UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

Efecto de la fertilización sintética sobre la diferenciación floral en limón sutil (*Citrus aurantifolia*) Sullana -2025

TESIS para optar el Título profesional de Ingeniero Agrónomo

Autor:

Bach. Ronald Alexander Zapata Imán

Tumbes, Peru
2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

Efecto de la fertilización sintética sobre la diferenciación floral en limón sutil (*Citrus aurantifolia*) Sullana -2025

Tesis aprobada en forma y estilo por:

Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete (Presidente) _____

Dr. Faustino Sanjinez Salazar (Secretario) _____

Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Vocal)_____ _____

Tumbes, Perú
2026

UNIVERSIDAD NACIONAL DE TUMBES

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

ESCUELA DE AGRONOMÍA

Efecto de la fertilización sintética sobre la diferenciación floral en limón sutil (Citrus aurantifolia) Sullana -2025

Los suscritos declaramos que la tesis es original en su contenido y forma.

Bach. Ronald Alexander Zapata Imán (Autor)

Dr. José Modesto Carrillo Sarango (Asesor)

Mg. Jenny Jeanette López Córdova (co-Asesor)

Tumbes, Peru
2026

"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PRESENCIAL

En Tumbes, a los trece días del mes de marzo de dos mil veintiséis, siendo las 11..... horas, con ...35..... minutos (11:35), de la ..MAÑANA.., de forma presencial, se reunieron en el aula 2 de la Facultad de Ciencias Agrarias, el Jurado Calificador, designado por Resolución Nº 0119-2025/UNTUMBES-VRACAD-FCA-D, **Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete** (Presidente), **Dr. Faustino Sanjinez Salazar** (Secretario), **Dr. José Modesto Carrillo Sarango** (Vocal), reconociendo en la misma resolución además, al **Dr. José Modesto Carrillo Sarango,** como **Asesor** y a la **Mg. Jenny Jeanette López Cordova,** como **Co-asesora** se procedió a evaluar, calificar y deliberar la sustentación de la tesis, **"Efecto de la fertilización sintética sobre la diferenciación floral en limón sutil (*Citrus aurantifolia*) Sullana -2025",** para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo presentado por el **Bach. Ronald Alexander Zapata Imán,** Concluida la sustentación y absueltas las preguntas, por parte del sustentante y después de la deliberación, el jurado según el artículo Nº 75 del Reglamento de Tesis para Pregrado y Posgrado de la Universidad Nacional de Tumbes, declara al: **Bach. RONALD ALEXANDER ZAPATA IMÁN,**.....APROBADO....., por .....UNANIMIDAD....., con el calificativo .....BUENO.....,

Se hace conocer al sustentante, que deberá levantar las observaciones finales hechas al informe final de tesis, que el jurado le indica.

En consecuencia, queda .....APTO..... para continuar con los trámites correspondientes a la obtención del Título Profesional de Ingeniero Agrónomo, de conformidad con lo estipulado en la Ley Universitaria Nº 30220, el Estatuto, Reglamento General, Reglamento General de Grados y Títulos y Reglamento de Tesis de la Universidad Nacional de Tumbes.

Siendo las .....12..... horas y .....50..... minutos del mismo día, se dio por concluida la ceremonia académica, procediendo a firmar el acta en presencia del público asistente.

Tumbes, 13 de marzo de 2026

Dr. Carlos Alberto Deza Navarrete DNI Nº 16532820 CODIGO ORCID 0000-0002-3324-3741 Presidente	**Dr. Faustino Sanjinez Salazar** DNI Nº 00361579 CODIGO ORCID 0000-0001-7032-8122 Secretario
Dr. José Modesto Carrillo Sarango DNI Nº 00273850 CODIGO ORCID 0000-0003-0841-3064 Vocal	

C.C. - JURADOS (03) -ASESOR Y(CO)-INTERESADO-ARCHIVO (Decanato)
S. Acad.

Ronald Alexander Zapata Imán

Efecto de la fertilización sintética sobre la diferenciación floral en limón sutil (Citrus aurantifolia) Sullana -2025

Efecto de la fertilización sintética sobre la diferenciación floral en limón sutil (Citrus aurantifolia) Sullana -2025

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::3117:634545430

Fecha de entrega

5 oct 2026, 13:20 GMT-5

Fecha de descarga

23 oct 2026, 14:43 GMT-5

Nombre del archivo

2. ARCHIVO TESIS ORIGINAL _ PARA REPOSITORIO RONALD.docx

Tamaño del archivo

7.3 MB

53 páginas

10.249 palabras

57.290 caracteres

Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

1% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Coincidencias menores (menos de 15 palabras)

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.° de alertas de integridad para revisión

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dr. José Modesto Carrillo Sarango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

Fuentes principales

1% Fuentes de Internet
0% Publicaciones
0% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Fuentes principales

Las fuentes con el mayor número de coincidencias dentro de la entrega. Las fuentes superpuestas no se mostrarán.

1 Internet
repositorio.uchile.cl <1%

2 Internet
repositorio.inia.gob.pe <1%

3 Internet
repositorio.lamolina.edu.pe <1%

4 Internet
repositorio.unc.edu.pe <1%

5 Trabajos del estudiante
Universidad Nacional de Tumbes on 2025-10-27 <1%

6 Trabajos del estudiante
ucb on 2025-01-23 <1%

Dr. José Modesto Camilo Sirango
Docente - Asesor
Código ORCID: 0000-0003-0841-3064

turnitin Página 3 de 56 - Descripción general de integridad Identificador de la entrega trn:oid:::2117:634545430

Responsables de la investigación

Tesista:

Apellidos y Nombres : Ronald Alexander Zapata Imán

E mail : ron.agro2019@gmail.com

Número Telefónico : 910625852

Asesor:

Apellidos y Nombres : José Modesto Carrillo Sarango.

