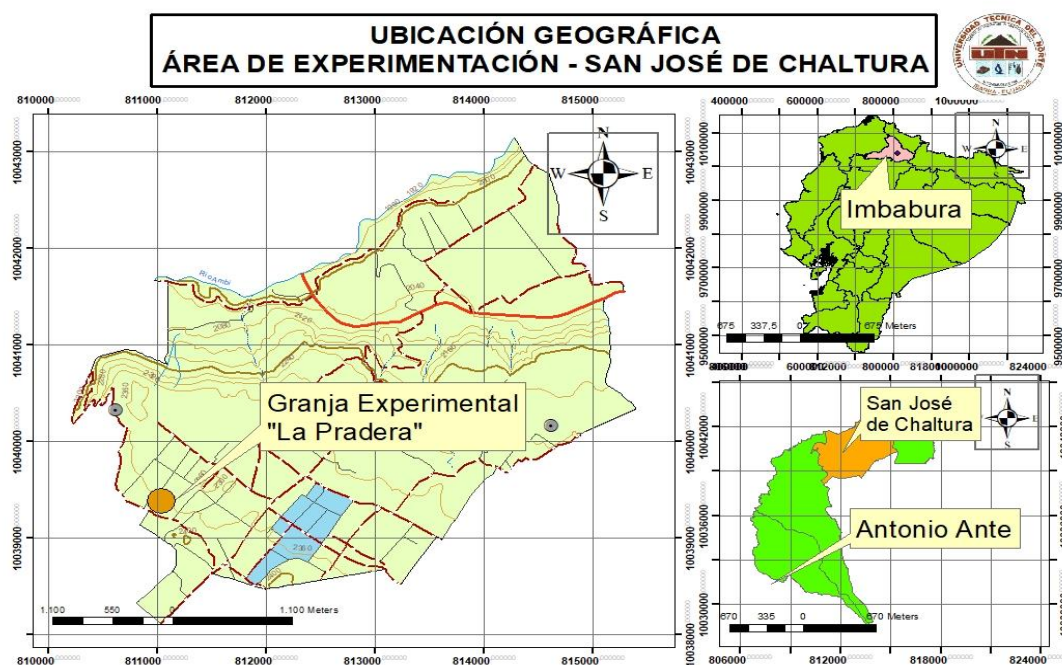
MARCO METODOLÓGICO

3.1 Descripción del área de estudio

La presente investigación se llevó a cabo en la Granja Experimental La Pradera, perteneciente a la Universidad Técnica del Norte. Esta se encuentra ubicada en la parroquia de Chaltura, provincia de Imbabura, una zona que cuenta con condiciones agroclimáticas favorables para el cultivo de cítricos (*Citrus limon* (L.) Osbeck), lo que la convierte en un entorno propicio para el desarrollo de este tipo de estudios.

Figura 1

Localización geográfica de la zona de estudio en la evaluación del efecto de la melaza en limón.



Fuente: Instituto Geográfico Militar [IGM], (2017).

3.1.1 Características del área en estudio

La Tabla 2 presenta la ubicación geográfica y las principales características climáticas de las localidades estudiadas, ofreciendo información relevante sobre las condiciones ambientales que inciden directamente en la producción agrícola de cada zona.

Tabla 2

Características del lugar de estudio

Parámetro	Característica
Provincia	Imbabura
Cantón	Antonio Ante
Parroquia	Chaltura
Altitud	2 340 m.s.n.m.
Temperatura (°C)	10-20
Humedad Relativa (%)	75
Precipitación (mm)	1 200- 2 000

Fuente: GAD, Chaltura (2022).

La parroquia Chaltura presenta variaciones climáticas que influyen en la diversidad de sus suelos, favoreciendo el desarrollo de cultivos como cítricos y hortalizas. En la zona, las condiciones agroecológicas permiten una producción eficiente, por factores como: altitud, temperatura promedio, humedad relativa y precipitación anual. Estas condiciones se vuelven propicias para la realización de investigaciones agrícolas tendientes a optimizar el potencial productivo de algunas especies frutales. La valoración sistemática de las condiciones edafoclimáticas del sitio de estudio se describe en la Tabla 2, conforme al plan de estudio.

3.2 Materiales

Para la investigación se emplearon recursos clasificados en materiales, equipos, insumos y herramientas. Estos facilitaron el desarrollo ordenado de las actividades experimentales y la recolección de datos. La distribución de estos recursos se detalla en la Tabla 3.

Tabla 3

Materiales, equipos, insumos y herramientas empleados en la investigación

Materiales	Equipos	Insumos	Herramientas
Libreta de campo	Computadora	Melaza	Envase 1 litro
Esfero	Cámara	Plantas de limón	Tijeras
Taipe	Termómetro digital		Asadón
	Pie de rey digital		Probeta
	Balanza		Exprimidor
	Refractómetro		Cuchillo

3.3 Métodos

3.3.1 Enfoque metodológico

La investigación adopta un enfoque cuantitativo que permite la recopilación de datos medibles y verificables. La metodología utilizada se basa en la definición precisa de las variables a trabajar y el estricto control de los factores que pueden afectar los resultados. Se aplican diferentes tratamientos con el propósito de evaluar sus impactos en las variables dependientes. La aplicación de procedimientos estadísticos mejora la interpretación de los datos y conduce a conclusiones bien fundamentadas. Esta metodología garantiza la objetividad, validez y credibilidad del estudio.

3.3.2 Factores en estudio

El estudio contempla dos factores principales. El Factor A corresponde a las concentraciones de melaza aplicadas externamente que se representan en cuatro niveles: 0 Molar (mM), 1 mM, 10 mM y 100 mM. Tales concentraciones son requeridas para determinar el impacto diferencial de la melaza sobre las variables seleccionadas. El Factor B es el tiempo, considerado como un componente estático para su consideración. Se realizan tres mediciones en las siguientes fechas, espaciadas durante aproximadamente 150 días para monitorear cambios en la producción, calidad de los frutos durante el período de cultivo.

3.3.3 Tratamientos

Se establecen cuatro tratamientos experimentales, cada uno con una concentración de melaza aplicada. Cada tratamiento corresponde a una concentración de soluto de melaza en agua y está destinado a probar su impacto en las respuestas fisiológicas y productivas de las plantas cítricas:

T1 = 0 ml/L (testigo sin aplicación)

T2 = 0.82 ml/L

T3 = 8.24 ml/L

T4 = 82.5 ml/L

Estos tratamientos evalúan el impacto de la melaza en el rendimiento, calidad del fruto en el cultivo.

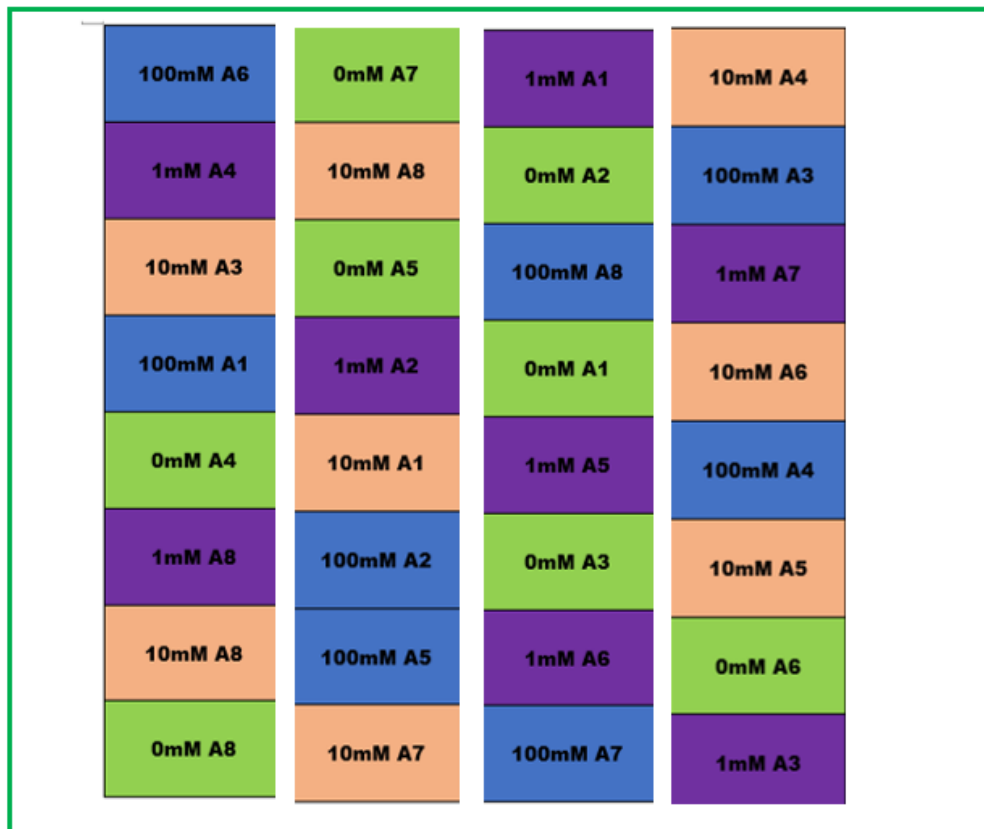
3.3.4 Diseño experimental

El diseño experimental utilizado en la investigación fue completamente al azar (DCA). A continuación, en la Figura 2, se muestra la distribución de las unidades experimentales y la asignación de los diferentes tratamientos dentro del lote de estudio.