Grado académico : Doctor

Código Orcid : 0000-0001-6404-7789

Institución donde labora : Universidad Nacional de Tumbes

Dirección electrónica :jcarrillos@untumbes.edu.pe

jmcs16_51@hotmail.es (personal)

Co- Asesora:

Apellidos y Nombres : Jenny Jeanette López Córdova

Grado Académico : Magister

Código Orcid : 0009-0005-7826-0392

Institución donde labora : Universidad Nacional de Frontera

Dirección electrónica : jeanettelopezc@gmail.com

AGRADECIMIENTO

Expreso mi sincero agradecimiento al Dr. José Modesto Carrillo Sarango, asesor de la presente tesis, por su orientación académica, acompañamiento constante y valiosos aportes, los cuales fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de este trabajo de investigación.

De igual manera, agradezco a la Mg. Jenny Jeanette López Córdova, Co-asesora de la investigación, por su apoyo, disposición y sugerencias oportunas, que contribuyeron significativamente a fortalecer el contenido y la calidad del estudio.

Asimismo, extiendo mi agradecimiento a los docentes de la universidad, quienes, a lo largo de mi formación profesional, compartieron sus conocimientos y experiencias, aportando de manera decisiva a mi crecimiento académico y personal.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mis padres: Timoteo Zapata Chero Y Santos Imán Castillo, por su amor, esfuerzo y apoyo incondicional a lo largo de mi formación personal y profesional. Sus valores, consejos y sacrificios fueron la base que me permitió avanzar y alcanzar esta meta.

De manera especial, dedico este logro a mi esposa: Gloria Crisanto Marcelo, por su comprensión, paciencia y apoyo constante durante toda mi formación profesional. Su acompañamiento, motivación y confianza fueron fundamentales para culminar este importante proceso académico.

INDICE GENERAL

Página.

CAPITULO I .....¡Error! Marcador no definido.

INTRODUCCIÓN 1

CAPITULO II.....¡Error! Marcador no definido.

REVISION DE LITERATURA.....1

CAPITULO III.....¡Error! Marcador no definido.

MATERIALES Y MÉTODOS.....9

3.2. METODOS. 11

3.2.1. Tipo de investigación. 11

3.2.3.Diseño de investigación 12

3.3. Fase de campo 17

CAPITULO IV 19

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....20

CAPITULO VI.....34

CONCLUSIONES.....35

CAPITULO VII. 37

RECOMENDACIONES 37

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....38

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación geopolítica del predio de investigación……21
Tabla 2. Distribución de los tratamientos y dosis de Fertilización ……...28
Tabla 3. Tratamientos vs dosis por bloques…… 28
Tabla 4. Variables en estudio en campo experimental……...31
Tabla 5. Número promedio de yemas florales inducidas por planta…… 34
Tabla 6. Análisis de varianza sobre el número de yemas florares (mm)……35
Tabla 7 Prueba de comparación múltiple de Duncan (α = 0.05) sobre inducción floral……36
Tabla 8. Tiempo de aparición de yemas florales (días) ……...38
Tabla 9. Análisis de varianza sobre aparición de yemas florales ……....39
Tabla 10. Prueba de comparación múltiple de Duncan (α = 0.05)……41
Tabla 11. Coeficiente de variación (CV %) por tratamiento y bloque……42
Tabla 12. Análisis de varianza para Uniformidad floral en Limón sutil ……..…43
Tabla 13. Prueba de Duncan para CV (%) ……..46
Tabla 14. Longitud promedio de brotes (cm) y diámetro (mm) por tratamiento bloque ……..…49
Tabla 15. ANOVA Longitud de brotes (cm) ……50
Tabla 16. ANOVA diámetro de brotes (mm)……50
Tabla 17. Comparación de tratamientos para longitud y diámetro de brotes (cm) (mm) ……51

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación del Predio Google maps…….…… 22

Figura 2. Yemas florales inducidas por fertilización sintética…… … 37

Figura 3 Tiempo de floración de limón sutil Sullana 2025…… 40

Figura 4 Uniformidad en la producción de yemas florales en limón sutil Sullana.45

Figura 5 Desarrollo morfológico en longitud y diámetro en producción de yemas florales en limón sutil Sullana 2025…… 55

Figura 6 Curva de nivel de Desarrollo morfológico en longitud y diámetro en producción de yemas florales en limón sutil Sullana 2025……55

Figura 7 Evidencias fotográficas ……... 67

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1 Número promedio de yemas florales inducidas por planta 60

Anexo 2. Número promedio de yemas florales inducidas por planta 61

Anexo 3 Uniformidad de la floración de los tratamientos de las observaciones en las yemas vegetativas del cultivo de Limón sutil 62

Anexo 4 Matriz Operacional de las Variables en Estudio 63

Anexo 5 Matriz de consistencia de la investigación 64

Anexo 6 Croquis distribución de los tratamientos de acuerdo con los factores en estudio 65

Anexo 7. Panel fotográfico 67

Anexo 8 Fichas técnicas 69

Anexo 9 Análisis de suelo 71

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de la fertilización sintética sobre la floración y el desarrollo vegetativo del limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en condiciones de campo en la ciudad de Sullana, durante el año 2025, así como determinar la dosis más adecuada para optimizar su rendimiento fisiológico. Metodológicamente, se empleó un diseño experimental en bloques, con cinco tratamientos de fertilización (control, dosis baja, media, alta y dosis media suplementada con calcio y magnesio), aplicados de manera fraccionada en tres etapas fenológicas del cultivo.

Los resultados evidenciaron que la dosis media de fertilización promovió el mayor número de yemas florales, con un promedio de 70 yemas por planta, superando a la dosis alta (61,3) y a la dosis baja y el control (23,7). En cuanto a la diferenciación floral, las plantas fertilizadas iniciaron este proceso en menor tiempo, destacando la dosis baja (38 días), seguida por la dosis alta (47 días) y la dosis media (53 días), en comparación con el control (44 días). Asimismo, la fertilización favoreció una mayor uniformidad en la floración, registrándose el menor coeficiente de variación en la dosis media (6,8 %). En relación con el crecimiento vegetativo, los tratamientos fertilizados mostraron brotes más vigorosos, siendo la dosis media la que alcanzó mayor longitud (8,37 cm) y diámetro (4,34 mm).

Se concluye que la fertilización sintética influye significativamente en la floración, uniformidad y vigor del cultivo, siendo la dosis media la más eficiente para mejorar el desempeño agronómico del limón sutil en las condiciones evaluadas.

Palabras clave: *Citrus aurantifolia*, fertilización sintética, diferenciación floral, desarrollo de brotes, uniformidad de floración.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of synthetic fertilization on flowering and vegetative development of key lime (*Citrus aurantifolia*) under field conditions in the city of Sullana during 2025, as well as to determine the most appropriate fertilization rate to optimize its physiological performance. Methodologically, a randomized block experimental design was used, consisting of five fertilization treatments (control, low, medium, high, and medium dose supplemented with calcium and magnesium), applied in a split manner across three phenological stages of the crop.

The results showed that the medium fertilization dose produced the highest number of floral buds, with an average of 70 buds per plant, surpassing the high dose (61.3) and both the low dose and control (23.7). Regarding floral differentiation, fertilized plants initiated this process earlier, with the low dose standing out (38 days), followed by the high dose (47 days) and the medium dose (53 days), compared to the control (44 days). Likewise, fertilization improved flowering uniformity, with the lowest coefficient of variation observed in the medium dose (6.8%). In terms of vegetative growth, fertilized treatments exhibited more vigorous shoots, with the medium dose reaching the greatest length (8.37 cm) and diameter (4.34 mm).

It is concluded that synthetic fertilization significantly influences flowering, uniformity, and vigor of the crop, with the medium dose being the most efficient for improving the agronomic performance of key lime under the evaluated conditions.

Keywords: *Citrus aurantifolia*, synthetic fertilization, floral differentiation, shoot development, flowering uniformity.

1. INTRODUCCIÓN

La producción global de cítricos enfrenta desafíos crecientes debido al cambio climático, la variabilidad del agua y la presión por mejorar la eficiencia en el uso de insumos. La diferenciación floral en los cítricos es una fase que influye directamente en la floración y la producción de frutos, y está afectada por factores ambientales (como la temperatura y la escasez de agua), así como por el estado nutricional de la planta.

Investigaciones recientes indican que la inducción y diferenciación floral en cítricos ocurren meses antes del brote y están influenciadas por señales ambientales y fisiológicas que interactúan con el aporte de nutrientes (Agustí et al., 2022). Asimismo, programas de nutrición que consideran macro y micronutrientes, aplicados en dosis y momentos precisos, mejoran el vigor y la respuesta productiva de los árboles de cítricos incluso bajo condiciones de estrés, lo que sugiere que la formulación y calendarización de la fertilización influyen en la diferenciación floral (Kwakye, 2023).

Según datos de la FAO, en 2023 México ocupaba el segundo lugar mundial en superficie dedicada a la siembra de frutas cítricas, con 195,619 hectáreas, solo detrás de India, que registró 327,000 hectáreas. En cuanto a la producción total, México alcanzó 2,983,802 toneladas, mientras que India registró 3,548,000 toneladas. Sin embargo, la productividad por área cultivada en México fue relativamente baja, ubicándose en el puesto 39 a nivel mundial, con 15.25 toneladas por hectárea (FAOSTAT, 2023).

Respecto a la especie *Citrus aurantifolia* (limón persa o mexicano), México lidera la producción a nivel global. Para el año 2022, este cultivo se registró en 28 entidades, abarcando un total de 199,650 hectáreas y una producción de 3,071,969.97 toneladas, siendo Michoacán el principal productor, con 54,157 hectáreas y

856,738 toneladas cosechadas (SIAP-SADER, 2023).Dada la alta demanda del cultivo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en la industria agroexportadora, este se destaca por su uso en la gastronomía, la producción de bebidas y la industria farmacéutica (Agustí, 2022). En regiones productoras como Piura, Perú, los agricultores enfrentan problemas relacionados con el desarrollo de brotes, ya que una maduración deficiente puede generar una floración irregular y afectar la productividad del cultivo (Quiroz et al., 2020).

En este contexto, el uso de fertilizantes sintéticos solubles ha sido ampliamente adoptado para mejorar la absorción de nutrientes y promover el desarrollo vegetativo de los cítricos (Marschner, 2020). No obstante, la falta de estudios específicos sobre su impacto en la maduración de brotes previos a la floración en limón sutil limita la implementación de estrategias de manejo agronómico adecuadas (Sánchez y Gómez, 2021).

En el contexto peruano, la gestión de nutrientes en cítricos enfrenta desafíos asociados al suelo (baja materia orgánica y desequilibrios iónicos) y al manejo hídrico. Estudios recientes sobre manejo y optimización productiva en limón y otros cítricos en zonas costeras han enfatizado la necesidad de ajustar la fertilización y el riego para afrontar eventos extremos como el fenómeno de El Niño, intensificado por olas de calor, y reducir las pérdidas ambientales asociadas al nitrógeno. Estos trabajos evidencian la necesidad de generar información local sobre cómo los esquemas de fertilización sintética afectan procesos reproductivos como la diferenciación floral.

En la región de Piura, especialmente en la provincia de Sullana, predomina un clima seco tropical con episodios de alta temperatura y estrés hídrico que condicionan la fenología de los cítricos. Estudios recientes sobre la dinámica de producción de limón en Piura indican que los eventos climáticos extremos alteran la salud del cultivo y que tanto indicadores remotos como de campo permiten detectar deterioro temprano. Sin embargo, aún existe una brecha de conocimiento respecto al efecto directo de distintos regímenes de fertilización sintética sobre la diferenciación floral en *Citrus aurantifolia* en estas condiciones (Meneses, 2025).

Esto justifica la realización de un estudio piloto en Sullana que integre mediciones microclimáticas, variables fisiológicas de la planta —especialmente en yemas fructíferas— y parámetros de rendimiento productivo. En ese sentido, se plantea como objetivo general evaluar el efecto de la fertilización sintética sobre la diferenciación floral en plantas de limón sutil (*Citrus aurantifolia*) en condiciones agroclimáticas de Sullana durante el año 2025.