Figura 2

Diseño completamente al azar

Para el desarrollo de esta investigación se empleó un diseño experimental completamente al azar (DCA), el cual permite distribuir los tratamientos de forma aleatoria entre las unidades experimentales. Este enfoque garantiza la validez estadística del estudio, minimizando el sesgo y asegurando que las diferencias observadas en los resultados se deban a los tratamientos aplicados y no a factores externos.



Nota: Se aplicaron 4 tratamientos, 0 mM (testigo), 1 mM, 10 mM y 100 mM, cada uno de ellos con 8 unidades experimentales etiquetados como A1, es decir árbol y el número correspondiente.

3.3.5 Características del experimento

A continuación, se detallan algunas de las principales características consideradas en el área de investigación:

- Número total de árboles en el lote: 60
- Número de unidades experimentales seleccionadas: 32
- Número de árboles por tratamiento: 8
- Etiquetado de las unidades experimentales: Se utilizó un sistema de codificación alfanumérica, por ejemplo, TM1A1, que indica el Tratamiento con Melaza (TM), en su primera concentración (1), aplicado al árbol número 1 (A1).
- Criterios adicionales: Se procuró mantener la homogeneidad de las unidades experimentales en cuanto al tamaño, estado fenológico y condiciones fitosanitarias, con el objetivo de reducir la variabilidad no atribuible a los tratamientos aplicados.

3.3.6 Análisis estadístico

El análisis de los datos se realizará utilizando el software estadístico INFOSTAT versión 2020. Se realiza un ANOVA para determinar si hay diferencias significativas entre los tratamientos establecidos. Para aquellas variables que cumplen con la suposición de normalidad y homogeneidad de la varianza, se utiliza la prueba de diferencia de medias del método LSD de Fisher al 5% de nivel de significancia. Este enfoque sostiene la validez de la eficacia del factor dado en relación con las variables dependientes, reforzando así la interpretación de los hallazgos.

Tabla 4

En la presente investigación se aplicó un Análisis de Varianza (ADEVA) utilizando un Diseño Completamente al Azar (DCA), incorporando el factor tiempo como una variable adicional

Fuentes de variación	Calculo (GL)	Grados de Libertad (GL)
Concentraciones	(4)-1	3
Tiempo	(3)-1	2
(D)(T)	(4-1)(3-1)	6
Error Experimental	((4)(3)(8-1))	84
Total	(4)(3)(8) – 1	95

Tabla 5

Esquema de la ADEVA en el diseño completamente al azar sin considerar al factor tiempo

Fuentes de variación	Calculo (GL)	Grados de Libertad (GL)
Concentraciones	(4)-1	3
Error Experimental	(4)(3)-1	8
Total	(4)(3)- 1	11

3.3.7 Variables evaluadas

- Rendimiento kg por árbol

Para determinar el punto de madurez de cosecha se consideraron los indicadores de color especificados por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC, 2019), los cuales se detallan en la Figura 3.

Figura 3

Rango de valores de Índice de color en cítricos



Nota. Se consideró un rango de valores de -18 a -13. Un valor negativo se asocia con un color verde, mientras que un valor positivo corresponde a un tono amarillento.

El rendimiento total (kg/árbol) se determinó a lo largo de tres cosechas durante un periodo de cinco meses, con una frecuencia aproximada de 45 días. Para cada uno de los ocho árboles por tratamiento, se recolectaron todos los frutos que cumplían con los criterios de cosecha previamente establecidos. El peso total de los frutos recolectados fue registrado utilizando una balanza, como se muestra en la Figura 4.

Figura 4

Registro y pesaje de los frutos cosechados



- **Rendimiento por categoría kg por árbol de limón**

El rendimiento final de los árboles de limón se evaluó mediante la categorización de los frutos recolectados en tres ocasiones durante la investigación, con un intervalo de seis semanas.

Los frutos fueron clasificados según su peso: los mayores a 250 gramos como primera categoría, entre 180 y 250 gramos como segunda categoría, y los menores a 180 gramos como tercera categoría (NTE INEN 1757, 2016).

Calidad externa de frutos de limón

Para este grupo de variables se seleccionaron 15 frutos al azar por tratamiento en cada cosecha.

- **Diámetro polar y ecuatorial de frutos de limón**

La Figura 5 muestra la medición del diámetro ecuatorial y polar del fruto realizada con un calibrador digital. Los valores se registraron en milímetros y las mediciones se tomaron desde el pedúnculo hasta los restos del estilo, en ambos sentidos (polar y ecuatorial), asegurando que el calibrador se colocara en el centro del fruto para obtener datos precisos (Romero et al., 2020).

Figura 5

Medición del diámetro polar del fruto



Calidad interna de frutos de limón

• Grados Brix

El refractómetro de mano se utilizó para medir esta variable, con un rango de 0-32. Se analizó el zumo de 15 frutos por tratamiento, sumando un total de 60 frutos por cosecha. Para obtener mediciones precisas, se aplicaron gotas de zumo y se observó el valor en el lente ocular, asegurando luminosidad (Figura 6). Es importante corregir los resultados debido a la temperatura del zumo y mantener el prisma limpio, utilizando agua destilada y secado adecuado entre lecturas (Romero et al., 2020).

Figura 6

Medición de los grados Brix con refractómetro manual



3.4 Manejo del experimento

3.4.1 Selección del sitio

Para el desarrollo del estudio, se seleccionó un lote ubicado en la Granja Experimental “La Pradera”, donde las plantas de limón ya se encontraban establecidas. Se escogieron 32 árboles, distribuidos en 4 tratamientos con 8 árboles cada uno. La elección se basó en criterios de uniformidad en tamaño (7 grandes y 1 pequeño por tratamiento) y estado fenológico (floración y fructificación). Se priorizaron ejemplares con bajo aborto floral y alto número de frutos cuajados. El lote ofrecía acceso a riego y condiciones óptimas para manejo agronómico. La Figura 7 muestra las actividades iniciales del ensayo.

Figura 7

Actividades preliminares al desarrollo experimental:

a) Delimitación y marcación del área de estudio dentro del lote, b) Colocación de señalética de las unidades, c) Bomba de mochila para la aplicación foliar.



3.4.2 Aplicación de las soluciones

La aplicación foliar de las soluciones se realizó con una bomba de mochila como se muestra en la Figura 7c. Las fechas de aplicación se detallan en la siguiente tabla, con un volumen por aplicación de 6 L/tratamiento.

Tabla 6

Aplicación foliar de tratamientos durante el período experimental

Aplicación	Fecha
1	5 de septiembre del 2023
2	19 de septiembre del 2023
3	3 de octubre del 2023
4	17 de octubre del 2023
5	31 de octubre del 2023
6	14 de noviembre del 2023
7	28 de noviembre del 2023
8	12 de diciembre del 2023
9	9 de enero de 2024
10	23 de enero de 2024

3.4.3 Riego

Durante el desarrollo del ensayo, el riego se aplicó cada dos semanas, considerando la frecuencia de lluvias registrada en la zona. Fue necesario en las primeras etapas del cultivo, mientras que en las fases posteriores fue prescindible debido a la disponibilidad hídrica natural. La actividad se ejecutó de forma manual, utilizando herramientas como palas y azadones, generando encharcamientos localizados en la base de los árboles para garantizar una adecuada absorción de agua. Dada la susceptibilidad de los cítricos al estrés hídrico, se prestó especial atención a este manejo. La Figura 8 ilustra esta actividad.

Figura 8

Riego por gravedad



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Rendimiento total

En la tabla 7, muestra el análisis de varianza, donde no existe interacción entre los tratamientos ($p=0.8415$) para la variable rendimiento total.

Análisis de varianza para la variable rendimiento total

Tabla 7

Análisis de varianza para la variable rendimiento total

Fuente de variación	glFv	glE.E	F	p
Tratamiento	3	21	0.28	0.8415

Las medias del rendimiento total oscilaron entre 6.38 y 9.05 kg/árbol, correspondiendo el mayor valor al tratamiento 100 mM (9.05 kg), seguido por 10 mM (8.37 kg). No obstante, la elevada variabilidad reflejada en los errores estándar explica la ausencia de diferencias estadísticas entre tratamientos, lo que sugiere una respuesta productiva similar del cultivo frente a las concentraciones de melaza evaluadas.

Tabla 8

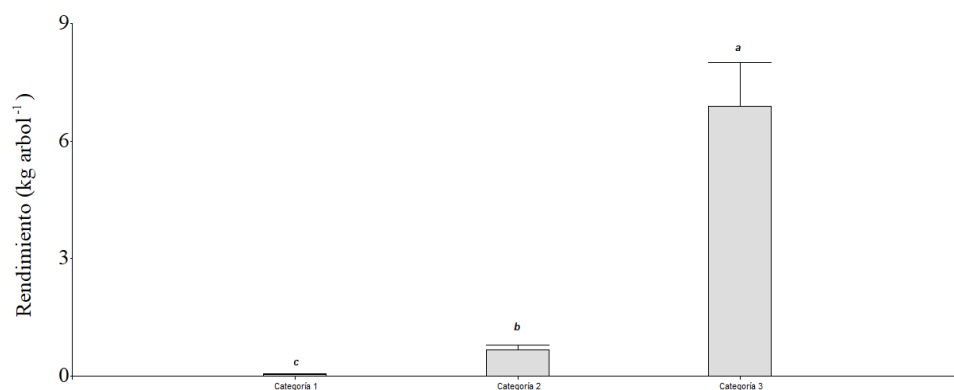
Medias y error estándar para la variable rendimiento total de limón por árbol bajo 10 aplicaciones de melaza en distintas concentraciones.

Tratamiento	Rendimiento total (kg)	E.E.
M 0 mM	6.56	2.00
M 1 mM	6.38	1.37
M 10 mM	8.37	3.60
M 100 mM	9.05	2.57

La figura 9 confirma los resultados estadísticos, mostrando una tendencia numérica al incremento del rendimiento en los tratamientos con mayores concentraciones de melaza, especialmente 100 mM, aunque sin diferencias significativas. Esto evidencia que, si bien la melaza podría favorecer el rendimiento, su efecto no fue suficientemente marcado para generar contrastes estadísticos entre tratamientos.

Figura 9

Variable rendimiento total de limón por árbol bajo 10 aplicaciones de melaza en distintas concentraciones.



Desde el punto de vista fisiológico, la melaza constituye una fuente de carbono orgánico fácilmente disponible, capaz de estimular la actividad microbiana del suelo y mejorar la disponibilidad de nutrientes durante fases críticas del desarrollo del cultivo. En cítricos, se ha documentado que la acumulación de biomasa y el incremento del peso del fruto ocurren mayoritariamente en etapas tardías, cuando la demanda de fotoasimilados es más alta y el árbol prioriza el llenado del fruto sobre el crecimiento vegetativo (Iglesias et al., 2011).

En este contexto, la ausencia de diferencias significativas entre concentraciones de melaza concuerda con lo reportado en sistemas agrícolas donde el carbono adicional actúa como un facilitador metabólico, pero no necesariamente como un factor limitante una vez superado un umbral funcional. La investigación de Bastia y Mohanty (2001) sobre la linaza (*Linum usitatissimum* (L.)) arrojó resultados que coinciden con los patrones fisiológicos de este cultivo y establecieron que el rendimiento del cultivo depende de las etapas de desarrollo de la planta y del aporte combinado de nutrientes, lo que resultó en rendimientos máximos de 594.7 kg/ha con la cantidad adecuada de fertilizante. Sin embargo, la aplicación adicional de fertilizantes no mejoró la producción del cultivo.

De manera complementaria, investigaciones más recientes en linaza indican que la disponibilidad de carbono y nutrientes durante fases reproductivas favorece el llenado y peso final de los órganos cosechables, pero que el rendimiento se estabiliza cuando el sistema suelo-planta alcanza un equilibrio funcional (Stavropoulos et al., 2025). Este comportamiento es consistente con los resultados obtenidos en el presente estudio, donde la melaza pudo haber

favorecido procesos metabólicos asociados al llenado de frutos, sin generar diferencias marcadas entre tratamientos.

Ding et al. (2024) en huertos de cítricos, demostraron que la incorporación de fuentes de carbono orgánico incrementa el carbono orgánico del suelo y la actividad microbiana, mejorando la eficiencia en el uso de nutrientes, aunque los efectos sobre el rendimiento tienden a manifestarse de forma gradual y dependiente del tiempo, más que de la dosis aplicada en un solo ciclo productivo.

4.2 Número de frutos total

La Tabla 9, muestra el análisis de varianza, donde no existe interacción entre los tratamientos ($p= 0.8415$) para la variable número de frutos.

Tabla 9

Análisis de varianza para la variable número de frutos total

Fuente de variación	glFv	glE.E	F	p
Tratamiento	3	21	0.32	0.8091

En la Tabla 10 se presentan las medias y el error estándar de los cuatro tratamientos evaluados para la variable número total de frutos, en el cual se observó una tendencia numérica hacia valores más altos en los tratamientos M 10 mM y M 100 mM, aunque estas diferencias no fueron suficientes para alcanzar significancia estadística, probablemente debido a la elevada variabilidad observada.

Tabla 10

Medias y error estándar para la variable número de frutos producidos por árbol de limón bajo la aplicación de 10 tratamientos de melaza en diferentes concentraciones.

Tratamiento	N.º de frutos total	E.E.
M 0 mM	50.63	15.40
M 1 mM	53.00	11.62
M 10 mM	66.63	29.10
M 100 mM	75.13	23.81

Los resultados muestran que la aplicación de melaza no influyó directamente en frutos producidos por árbol de limón, lo cual es consistente con lo reportado en cítricos, donde el número de frutos está mayormente determinado por factores fisiológicos tempranos y

condiciones ambientales previas, más que por la fertilización aplicada durante el ciclo productivo (Quaggio et al., 2011).

No obstante, se observó una tendencia numérica de mayor número de frutos en los tratamientos M 10 mM y M 100 mM, lo que sugiere que la melaza pudo contribuir indirectamente a mejorar el estado fisiológico del árbol, sin alcanzar diferencias estadísticas. Resultados similares han sido descritos en estudios con enmiendas orgánicas ricas en carbono, donde el efecto sobre el número de frutos es limitado, pero se manifiesta con mayor claridad en el peso y rendimiento final del cultivo (Atenyeh & Wolancho, 2020).

4.3 Rendimiento por categoría

La Tabla 11, para la variable rendimiento por árbol por categoría, determinada en función del peso del fruto de acuerdo con la Norma Técnica Ecuatoriana (NTE INEN 1757, 2016). Se puede observar en el análisis de varianza que si existe diferencia significativa entre categorías ($p < 0.0001$)

Tabla 11

Análisis de varianza para la variable rendimiento por categoría

Fuente de variación	glFv	glE.E	F	p
Categoría	2	77	115.41	<0.0001

La Tabla 12 muestra que la categoría 3 concentró el mayor rendimiento, con un promedio de 6.88 kg por árbol, superando ampliamente a la categoría 2 (0.67 kg) y a la categoría 1 (0.04 kg). Este comportamiento indica que los frutos de mayor tamaño y peso no solo aportan más masa individual, sino que también determinan de forma decisiva el rendimiento total por árbol, lo cual es especialmente relevante desde el punto de vista comercial y productivo.

Tabla 12

Rendimiento de limón por árbol por categoría bajo 10 aplicaciones de melaza, en distintas concentraciones.