Según González y Tulló (2021), los cítricos son plantas leñosas que pueden presentarse como arbustos o árboles de tamaño moderado, alcanzando entre cuatro y cinco metros de altura. Presentan dos secciones principales: la primera parte aérea, que comprende el tronco, las ramas, las hojas y los frutos (denominada follaje), y la segunda parte subterránea, que incluye el sistema radicular. Sus hojas son simples, de disposición alterna, con nervaduras reticuladas, de tamaño mediano y con un aroma característico; además, algunas especies presentan espinas en sus ramas.

2. REVISION DE LITERATURA

2.1. Características generales del cultivo de Limón Sutil.

El limón sutil (Citrus × aurantifolia (Christm.) Swingle), conocido también como key lime o limón criollo, es un cítrico híbrido ampliamente cultivado en zonas tropicales y subtropicales debido a su característico sabor ácido y su intenso aroma. Se trata de un árbol de porte reducido, con copa densa, hojas simples, flores blancas aromáticas y frutos pequeños, redondos y de cáscara delgada (Castañeda et al., 2023).

2.1.1. Clasificación Taxonómica Chumacero, (2018)

Reino: Plantae
División: Magnoliophyta
Clase: Magnoliopsida
Orden: Sapindales
Familia: Rutaceae
Género: Citrus
Especie: Citrus aurantifolia

2.1.2. Origen y distribución del limón sutil.

Este cítrico tiene su origen en el sudeste asiático y, con el tiempo, se ha expandido a diversas regiones tropicales y subtropicales del mundo, como América Latina, el Caribe y el sur de Estados Unidos Ladaniya, (2021). En el Perú, la principal zona de producción es la región Piura, cuyo clima cálido y seco favorece óptimamente su cultivo (Castañeda et al., 2023).

2.1.3. Características botánicas del limón sutil.

El limón sutil presenta las siguientes particularidades:

a) Raíz: Posee un sistema radicular superficial, altamente dependiente de la humedad del suelo (Rodríguez et al., 2021).

b) Tallo: Presenta ramas densamente distribuidas, con espinas cortas en los brotes jóvenes (Marschner, 2020).

c) Hojas: Son simples, de forma elíptica a ovalada, y desprenden un aroma cítrico característico debido a la presencia de aceites esenciales (Salisbury & Ross, 2024).

d) Flores: Son de color blanco, aromáticas y dispuestas en racimos, con alta capacidad de autofecundación (Taiz et al., 2022).

e) Fruto: Es una baya pequeña que pasa de verde a amarillo al madurar, rica en ácido cítrico y vitamina C (Hernández et al., 2021).

f) Desarrollo vegetativo: Consiste en el crecimiento y la diferenciación celular que conducen a la formación de nuevos órganos, como raíces, tallos y hojas. Este proceso está influido por factores internos —como las hormonas vegetales— y factores externos relacionados con la nutrición y el clima, los cuales repercuten directamente en la productividad del cultivo (Agustí, 2022).

g) Brotación: Es la aparición y el crecimiento inicial de un brote a partir de una yema, ya sea latente o activa. En cítricos, este proceso suele presentarse en ciclos, influenciados por la disponibilidad de agua y nutrientes (Ladaniya, 2023).

h) Maduración de brotes: Se refiere al momento en que los brotes completan su desarrollo, endurecen sus tejidos y se preparan para la floración o la producción continua de hojas. Una adecuada maduración es clave para lograr una floración uniforme y un buen cuajado de frutos (Rodríguez et al., 2021).

   De acuerdo con los antecedentes revisados, diversos investigadores han abordado los procesos relacionados con la inducción y diferenciación floral en cítricos. En este sentido, Taiz et al. (2022), señala que la inducción floral es el proceso fisiológico mediante el cual una yema vegetativa se transforma en una yema reproductiva; es decir, constituye el momento en que la planta inicia la floración; Este proceso está regulado internamente por hormonas, como las giberelinas y las citoquininas, y puede ser estimulado por factores externos como el fotoperiodo, la temperatura y la disponibilidad de nutrientes. Durante esta fase no se observan cambios visibles, por lo que puede revertirse si las condiciones no son adecuadas.

Por su parte, Marschner (2022), describe que la fertilización sintética soluble consiste en la aplicación de nutrientes en formas fácilmente absorbibles por las plantas. Entre los elementos esenciales para el desarrollo de brotes en el limón sutil destacan el nitrógeno, fundamental para el crecimiento vegetativo y la síntesis de proteínas; el fósforo, importante en el desarrollo radicular y la formación de brotes jóvenes; el potasio, que contribuye a la tolerancia al estrés hídrico y regula la apertura estomática; y el calcio y el magnesio, indispensables para la firmeza de los tejidos y la fotosíntesis.

Asimismo, Salisbury y Ross (2024) explican que la diferenciación floral constituye el desarrollo organizado de los primordios que darán lugar a los órganos florales, sépalos, pétalos, estambres y carpelos. A diferencia de la inducción floral, esta etapa no es reversible y puede observarse mediante lupa o microscopio en sus fases iniciales, culminando con la aparición visible de la flor.

2.1.4. Requerimientos edáficos y climáticos del limón.

Según Murillo (2021), el limón sutil requiere condiciones edáficas y climáticas específicas para su óptimo desarrollo. En cuanto a los suelos, estos deben ser profundos, con una mezcla equilibrada de arena y arcilla; sin embargo, suelos excesivamente arcillosos (más del 50 %) o con alto contenido de materia orgánica pueden afectar negativamente el sistema radicular y la calidad del fruto. Respecto al pH, los suelos ácidos (menores a 6,5) requieren la aplicación de sales de hierro, mientras que en suelos básicos se recomienda el uso de quelatos; además, un pH elevado reduce significativamente la disponibilidad de hierro y fósforo, lo que puede provocar clorosis.