Categoría	Rendimiento kg/árbol	E.E.
Categor1	0.04	0.02
Categor2	0.67	0.13
Categor3	6.88	1.13

Estos resultados son consistentes con lo reportado por Agustí et al. (2003), quienes señalan que en cítricos el rendimiento está fuertemente condicionado por la proporción de frutos que

alcanzan calibres comerciales superiores, dado que estos concentran la mayor parte de la biomasa cosechada. De manera similar, Ríos et al. (1986) observaron que el rendimiento en cítricos aumenta significativamente cuando predominan frutos de mayor peso, independientemente del número total de frutos por árbol, lo que coincide con la elevada contribución de la categoría 3 registrada en el presente estudio. En conjunto, la marcada diferencia entre categorías sugiere que las prácticas de manejo evaluadas, incluidas las aplicaciones de melaza, podrían estar favoreciendo el desarrollo de frutos de mayor tamaño, incrementando así el rendimiento efectivo por árbol y mejorando la calidad comercial de la cosecha.

4.4 Rendimiento por cosecha

La Tabla 13, muestra en relación con la variable rendimiento por árbol por cosecha, evaluada durante tres cosechas a lo largo del período experimental, el análisis de varianza permitió observar que si existe interacción entre tratamientos y cosechas ($p= 0.0451$).

Tabla 13

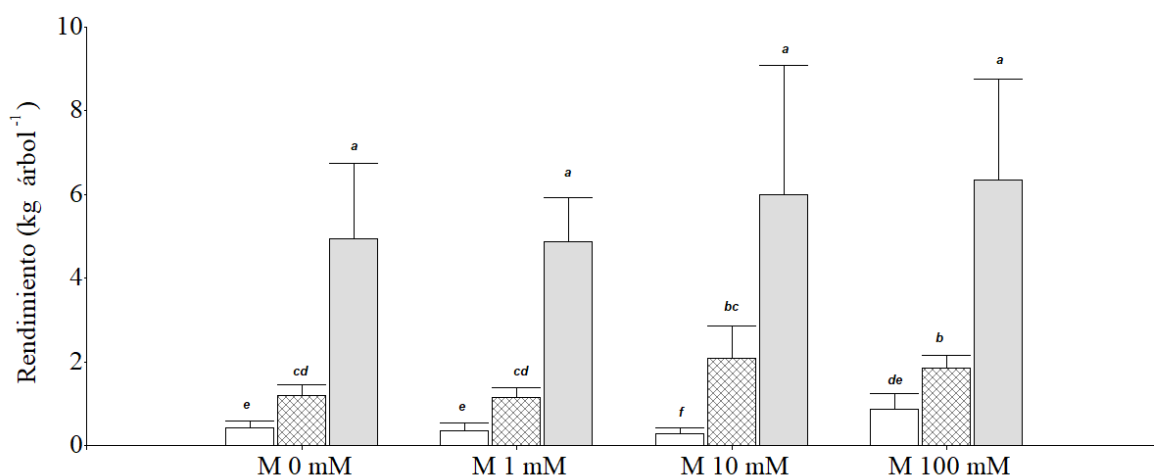
Análisis de varianza para la variable rendimiento por cosecha

Fuente de variación	glFv	glE.E	F	p
Cosecha: Tratamiento	6	77	10.52	0.0451

En la Figura 10, se observa el comportamiento del rendimiento por cosecha (kg/árbol) de limón bajo la aplicación de melaza en diferentes concentraciones, obteniendo que el mayor rendimiento se registró en la cosecha 3, destacándose los tratamientos M 100 mM y M 10 mM, con valores promedio de 6,34 kg/árbol y 6,00 kg/árbol, respectivamente. Estos tratamientos superaron numéricamente a M 0 mM y M 1 mM en la misma cosecha, aunque algunas comparaciones no alcanzaron diferencias estadísticas significativas, lo que sugiere una respuesta progresiva del cultivo conforme avanzó el ciclo productivo.

Figura 10

Rendimiento de limón por árbol por cosecha bajo 10 aplicaciones de melaza, en distintas concentraciones.



Este comportamiento concuerda con lo reportado por Abdulazeez y Salih (2025) en linaza (*Linum usitatissimum* (L.)), quienes evaluaron el efecto de fertilización orgánica e inorgánica sobre el crecimiento y rendimiento del cultivo, estableciendo que la respuesta productiva fue más evidente en etapas avanzadas del ciclo, registrando un rendimiento máximo de biomasa fresca de 131,53 g/planta cuando se aplicó estiércol a 10 t/ha combinado con NPK (50 kg/ha), mientras que aplicaciones tempranas mostraron incrementos limitados, lo que muestran que la mayor producción del cultivo se produjo durante la última cosecha, independientemente del método de tratamiento utilizado

La investigación de Stavropoulos et al.(2025) analizó cómo las diferentes densidades de siembra y tasas de fertilización afectan al cultivo de lino, pero descubrió que el rendimiento final dependía del desarrollo de la biomasa y del período de cosecha, en lugar de la aplicación de fertilizantes, demostrando que la producción del cultivo alcanzó su punto máximo cuando la planta finalizó su etapa reproductiva, lo que resultó en un rendimiento total más de un 20% superior al de cosechas anteriores.

La investigación indica que la melaza funcionó como una fuente accesible de carbono que favoreció los procesos biológicos que propiciaron un mayor crecimiento de las plantas y el desarrollo de los frutos durante la última parte de la temporada de crecimiento, sin mostrar variación entre las concentraciones analizadas. Los estudios indican que las plantas de lino, junto con otros cultivos oleaginosos, desarrollan estructuras de frutos mejoradas y órganos cosechables más pesados cuando acceden a recursos de carbono y nutrientes durante su período de crecimiento tardío (Kumawat, 2021).

Los resultados de la investigación muestran que el rendimiento por cosecha depende en gran medida del momento en que los agricultores eligen cosechar sus cultivos y que el tratamiento con melaza durante la temporada de crecimiento produce mejores rendimientos en la última parte del período de producción, pero no produce resultados fiables entre diferentes dosis de aplicación, lo cual muestran que los factores temporales, junto con los procesos biológicos de la planta, determinan la calidad del rendimiento final del cultivo.

4.5 Número de frutos total por categoría

La Tabla 14 presenta el análisis de varianza para la variable número de frutos por árbol por categoría, registrada durante las tres cosechas, mostrando diferencias estadísticamente significativas ($p < 0.0001$).

Tabla 14

Análisis de varianza para la variable número de frutos total por categoría

Fuente de variación	glFv	glE.E	F	p
Categoría	2	77	27.18	<0.0001

En la Tabla 15, muestra los resultados del presente estudio que la categoría nfrutosca3 concentra en promedio 57.84 frutos árbol⁻¹, mientras que las categorías nfrutosca1 y nfrutosca2 presentan valores notablemente inferiores (0.16 y 3.34 frutos/árbol, respectivamente). Está marcada asimetría en la distribución del número de frutos por categoría es consistente con lo reportado en estudios previos en cítricos.

Tabla 15

Número de frutos de limón por árbol, clasificados por categoría, bajo diez aplicaciones de melaza a diferentes concentraciones

Categoría	N.º de frutos/árbol	E.E.
nfrutosca1	0.16	0.08
nfrutosca2	3.34	0.64
nfrutosca3	57.84	9.79

Quaggio et al. (2011) en un estudio realizado en huertos comerciales de limón (*Citrus limon* (L.) Osbeck) en Brasil, informaron que entre el 65% y el 78% del total de frutos por árbol se concentró en una sola categoría comercial, asociada a frutos menores, mientras que las categorías mayores representaron menos del 10% del total de frutos, lo que se atribuye a la

limitada disponibilidad de carbohidratos durante el llenado, que restringe el número de frutos grandes que el árbol puede soportar simultáneamente.

De manera similar, Iglesias et al. (2011), al evaluar la fisiología de fructificación en cítricos, documentaron que el número de frutos pequeños puede superar los 50–60 frutos/árbol, mientras que los frutos de mayor tamaño raramente exceden 1–5 frutos/árbol, incluso bajo condiciones óptimas de manejo. Estos valores son altamente comparables con los obtenidos en el presente estudio, donde la categoría dominante supera ampliamente a las restantes en número.

En un trabajo más reciente, Kallsen et al. (2018) analizaron la distribución del número de frutos por categoría en limón ‘Lisbon’ en California y reportaron un promedio de 52 a 68 frutos/árbol en la categoría predominante, frente a menos de 5 frutos/árbol en categorías superiores, valores que coinciden estrechamente con los 57.84 frutos/árbol registrados en la categoría principal del presente estudio.