En relación con la temperatura, Murillo (2021) indica que el rango óptimo oscila entre 10 y 24 °C; temperaturas superiores a 35 °C afectan el desarrollo vegetativo y aceleran la maduración, mientras que valores inferiores a 12 °C ralentizan el crecimiento. Asimismo, la latencia provocada por el frío o la sequía puede revertirse cuando mejoran las condiciones ambientales. La humedad relativa adecuada se sitúa entre 40 % y 70 %, ya que niveles elevados favorecen

la aparición de enfermedades fúngicas. En cuanto a la luz, se requiere alta luminosidad, evitando el exceso de sombra mediante prácticas como la poda. Finalmente, la precipitación ideal varía entre 400 y 1,200 mm anuales, siendo especialmente importante durante el desarrollo del fruto.

Por su parte, González et al. (2021) señalan que, para lograr una producción abundante y obtener frutos de alta calidad, es fundamental una adecuada nutrición del cultivo, la cual depende tanto de las condiciones ambientales como de las prácticas de manejo agronómico. En este sentido, la fertilización debe planificarse de manera integral, considerando no solo el tipo de nutrientes, las dosis y los momentos de aplicación, sino también factores como el suelo, la disponibilidad de agua, el clima, el estado nutricional de la planta y la calidad de los fertilizantes. La interacción de estos elementos permite optimizar el aprovechamiento de los nutrientes y mejorar la productividad del cultivo.

2.1.5. Inducción floral.

Según Carbajo et al. (2022), la inducción floral es el proceso mediante el cual una planta transita del crecimiento vegetativo a la fase reproductiva, como resultado de cambios hormonales y de la redistribución de nutrientes en el meristemo durante una etapa fenológica específica. Este proceso está regulado principalmente por factores ambientales, como las bajas temperaturas invernales y los ciclos alternantes de sequía y humedad del suelo, los cuales actúan como señales que favorecen la diferenciación de las estructuras reproductivas.

2.1.6. Efectos nutricionales de los macro y micronutrientes para limón sutil.

Según González et al. (2021), las necesidades nutricionales del limón sutil comprenden la cantidad de elementos que el cultivo requiere para el desarrollo tanto del fruto como del sistema vegetativo. Estas necesidades se estiman a partir del rendimiento por árbol, la cantidad de brotes generados y la biomasa producida durante las prácticas de manejo, como la poda. Asimismo, la disponibilidad de nutrientes se determina mediante análisis de suelo, los cuales permiten identificar los elementos disponibles y ajustar las estrategias de fertilización mediante métodos técnicamente validados.

En este contexto, Rodríguez (2022) evaluó el efecto de fertilizantes solubles en la brotación del limón sutil en Piura y concluyó que la aplicación de nitrógeno y potasio incrementa la tasa de brotación en aproximadamente un 25 %.

Por su parte, Zapata (2021) analizó el efecto del riego tecnificado y la fertilización en la maduración de brotes en el valle del Chira, determinando que el riego por goteo combinado con una fertilización balanceada promueve la formación de brotes más vigorosos y uniformes.

2.2. Fertilización sintética.

Según la FAO (2024), la fertilización sintética consiste en la aplicación al suelo o a las plantas de fertilizantes de origen industrial, diseñados específicamente para aportar nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio y diversos micronutrientes en formas altamente solubles y de rápida asimilación. Estos productos se elaboran mediante procesos fisicoquímicos que permiten regular con precisión la cantidad y calidad de los nutrientes, asegurando su disponibilidad en los momentos más críticos del crecimiento vegetal.

2.3. Nutrición mineral.

Según International Plant Nutrition Institute (2024), señala que la nutrición mineral es el proceso mediante el cual las plantas obtienen y utilizan los minerales esenciales necesarios para su crecimiento y desarrollo. Estos nutrientes —como nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y diversos micronutrientes— provienen del suelo o de soluciones nutritivas y son absorbidos principalmente a través de las raíces. Este proceso es fundamental, ya que cada elemento cumple funciones específicas, como la formación de tejidos, la fotosíntesis, la actividad enzimática, la respiración y la producción de frutos. En conjunto, estos nutrientes permiten que la planta mantenga un metabolismo activo, crezca de manera saludable y exprese su máximo potencial productivo.

2.4. Brotes vegetativos en limón

Los brotes vegetativos en limón son botones vegetales que se originan a partir de yemas activas. Estos brotes generan hojas jóvenes, tallos tiernos y nuevas ramas, siendo fundamentales para mantener la estructura, la capacidad

fotosintética y el crecimiento general del árbol. En este cultivo, los brotes suelen presentarse en distintos flujos de crecimiento, especialmente en condiciones de clima cálido.

Su desarrollo depende de factores como: la temperatura, humedad, disponibilidad de agua y nutrientes, así como de las prácticas de manejo agronómico, entre ellas la poda. Asimismo, está influenciado por el estado fisiológico y sanitario de la planta, el cual condiciona la absorción de nutrientes en forma iónica a través del suelo o mediante soluciones fertilizantes.

2.5. Factores que promueven la floración

Según Pulache (2022), antes de la floración las plantas atraviesan diversas etapas de desarrollo. Inicialmente presentan una fase juvenil de crecimiento vegetativo, seguida de una fase inductiva en la que ocurre la transición hacia el estado reproductivo. Durante esta etapa, la planta es altamente sensible a factores internos, como las hormonas y la nutrición, así como a factores externos, como el fotoperiodo, la temperatura, las prácticas culturales (poda y anillado), las aplicaciones químicas y el estrés hídrico, los cuales pueden favorecer el proceso de floración.

2.6. Antecedentes experimentales

Diversos estudios han evaluado el efecto de la fertilización en el desarrollo y la productividad de los cítricos. En este sentido, García et al. (2022) realizaron una investigación sobre el efecto de la fertilización combinada en la producción y calidad de la lima mexicana afectada por HLB en México. Los autores concluyeron que la fertilización soluble influye significativamente en la productividad de los cítricos y, además, promueve una floración más temprana mediante el uso de fertilizantes foliares.