Así mismo, Ding et al. (2024) evaluaron el efecto de fuentes orgánicas de carbono en huertos de cítricos y observaron que, aunque el carbono orgánico incrementó la actividad microbiana y la eficiencia nutricional del suelo, el número de frutos por categoría no mostró cambios estadísticamente significativos, manteniéndose una concentración superior al 70% del número total de frutos en una sola categoría, resultado concordante con la ausencia de redistribución observada en este ensayo con melaza.

Finalmente, Atenyeh y Wolancho (2020), en un estudio sobre enmiendas orgánicas en frutales perennes, reportaron que la aplicación de fuentes orgánicas no incrementó el número total de frutos grandes, pero sí favoreció la estabilidad productiva, indicando que el efecto de estos insumos se expresa principalmente en peso y calidad, más que en el número de frutos por categoría.

4.6 Diámetro polar de frutos

Para la variable diámetro polar de los frutos, el análisis de varianza presentado en la Tabla 16 mostró un valor de ($p=0.0040$), lo que indica la existencia de interacción significativa entre las cosechas.

Tabla 16

Análisis de varianza del diámetro polar (mm) de los frutos de limón en árboles tratados con soluciones de melaza a diferentes concentraciones

Fuente de variación	glFv	glE.E	F	p
Cosecha	2	154	5.73	0.0040

Durante cinco meses se realizaron tres cosechas, registrando el diámetro de 15 frutos por tratamiento.

Las mediciones promedio del diámetro polar de los limones durante tres cosechas sucesivas se muestran en la Tabla 17, que muestra un patrón descendente de principio a fin. El diámetro polar alcanzó su tamaño máximo de 78.01 mm durante la primera cosecha, antes de comenzar a disminuir hasta alcanzar 74.95 mm en la segunda cosecha y 72.96 mm en la tercera.

Tabla 17

Diámetro polar (mm) de los frutos de limón por cosecha, bajo diez aplicaciones de melaza a diferentes concentraciones

Cosecha	Diámetro polar (mm)	E.E.
1	78.01	1.12
2	74.95	1.09
3	72.96	1.09

Este comportamiento es fisiológicamente esperable en cítricos y ha sido ampliamente documentado en estudios en español. Agustí et al. (2003) señalan que el diámetro polar alcanza su máximo durante las fases iniciales del desarrollo del fruto y tiende a estabilizarse o reducirse ligeramente en cosechas tardías, debido a cambios en la tasa de elongación celular y a la redistribución de fotoasimilados hacia un mayor número de frutos en desarrollo, por lo que, reportaron valores de diámetro polar entre 75 y 80 mm en cosechas tempranas, descendiendo a 70–73 mm en cosechas tardías, rangos que coinciden estrechamente con los obtenidos en el presente estudio.

De manera similar, Iglesias et al. (2011) mostró que el desarrollo de frutos responde mejor a las condiciones ambientales totales y al estadio fenológico del ciclo productivo que a las aplicaciones individuales de fertilizantes, por lo que, esta reducción del diámetro polar en cosechas posteriores se asocia a una mayor competencia interna por carbohidratos, especialmente en árboles con alta carga frutal, como los evaluados en este ensayo.

En este contexto, los resultados obtenidos confirman que la variación del diámetro polar responde principalmente al avance del ciclo productivo, y que la melaza, como fuente de carbono, no altera de forma significativa este patrón fisiológico, sino que acompaña la dinámica natural del desarrollo del fruto.

4.7 Diámetro ecuatorial de frutos

La Tabla 18 presenta el análisis de varianza para la variable diámetro ecuatorial de los frutos, evidenciando la existencia de una interacción significativa entre cosechas y tratamientos ($p = 0.0152$).

Tabla 18

Análisis de varianza del diámetro ecuatorial (mm) de los frutos de limón en árboles tratados con soluciones de melaza a diferentes concentraciones

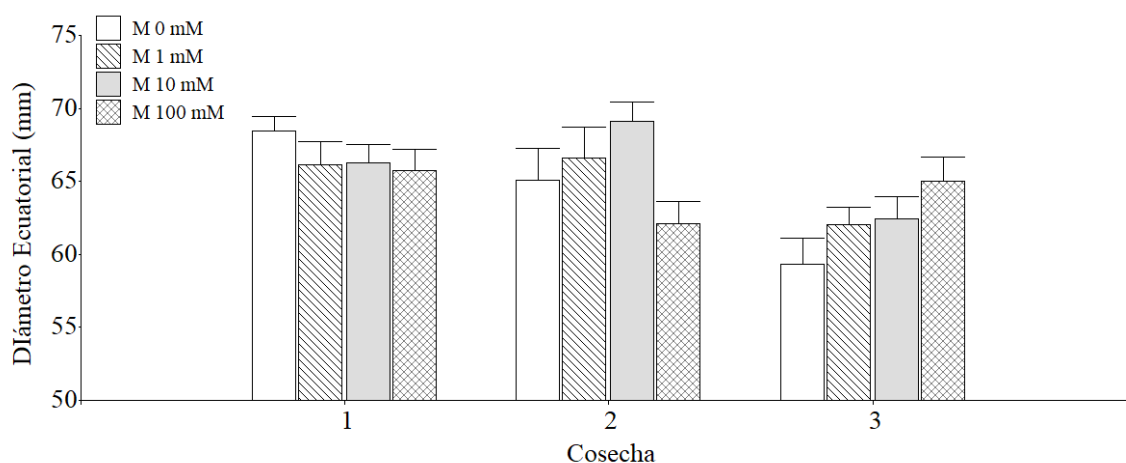
Fuente de variación	glFv	glE.E	F	p
Cosecha: Tratamientos	6	154	2.72	0.0152

Durante cinco meses se realizaron tres cosechas, registrando el diámetro de 15 frutos por tratamiento.

La Figura 11 evidencia que, mientras en la cosecha 1 las diferencias entre tratamientos fueron reducidas, en las cosechas 2 y 3 se observaron contrastes más marcados, con mayores diámetros ecuatoriales en tratamientos específicos según la cosecha. Este patrón sugiere que el diámetro ecuatorial es una variable más plástica, estrechamente asociada a los procesos de expansión celular y llenado del fruto, los cuales pueden ser modulados por la disponibilidad de carbono durante etapas concretas del desarrollo.

Figura 11

Diámetro ecuatorial (mm) de los frutos de limón bajo diez aplicaciones de melaza a diferentes concentraciones



Los resultados obtenidos concuerdan con lo reportado por Barry y Giovannoni (2007) quienes señalan que en frutos carnosos el crecimiento longitudinal se define tempranamente, mientras que el crecimiento radial puede extenderse y responder a condiciones metabólicas posteriores. Asimismo, Rios et al. (1986) en un estudio sobre calidad externa de limón bajo distintos

esquemas de fertilización orgánica, reportaron que las variaciones en el diámetro ecuatorial fueron más pronunciadas entre tratamientos y momentos de cosecha, mientras que el diámetro polar mostró cambios más limitados y dependientes del estado fenológico. En conjunto, estos antecedentes respaldan que los patrones observados en el presente estudio responden a la dinámica fisiológica normal del fruto, y que el uso de melaza puede influir principalmente en el crecimiento radial, sin alterar sustancialmente el crecimiento longitudinal.

4.8 Peso del fruto

La Tabla 19 presenta el análisis de varianza para la variable peso individual de los frutos, evidenciando una interacción significativa entre las cosechas ($p=0.0039$).

Tabla 19

Análisis de varianza del peso individual de frutos (g) de limón bajo diferentes concentraciones de melaza

Fuente de variación	glFv	glE.E	F	p
Cosecha	2	154	5.74	0.0039

La Tabla 20 muestra una disminución progresiva del peso del fruto, con valores promedio de 158.89 g en la cosecha 1, 155.03 g en la cosecha 2 y 136.82 g en la cosecha 3. Esta tendencia sugiere que los frutos cosechados en etapas tempranas alcanzaron un mayor peso individual, mientras que en cosechas posteriores el peso se redujo, probablemente como consecuencia de una mayor competencia interna por fotoasimilados asociada al mantenimiento de la carga frutal y a la redistribución de recursos dentro del árbol.