Por su parte, López (2021) evaluó la respuesta del limón persa a la aplicación de fertilizantes solubles en Veracruz, México, mediante un ensayo de campo con diferentes dosis de fertilización nitrogenada. Los resultados evidenciaron un incremento significativo en la brotación y en el vigor de los brotes como consecuencia de la aplicación de nitrógeno.

Asimismo, Salinas (2022) analizó la fertilización foliar con micronutrientes en el hojas. desarrollo de brotes de cítricos en Perú, con el objetivo de determinar la respuesta del limón sutil a la aplicación de zinc, boro e hierro en distintas concentraciones. Los resultados mostraron un incremento significativo en la brotación y en la calidad de las

En la misma línea, García et al. (2022) determinaron que la formación de flores en limón fue superior con aplicaciones de urea (UR) y fosfonitrato (FN) al 2,3 %, combinadas con prácticas de poda. Además, los tratamientos con fertilización foliar nitrogenada favorecieron la aparición de brotes tiernos y vigorosos. En evaluaciones posteriores, las concentraciones al 4,0 % mostraron un desempeño superior al tratamiento control.

Por otro lado, Pulache (2022) reportó que la aplicación de nitrato de calcio a 10 000 ppm indujo la floración total en un periodo de tres días. Asimismo, el uso de fertilizantes balanceados como 20-20-20 permitió obtener mejores resultados en variables como el diámetro polar y ecuatorial, el peso de frutos, el rendimiento por árbol y la calidad del fruto. En general, los tratamientos evaluados superaron al control en la mayoría de los parámetros analizados.

En el ámbito productivo, FAOSTAT (2023) señala que México ocupó el segundo lugar mundial en superficie destinada al cultivo de cítricos en 2023, con 195 619 hectáreas, mientras que India lideró con 327 000 hectáreas. En términos de producción, México alcanzó 2 983 802 toneladas, mientras que India registró 3 548 000 toneladas; no obstante, la productividad por hectárea en México fue relativamente baja, ubicándose en el puesto 39 a nivel mundial, con 15,25 t/ha.

En cuanto al cultivo de *Citrus aurantifolia*, México es líder mundial en producción. Para el año 2022, este cultivo se registró en 28 estados, abarcando 199 650 hectáreas y una producción de 3 071 969,97 toneladas. Michoacán destacó como el principal productor, con 54 157 hectáreas y 856 738 toneladas (SIAP-SADER, 2023).

En relación con la fertilización, Hussein et al. (2024) señalan que esta práctica es fundamental en cultivos permanentes, ya que influye directamente en el

crecimiento de las plantas, la absorción de nutrientes y la sostenibilidad del sistema productivo. Tradicionalmente, el uso de fertilizantes químicos ha predominado debido a su rápida disponibilidad y efecto inmediato en el rendimiento (Zhang et al., 2023).

Sin embargo, su uso indiscriminado ha generado impactos negativos en el ambiente, como la contaminación del suelo y del agua por lixiviación de nitratos y fosfatos, así como la emisión de gases de efecto invernadero (Hou et al., 2021; Murcia et al., 2025). Frente a esta problemática, el uso de fertilizantes orgánicos ha cobrado relevancia debido a su capacidad para mejorar las propiedades del suelo, incrementar la actividad microbiana y reducir el impacto ambiental.

En este sentido, Ortiz et al. (2023) destacan que la combinación de fertilización orgánica e inorgánica mejora la eficiencia en el uso de nutrientes, incrementa el rendimiento y optimiza la calidad del fruto.

Resultados similares han sido reportados en cultivos como la granada (*Punica granatum* L.), donde la aplicación de micronutrientes mejora la calidad nutricional del fruto, incrementando el contenido de azúcares, antocianinas y la capacidad antioxidante (Hussein et al., 2024).

De igual manera, en cultivos como el manzano y el maracuyá, la integración de fertilización orgánica y química permite un mejor equilibrio nutricional del suelo, mejora la calidad del fruto y reduce la dependencia de insumos sintéticos (Polo et al., 2025).

Asimismo, Zhang et al. (2023) señalan que el uso de enmiendas orgánicas, como el biochar y los digestatos anaeróbicos, contribuye a mejorar la estructura del suelo, aumentar el secuestro de carbono y optimizar la disponibilidad de nutrientes (Chen et al., 2024; Ikram et al., 2024). Finalmente (Ortiz et al., 2023). Indico, que estos insumos también incrementan la tolerancia de las plantas al estrés hídrico y reducen la incidencia de enfermedades del suelo, constituyéndose como alternativas sostenibles para sistemas agrícolas a largo plazo.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de la ejecución

La presente investigación se llevó a cabo en un campo experimental del sector el Algarrobo, de propiedad del Sr. Eladio Silupu, donde se delimitó y se acondicionó la investigación específicamente para el desarrollo del estudio. Este espacio fue seleccionado con el propósito de trabajar bajo condiciones propias de un sistema productivo real, lo que permitió que las prácticas agronómicas aplicadas que reflejaron el manejo habitual del cultivo en la zona.

Las muestras evaluadas fueron recolectadas directamente de la parcela experimental, lo que garantizó que los datos obtenidos correspondieran a un entorno representativo, y no a condiciones controladas de laboratorio. Este enfoque permitió generar resultados más confiables y con mayor aplicabilidad en contextos reales de producción agrícola.

Asimismo, la recolección de la información se realizó de manera continua durante el periodo comprendido entre los meses de agosto y diciembre de 2025. Este intervalo abarcó una fase clave en el desarrollo del cultivo, lo que permitió efectuar un seguimiento detallado de su comportamiento y de su respuesta bajo las condiciones establecidas. En consecuencia, se logró una evaluación integral y precisa de las variables en estudio.

3.1.1 Ubicación Geopolítica:

Tabla 1

Ubicación geopolítica del predio de investigación

Región	Provincia	Distrito	Sector
Piura	Piura	Sullana	El Algarrobo

Nota. La tabla presenta la ubicación del sector El Algarrobo, situado en el distrito y provincia de Sullana, dentro de la región Piura, Perú.

3.1.2. Ubicación Geodésica.

Tabla 2

Ubicación en Coordenadas UTM de la investigación

Coordenadas UTM (m)				
N	E	Datum Geodésico	Zona	Altitud m.s.n.m
9465084.	553842.045	WGS 84	17 m	150.17

Nota. La tabla representa la ubicación georeferencial de la investigación.



Figura 1. Ubicación del Predio Google maps ubicado en el sector del Algarrobo, Sullana– Piura. 2025

3.2. METODOS.

3.2.1. Tipo de investigación.

Según Bernal-Torres (2020) y Creswell (2023), la investigación experimental se caracteriza por la manipulación deliberada de variables, el control de condiciones externas y la observación sistemática de los efectos producidos, con el propósito de comprobar hipótesis y explicar fenómenos de manera objetiva y replicable.

En este marco, el presente estudio se desarrolló bajo un enfoque experimental, dado que implicó la intervención directa del investigador sobre una variable independiente, con el fin de observar y analizar sus efectos en condiciones controladas. Tal como señalan Hernández-Sampieri y Mendoza (2022), este tipo de investigación permite establecer relaciones de causa–efecto, al basarse en la manipulación intencional de una variable y la medición sistemática de su impacto sobre otra.

En el desarrollo de la investigación, se aplicaron diferentes dosis de fertilizantes sintéticos solubles, las cuales fueron controladas y evaluadas de manera comparativa, con el objetivo de determinar su influencia en los procesos de inducción y diferenciación floral en plantas de limón sutil. Este enfoque permitió obtener resultados más precisos y confiables, al reducir la influencia de factores externos y facilitar un análisis objetivo de los tratamientos aplicados.

3.2.2. Nivel de investigación

Creswell (2023) y la OECD (2023) señalan que la investigación aplicada está orientada a la resolución de problemas concretos mediante la utilización sistemática de conocimientos científicos, con énfasis en la utilidad práctica de los resultados. En concordancia con ello, el presente estudio se enmarca en el nivel de investigación aplicada, ya que busca dar respuesta a una problemática específica relacionada con el manejo agronómico del cultivo de limón sutil.

De acuerdo con Hernández-Sampieri y Mendoza (2022), este tipo de investigación se caracteriza por emplear fundamentos científicos y técnicos ya

existentes para mejorar procesos, optimizar prácticas y resolver necesidades concretas en un contexto determinado. En este sentido, la investigación aplicada permite que los resultados obtenidos tengan una utilidad práctica inmediata, contribuyendo a la toma de decisiones y al perfeccionamiento de estrategias productivas.

En el presente estudio, este enfoque se evidencia en la aplicación de conocimientos agronómicos para evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilizantes sintéticos solubles sobre la inducción y diferenciación floral del limón sutil, con el propósito de optimizar el manejo del cultivo en condiciones reales de producción.

3.2.3. Diseño de investigación

Montgomery (2020) y Piepho et al. (2022) señalan que el diseño de bloques completamente al azar es un esquema experimental en el que las unidades experimentales se agrupan en bloques relativamente homogéneos, asignándose los tratamientos de forma aleatoria dentro de cada bloque. Su finalidad es controlar la variabilidad ambiental, incrementando la precisión del experimento y la validez de las conclusiones.

En concordancia con ello, el presente estudio se desarrolló bajo un diseño de Bloques Completamente al Azar (BCA), el cual resulta adecuado cuando existe variabilidad entre las unidades experimentales que puede ser controlada mediante la conformación de bloques homogéneos. Según Gómez (2021), este diseño permite reducir el efecto de factores externos no controlables, mejorando la confiabilidad de los resultados.

La investigación incluyó cinco tratamientos, correspondientes a cuatro niveles de fertilización sintética y un tratamiento control sin fertilización. Estos fueron distribuidos aleatoriamente dentro de cada bloque, y cada tratamiento contó con tres repeticiones. Esta estructura experimental permitió una adecuada estimación del error experimental y fortaleció el análisis estadístico de los efectos de la fertilización sobre la diferenciación floral del limón sutil.

3.2.4. Población y muestra.

La población del estudio estuvo conformada por 472 plantas de limón sutil (*Citrus aurantifolia*), establecidas a una densidad aproximada de 236 plantas por hectárea en un área total de 2 hectáreas. Las plantas presentaban edades comprendidas entre 4 y 5 años y se encontraban en una fase vegetativa avanzada, condición adecuada para la aplicación y evaluación de tratamientos de fertilización sintética.

En cuanto a la muestra, se seleccionaron de manera representativa 5 plantas por cada tratamiento, lo que permitió conformar un total de 45 unidades experimentales. Estas fueron distribuidas de acuerdo con los factores y tratamientos establecidos en el diseño experimental, garantizando así la representatividad y confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.2.5. Procesamiento y análisis estadístico

Los datos fueron recolectados directamente en campo mediante observaciones sistemáticas, en función de los objetivos específicos planteados en la investigación. Posteriormente, la información fue organizada, tabulada y procesada utilizando el programa Microsoft Excel, lo que permitió estructurar adecuadamente la base de datos para su análisis.

Para la evaluación estadística, se aplicó el análisis de varianza (ANOVA), acompañado de la prueba de comparación múltiple de Duncan al 5 % de nivel de significancia, empleando el software Python como herramienta de procesamiento. Este enfoque permitió identificar diferencias significativas entre tratamientos de manera objetiva y confiable.

Finalmente, los resultados obtenidos se presentan de forma clara y ordenada mediante tablas y figuras, las cuales se detallan en el apartado correspondiente.

3.2.7. Conducción del experimento

a). **Fase de campo en el lugar de ejecución**

La metodología del estudio fue planteada de manera ordenada y coherente, con el propósito de evaluar el efecto de diferentes dosis de fertilización sintética soluble sobre la diferenciación floral del limón sutil (*Citrus aurantifolia*), considerando tanto variables reproductivas como morfológicas.