La homogeneidad de los errores estándar entre cosechas refleja una respuesta consistente del cultivo bajo el manejo experimental aplicado, lo que refuerza que las diferencias observadas responden al avance del ciclo productivo más que a efectos directos de las concentraciones de melaza.

Tabla 20

Peso individual de los frutos de limón (g) por cosecha, bajo diez aplicaciones de melaza a diferentes concentraciones

Cosecha	Peso del fruto (g)	E.E.
1	158.89	4.92
2	155.03	4.92
3	136.82	4.92

Este comportamiento sugiere que, a medida que avanza el ciclo productivo, los frutos experimentan una reducción en la acumulación de biomasa, lo cual puede estar asociado a la redistribución de fotoasimilados, al agotamiento progresivo de reservas del árbol y a la competencia entre frutos en etapas avanzadas del desarrollo. Este patrón coincide con lo reportado por Olave et al. (2025) quienes, en un estudio reciente sobre la caracterización físico-química del limón de Pica (*Citrus aurantifolia* (C.) Swingle), señalan que el peso del fruto tiende a disminuir en cosechas tardías como resultado de cambios fisiológicos propios del proceso de maduración y de variaciones en la eficiencia fotosintética.

Asimismo, Morillo (2025) indican que el peso final del fruto en cítricos está fuertemente influenciado por la disponibilidad de carbohidratos durante las fases iniciales de crecimiento, mientras que en etapas posteriores el incremento de peso se estabiliza o incluso disminuye debido a la priorización de procesos metabólicos relacionados con la maduración.

4.9 Grados Brix de frutos

La tabla 21 presenta el análisis de varianza para la variable grados Brix de los frutos por cosecha, evidenciando una interacción significativa entre tratamientos y cosechas ($p = 0.0001$).

Tabla 21

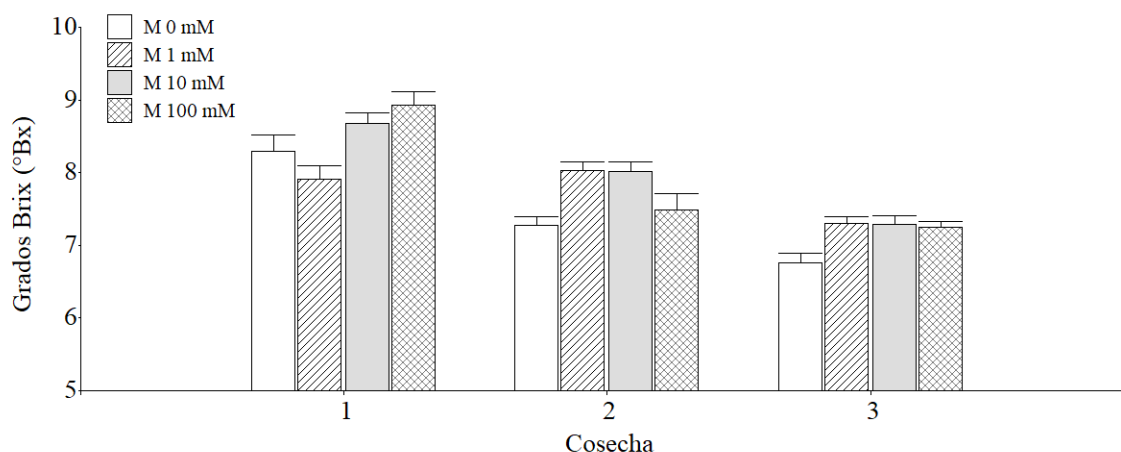
Análisis de varianza de los grados Brix de limón bajo diferentes concentraciones de melaza

Fuente de variación	glFv	glE.E	F	p
Cosecha: Tratamientos	6	154	5.20	0.0001

La Figura 12 evidencia que los valores de °Brix variaron entre tratamientos dentro de cada cosecha, lo que sugiere que la disponibilidad de carbono fácilmente asimilable pudo haber modulado la acumulación de azúcares en el fruto en determinadas etapas del desarrollo. A diferencia del peso del fruto, los grados Brix mostraron una mayor sensibilidad al manejo experimental, lo que es coherente con el hecho de que esta variable está estrechamente asociada a procesos metabólicos como la síntesis y acumulación de azúcares, los cuales pueden intensificarse en fases avanzadas del desarrollo y responder de forma diferencial a insumos orgánicos. La interacción observada confirma que el efecto de la melaza sobre la calidad interna del fruto no fue uniforme a lo largo del ciclo, sino dependiente de la cosecha, evidenciando una respuesta dinámica del cultivo.

Figura 12

Grados Brix (°B) de frutos de limón bajo 10 aplicaciones de melaza, en distintas concentraciones.



La medición de grados Brix muestra directamente el progreso de la maduración de la fruta, ya que este proceso resulta en una mayor producción de azúcares simples a partir de carbohidratos complejos. La investigación de Karki et al. (2024) muestra que los cítricos presentan valores Brix más altos a lo largo de su proceso de maduración, que oscilan entre 7 y 12 °Brix, según la variedad específica y las prácticas agrícolas. Los resultados del estudio mostraron valores que coincidieron con los rangos establecidos, lo que indica que las frutas analizadas alcanzaron los estándares de calidad interna adecuados.

De manera complementaria, Zhao et al. (2021) señalan que la aplicación de insumos orgánicos ricos en carbono puede favorecer la acumulación de sólidos solubles en frutos cítricos, siempre que exista una adecuada relación fuente-demanda dentro del árbol. En este sentido, la interacción significativa entre cosechas y tratamientos observada en este estudio sugiere que la melaza pudo haber contribuido al aumento de los grados Brix en determinadas cosechas, particularmente cuando la actividad fotosintética y la translocación de azúcares fueron más eficientes.

En conjunto, los resultados indican que los grados Brix no solo dependen del tratamiento aplicado, sino también del estado fisiológico del cultivo al momento de la cosecha. Esto resalta la importancia de considerar el momento óptimo de aplicación de la melaza y la sincronización con las fases de mayor demanda de carbohidratos del fruto, a fin de maximizar la calidad interna del limón.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- La aplicación de melaza no generó diferencias estadísticas en el rendimiento total ni en el número total de frutos por árbol, aunque se observó una tendencia numérica positiva en las concentraciones más altas (10 y 100 mM). Esto indica que la melaza puede favorecer el desempeño productivo del cultivo, pero su efecto no fue lo suficientemente marcado para diferenciar tratamientos dentro de un solo ciclo productivo.
- El rendimiento del limón estuvo determinado principalmente por el tamaño del fruto y el momento de cosecha, más que por la concentración de melaza aplicada. La categoría de frutos de mayor tamaño concentró la mayor proporción del rendimiento por árbol, mientras que el número de frutos por categoría se mantuvo estable, confirmando que el peso individual del fruto es el principal componente del rendimiento comercial.
- Las variables físicas del fruto (diámetro polar, diámetro ecuatorial y peso) estuvieron fuertemente influenciadas por el avance del ciclo productivo. Los frutos cosechados tempranamente presentaron mayor tamaño y peso, mientras que en cosechas tardías se observó una reducción, atribuida a la competencia interna por fotoasimilados y a la dinámica fisiológica normal del cultivo, más que al efecto directo de la melaza.
- La melaza mostró un efecto más evidente sobre la calidad interna del fruto, particularmente en los grados Brix, donde se registró una interacción significativa entre tratamientos y cosechas. Esto sugiere que la melaza puede contribuir a la acumulación de azúcares en momentos específicos del desarrollo del fruto, destacando la importancia de sincronizar su aplicación con las etapas de mayor demanda metabólica para mejorar la calidad del limón.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda la aplicación foliar de melaza en concentraciones de *10 mM* y *100 mM*, ya que estas dosis demostraron un efecto positivo en el rendimiento y calidad del limón (*Citrus limon* (L.) Osbeck). Estas concentraciones pueden ser consideradas como una alternativa agroecológica en programas de manejo nutricional en cultivos cítricos.
- Es necesario realizar estudios complementarios en diferentes ciclos productivos y épocas del año, con el fin de validar la consistencia de los resultados obtenidos, considerando la influencia de factores climáticos sobre la eficacia de la melaza.
- Se sugiere ampliar la evaluación de la calidad del fruto incluyendo variables como acidez titulable, firmeza, vida postcosecha y contenido de vitamina C, lo que permitirá tener una visión más integral del impacto de la melaza en la calidad del producto final.
- Fomentar entre pequeños y medianos productores el uso de insumos alternativos como la melaza, por su bajo costo, facilidad de aplicación y su contribución a la sostenibilidad agrícola.
- Se recomienda integrar el uso de melaza con otras prácticas agroecológicas (como compostaje, cobertura vegetal o control biológico), fortaleciendo sistemas de producción más resilientes, sostenibles y menos dependientes de insumos químicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Ainarkar. (2023). *Evaluation of gladiolus (Gladiolus spp.) varieties for qualitative and quantitative characters under Konkan agro-climatic conditions of Maharashtra*. Obtenido de <https://krishikosh.egranth.ac.in/handle/1/5810196163>
- Akintunde, N. O. (2023). *Nutritional and ethno-medicinal potentials of egg-lime-molasses mixture in livestock production*. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.18805/ajdfr.DRF-285>
- Amin, A. I. (2024). *Optimization of citric acid production from sugarcane molasses using Aspergillus niger by submerged Fermentation*. Obtenido de <https://doi.org/10.1101/2024.10.15.618342>
- Agricultura. (2023). Limón, un cultivo agrícola de mucha importancia.
- Asociación de Productores de Frutas de Imbabura (APFI). (2021). "Informe sobre el impacto de descomposición de la hoja de caña (Saccharum officinarum). Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 2(2), 3.
- del cultivo de limón en la economía local". Instituto Nacional De Investigaciones Agropecuarias (INIAP). <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/6011/1/INFORME%20T%C3%89CNICO%20ANUAL%20FRUTICULTURA%202021VF.pdf>
- Almadiy, A. A., Shaban, A. E., Ibrahim, A. M., Balhareth, S. M., El-Gioushy, S. F., & Khater, E. S. G. (2023). Partially substituting chemical NPK fertilizers and their impact on Eureka lemon trees (Citrus limon L. Burm) productivity and fruit quality. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37457-7>

- Abdulazeez, S., & Salih, R. F. (2025). Growth and yield of linseed (*Linum usitatissimum* L.) enhanced through adding organic and inorganic fertilizers. *Mesopotamian Journal of Agriculture*, 53(7), 1–12. Obtenido de <https://doi.org/10.32894/MEJPA.53.7>
- Agustí, M., Martínez-Fuentes, A., Mesejo, C., Juan, M., & Almela, V. (2003). *Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos*. Generalitat Valenciana; Conselleria de Agricultura, Pesca y Alimentación. Institut Valencià d'Investigacions Agràries (IVIA). Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.11939/8074>
- Atenyeh, M., & Wolancho, G. B. (2020). Effects of organic amendments on soil fertility and environmental quality: A review. *Journal of Plant Sciences*, 8(5), 112–119. Obtenido de <https://doi.org/10.11648/j.jps.20200805.12>
- Bueno, S. H. (2023). *Insectos depredadores asociados en cultivos de limon (citrus limon), como agente de control biológico*. Obtenido de https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i1.5096
- Barry, C., & Giovannoni, J. (2007). Ethylene and fruit ripening. *Journal of Plant Growth Regulation*, 26(2), 143–159. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00344-007-9002-y>
- Bastia, D. K., & Mohanty, S. K. (2001). Response of linseed (*Linum usitatissimum*) varieties to fertility levels under rainfed condition. *Indian Journal of Agronomy*, 46(2), 327–332. Obtenido de <https://doi.org/10.59797/ija.v46i2.3270>
- Cabot, L. &. (2023). *Multi-season environmental life cycle assessment of lemons: A case study in south Uruguay*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116719>
- Campozano, G. &. (2023). *Efecto de tres láminas de riego en el desarrollo morfológico del cultivo de limón sutil [Citrus limon (L.) Burm. F.]*. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4731>

- Caro. (2023). *Establecimiento de una parcela demostrativa de Limón Tahití (Citrus latifolia Tanaka), usando herramientas participativas en la Institución Educativa Colegio Las Flores del municipio de Landázuri, Santander*. Obtenido de <http://repositoriodspace.unipamplona.edu.co/jspui/handle/20.500.12744/8818>
- Domínguez, BEH (2000). Efecto de diferentes fuentes de carbono sobre plantas de mariguana en la fertilidad del suelo y el rendimiento de Espinacas en Khotang, Nepal. Universidad de Agricultura y Silvicultura, Rampur, Chitwan, Nepal. https://www.researchgate.net/publication/332066820_Effect_of_Molasses_and_Organic_Fertilizer_in_Soil_fertility_and_Yield_of_Spinach_in_Khotang_Nepal<https://blogagricultura.com/limon-cultivo-importante/>https://fliphtml5.com/ijia/jyhx/Bolet%C3%ADn_Situacional_Lim%C3%B3n_2022/?utm_source=chatgpt.com
- Ding, Z., Huang, R., Li, X., Fan, Q., Hu, L., & Sheng, L. (2024). Effects of biochar on soil organic carbon mineralization in citrus orchards. *Sustainability*, 16(22). Obtenido de <https://doi.org/10.3390/su16229967>
- Efendi, B. P. (2021). Relationship among Agroclimatic Variables, Soil and Leaves Nutrient Status with the Yield and Main Composition of Kaffir Lime (*Citrus hystrix DC*) Leaves Essential Oil. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/metabo11050260>
- Farfán, H. &. (2023). *Estudio de prefactibilidad de una planta de limón sutil y subproductos en Tumbes, para exportación a EE. UU y Alemania*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.14005/13783>
- García, V. C. (2023). *Veracruz: Problemática de la producción de cítricos*. Obtenido de <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v11i1.471>

- GBIF. (2022). *Citrus ×limon (L.) Osbeck in GBIF Secretariat*. Obtenido de <https://doi.org/10.15468/39omei>
- Geremew, M. T. (2024). *Review on the application, health usage, and negative effects of molasses*. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/19476337.2024.2321984>
- Gui, B. K. (2024). Response of source-sink relationship to progressive water deficit in the domestication of dryland wheat. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2024.108380>
- Hernández, A. &. (2025). *Densidad de siembra como factor de rentabilidad del cultivo de limón persa (Citrus latifolia)*. Obtenido de <https://doi.org/10.47808/revistabioagro.v12i2.571>
- Hui, Y. &. (2023). Can food security and low carbon be achieved simultaneously? —An empirical analysis of the mechanisms influencing the carbon footprint of potato and corn cultivation in irrigation areas. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.jia.2023.02.010>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2019). Tabulados de la Encuesta de melaza sobre los indicadores biológicos del suelo y el maíz. Crecimiento de diferentes suelos de labranza: un experimento en maceta. *Revista Geografía Ambiental*. <https://ojs.bibl.u-szeged.hu/index.php/jengeo/article/view/4467>
- Iglesias, D. J., Cercós, M., Colmenero-Flores, J. M., & Naranjo, M. A. (2011). Citrus: An overview of fruiting physiology. *Scientia Horticulturae*, 129(4), 592–604. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/215891070_Citrus_An_Overview_of_Fruiting_Physiology
- Jeet, V. Y. (2024). *Morphological and phenological characteristic, oil yield, quality and economics of Lemon bee balm (Monarda citriodora Cerv. ex-Lag) at diverse environment condition, India*. Obtenido de <https://doi.org/10.1080/0972060X.2024.2387653>

- J., O., Vergara-Pol, J., Sánchez, M., & Aravena, P. (2025). Caracterización físico-química de los frutos de limón de Pica (*Citrus aurantifolia*). *Idesia*, 43. Obtenido de <https://doi.org/10.4067/S0718-34292025000100002>
- Kashyap. (2023). *Bio-Valorization of Citrus Waste for the Production of Bioactive Molecules for Food Applications*. Obtenido de <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003341307-2/bio-valorization-citrus-waste-production-bioactive-molecules-food-applications-suman-kashyap>
- Karki, N., Achhami, H., Pachhai, B. B., Bhattarai, S., Shahi, D. K., Joshi, M. K., & Bhatt, L. R. (2024). Evaluating citrus juice: A comparative study of physicochemical, nutraceutical, antioxidant, and antimicrobial properties of citrus juices. *Heliyon*, 10(e16804). Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e16804>
- Kumawat, H. (2021). *Effect of integrated nutrient management on growth, yield and economics of irrigated linseed (Linum usitatissimum L.)*. Obtenido de <https://krishikosh.egranth.ac.in/server/api/core/bitstreams/836e1831-705f-4093-9483-b1a208cd76be/content>
- Liao, Z. Y. (2024). *Nitrogen application and soil mulching improve grain yield of rainfed maize by optimizing source-sink relationship and grain filling process on the Loess Plateau of China*. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.eja.2023.127060>
- McIntyre, B. &. (2021). *Cytokinin Regulation of Source-Sink Relationships in Plant-Pathogen Interactions*. Obtenido de <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.677585>
- Mena, A. &. (2021). *Identifying Maturity Dimensions for Smart Maintenance Management of Constructed Assets: A Multiple Case Study*. Obtenido de [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0002112](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0002112)

- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2023). Boletín Situacional Cultivo de Limón 2022
- Morillo, K. (2025). *Evaluación de variables fisicoquímicas del fruto de limón: peso, diámetro y grados Brix por cosecha*. Universidad Técnica del Norte. Obtenido de <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/352/2/03%20AGI%20206%20ARTICULO%20CIENTIFICO.pdf>
- Niaz, S. &. (2022). *Biological methods for pests and diseases control in agricultural plants* . Obtenido de <https://doi.org/10.1063/5.0070487>
- Nehal, A., Khan, R. y Zaman, Q. (2024). Riego con aguas residuales a base de melaza: ¿un amigo o enemigo para el crecimiento, el rendimiento y la calidad nutricional de la zanahoria (*Daucus carota* L.). *BMC Plant Biology*. https://www.researchgate.net/publication/323545347_Estimation_of_Vitamin_C_in_Carrot_Before_Cooking_and_After_Cooking
- Nijabat, A., Mubashir, M., Mahmood, M., Rehman, U., Manzer H. Siddiqui, Alamri, S., Nugroho, P., Kotroczo, Z., Prettl, N. y Juhos, N. (2023). El efecto de la aplicación de la melaza en el cultivo de maíz.
- Norma Técnica Ecuatoriana. NTE INEN. (2016). Frutas Frescas-Limón-Requisitos. Obtenido de [file:///C:/Users/ASUS%20A12/Downloads/NTE%20INEN%201757%20Segunda%20revisi%C3%B3n%20-%20PDF%20Free%20Download%20\(3\).pdf](file:///C:/Users/ASUS%20A12/Downloads/NTE%20INEN%201757%20Segunda%20revisi%C3%B3n%20-%20PDF%20Free%20Download%20(3).pdf)
- Pyakurell, A., Dahall, R. y Rijal, S. (2019). Efecto de la melaza y el fertilizante orgánico.
- Otero, L. &. (2024). *Nuevos sistemas de alta producción de cítricos bajo malla ACTIVIDAD: Componente 2. Evaluación de la productividad, calidad de la fruta y cualidades de postcosecha. Productividad y Calidad de fruta*. Obtenido de <https://hdl.handle.net/20.500.12381/3611>

- Pincay. (2021). *Renovación de cultivo de limón de la asociación de producción agrícola y citricultores 1° de Mayo Asopacima, en la comuna Barcelona, provincia de Santa Elena*. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6295>
- Pinto, F., Retamal, J., López Maria, Zapata, N., Retamales, R., & Palma, D. (2022). *Variación de parámetros físico-químicos y compuestos fenólicos en frutos de cuatro clones de Calafate*. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/agronomy12092146>
- Parađiković N., Teklić T., Zeljković S., Lisjak M., Špoljarević M., (2019). Investigación de bioestimulantes en algunas especies de plantas hortícolas: una revisión. *Food Energy Secur.*, 8: e00162
- Quaggio, J. A., Mattos, D., & Cantarella, H. (2011). Fruit yield and quality of sweet oranges affected by nitrogen, phosphorus and potassium fertilization. *Scientia Horticulturae*, 130(3), 418–425. Obtenido de <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2011.07.010>
- Ríos, D., Torres, R., & Moncada, J. (1986). Valor nutritivo y comercial de frutas cítricas en diferentes zonas de Colombia. *Revista Agricultura Tropical*, 24(9), 520–528.
- Ratnadass, A. F. (2021). *Synergies and tradeoffs in natural regulation of crop pests and diseases under plant species diversification*. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0261219421001289>
- Rojas, M. &. (2022). *Factibilidad del uso de técnicas y procesos de la agricultura orgánica para el manejo y mantenimiento fitosanitario del cultivo de limón común en la finca Cerco de Piedra en el municipio de Villa vieja Huila*. Obtenido de <https://doi.org/10.25054/22161325.3591>

- Romero, E. García, A. Velázquez, R. y Arenas, F. (2020). Determinación de la Calidad de los Frutos Cítricos en Laboratorio. Instituto Andaluz de Investigación y Formación RAgraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica.
- Salas, A. &. (2023). *Análisis de la competitividad de la producción de cítricos en el cantón de Acosta: estrategia para su mejoramiento*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/11056/26167>
- Sedat. (2023). *The policy analysis matrix with profit-efficient data: evaluating the profitability of lemon cultivation in Turkey*. Obtenido de <https://doi.org/10.1590/0103-8478cr20220518>
- Sharma, T. &. (2022). *Technological Advancements in Automated Crop Pest and Disease Detection: A Review & Ongoing Research*. Obtenido de <https://doi.org/10.1109/IC3SIS54991.2022.9885605>
- Santana, A. (2020). *Efecto de cuatro láminas de riego en la Producción de limón sutil (citrus aurantifolia) en El sector de la ponga, parroquia colonche, Provincia de santa elena*. [Trabajo de titulación, Universidad Estatal Península de Santa Elena]. https://repositorio.upse.edu.ec/server/api/core/bitstreams/045af882-2e0d-4cd6-82af-52f2a882bb1b/content?utm_source
- Sornoza, C. &. (2023). *Efecto de tres frecuencias de riego en el desarrollo morfo-fenotípico en el cultivo de limón (Citrus limón) (L.) Burm. F*. Obtenido de <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/4739>
- Sanclemente, O. (2012). Efecto del uso de melaza y microorganismos eficientes sobre la tasa.
- Statista. (2021). Statista. Obtenido de Ranking de los mayores países productores de limones y limas a nivel mundial en 2019. Obtenido de <https://es.statista.com/estadisticas/613493/>
- Stavropoulos, P., Mavroeidis, A., Folina, A., Roussis, I., Kallergi, S., Karydogianni, S., . . .Kakabouki, I. (2025). Effects of plant density and fertilization on agronomic traits and

yield of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Plants*, 14(18). Obtenido de <https://doi.org/10.3390/plants14182891> principales-paises-productores-de-limonen-el-mundo/#statisticContainer

Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC (2019).

<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/institucional/home/>

Serenella, N., Pizzeghello, D., Muscolob, A., Vianello, A. (2002). Efectos fisiológicos de las sustancias húmicas en plantas superiores. *Soil Biology & Biochemistry*. 34, 15271536.

Sánchez, R., Irala, R., Fleitas, A., Fleitas, R., & Leguizamón, A. (2024). Productividad del cultivo de Naranja (*Citrus sinensis* L.) con la aplicación foliar de bioestimulante. *Revista de Investigación En Ciencias Agronómicas y Veterinarias*, vol 8.

https://repositorio.cidecuador.org/bitstream/123456789/3244/2/Articulo_06_Alfa_N23V8.html?utm

Vallejo. (2023). *Evaluación del extracto vegetal Maitenus leavis para el control de áfidos mediante endoterapia vegetal en el cultivo de limón sutil (Citrus aurantifolia)*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/39763>

Yagual. (2023). *Identificación de insectos entomófagos en el cultivo de maracuyá Passiflora edulis. F, limón Citrus aurantifolia swingle en la comuna Cerezal Bellavista – Colonche, Santa Elena*. Obtenido de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/9748>

Yzquierdo, R. L. (2021). *Fluctuación espacio-temporal de Diaphorina citri Kuwayama (Hemiptera: Liviidae) en limón Persa (Citrus latifolia) en la zona citrícola de Huimanguillo, Tabasco*. Obtenido de <https://doi.org/10.21829/azm.2021.3712374>

Zhao, Y., Chen, Y., Dai, H., Cui, J., Wang, L., & Sui, P. (2021). Effects of organic amendments on the improvement of soil nutrients and crop yield in sandy soils during a 4-year field experiment in Huang-Huai-Hai Plain, Northern China. *Agronomy*, *11*(1). Obtenido de <https://doi.org/10.3390/agronomy11010157>