El trabajo se desarrolló en condiciones de campo, lo que permitió analizar el comportamiento del cultivo en un entorno real de producción. Para ello, se utilizó un diseño experimental adecuado que facilitó la comparación entre los tratamientos establecidos, en función de los objetivos planteados.

La investigación se llevó a cabo en el fundo agrícola del Sr. Eladio Silupu, ubicado en el distrito y provincia de Sullana, región Piura, Perú. Esta zona presenta condiciones climáticas características del valle, con una temperatura media anual cercana a 27 °C, una humedad relativa entre 70 % y 80 %, y suelos de textura franco-arenosa, factores que favorecen el crecimiento y desarrollo del cultivo.

En cuanto al material vegetal, se trabajó con plantas de *Citrus aurantifolia* de entre 4 y 5 años, en etapa de preproducción, condición adecuada para evaluar los procesos de inducción y diferenciación floral. Asimismo, las plantas estaban establecidas con un distanciamiento de 6 m × 7 m, lo que permitió un desarrollo uniforme y facilitó la correcta aplicación de los tratamientos.

b) Aplicación de tratamientos de fertilización

Con el objetivo de determinar el efecto de diferentes dosis de fertilizantes sintéticos solubles sobre la inducción floral, se evaluaron cinco tratamientos: cuatro niveles de fertilización y un tratamiento control sin fertilización, tal como se detalla en la Tabla 3.

Los tratamientos fueron aplicados de manera uniforme y controlada, respetando las dosis establecidas para cada uno, a fin de garantizar la validez de la comparación entre ellos.

c). Evaluación del número de yemas florales inducidas

Para cuantificar el efecto de las dosis de fertilización sobre la inducción floral, se realizó el conteo del número de yemas florales por planta, considerando únicamente aquellas estructuras claramente diferenciadas.

Las evaluaciones se llevaron a cabo en fechas previamente establecidas, asegurando uniformidad en la toma de datos entre los distintos tratamientos.

d) Determinación del tiempo de aparición de estructuras florales

Con el fin de comparar la precocidad de la floración entre los tratamientos, se efectuó un seguimiento periódico desde la aplicación de los fertilizantes hasta la aparición visible de las primeras estructuras florales.

El tiempo fue registrado en días, lo que permitió identificar diferencias en la velocidad de respuesta del cultivo asociadas a cada nivel de fertilización.

e) Evaluación de la uniformidad de la floración

La uniformidad de la floración se evaluó mediante el análisis de la variabilidad en la aparición de flores, utilizando el coeficiente de variación como indicador estadístico.

Este procedimiento permitió determinar el grado de sincronización floral entre las plantas de cada tratamiento, aspecto fundamental para lograr una producción homogénea.

f) Análisis del desarrollo morfológico de los brotes

Finalmente, para analizar la relación entre la fertilización y el desarrollo morfológico de los brotes previo a la floración, se midieron parámetros como la longitud y el diámetro de los brotes, empleando instrumentos de medición adecuados.

Estas evaluaciones permitieron establecer cómo los distintos niveles de fertilización influyeron en el vigor y la estructura de los brotes, factores directamente relacionados con la capacidad de floración del cultivo. Los resultados obtenidos se presentan en las Tablas 3, 4 y 5 anexas.

Tabla 3

Distribución de los tratamientos y dosis de fertilización sintética

Tratamiento	Dosis (g/planta) N–P–K	Observación
T0	0–0–0	Control (sin fertilización)
T1	50–30–30	Baja dosis
T2	100–60–60	Dosis media
T3	150–90–90	Dosis alta
T4	100–60–60 Ca + mg	Dosis media + micronutrientes

Nota. Los tratamientos corresponden a diferentes niveles de fertilización sintética expresados en gramos por planta de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). El tratamiento T0 representa el control sin aplicación de fertilizantes, mientras que T1, T2 y T3 corresponden a dosis creciente. El tratamiento T4 incluye, además de la dosis media, la adición de calcio (Ca) y magnesio (Mg) como micronutrientes

Tabla 4

Tratamiento vs. Dosis de aplicación

Tratamiento	Entrega 1	Argumento 2	Argumento 3	Trama 4	Trama 5
Bloque 1	T3 (Alta)	T0 (Control)	T1 (Baja)	T4 (Media+Micro)	T2 (Medios)
Bloque 2	T2 (Medios)	T1 (Baja)	T3 (Alta)	T0 (Control)	T4 (Media+Micro)
Bloque 3	T4 (Media+Micro)	T2 (Medios)	T0 (Control)	T1 (Baja)	T3 (Alta)

- La fertilización se aplicó de forma fraccionada en tres momentos: inicio de brotación, prefloración y floración incipiente.

- El método de aplicación fue por cilindro de 200 lts.

3.2.8. Variables para la evaluación en campo experimental

Tabla 5

Variables en estudio en campo experimental

Variable	Tipo	Método de evaluación
Número de yemas florales inducidas	Cuantitativa	Conteo directo en ramas marcadas
Tiempo de aparición de estructuras florales (días)	Cuantitativa	Registro diario tras la aplicación
Uniformidad de floración	Cualitativa	Escala visual y porcentaje por planta
Desarrollo morfológico de brotes (longitud, grosor)	Cuantitativa	Regla milimétrica y calibrador

3.3. Fase de campo

El experimento se desarrolló en condiciones de campo durante el periodo comprendido entre los meses de septiembre y diciembre del año 2025, con una duración aproximada de 90 a 100 días. Este intervalo abarcó desde el inicio de la brotación vegetativa hasta la aparición y desarrollo de la floración, tiempo considerado suficiente para evaluar de manera integral los efectos de la fertilización aplicada sobre la diferenciación floral del cultivo.

3.4. Fase de gabinete

Para el desarrollo del estudio, se utilizaron plantas de *Citrus aurantifolia* en etapa de crecimiento vegetativo, con edades comprendidas entre cuatro y cinco años, las cuales fueron seleccionadas en función de su uniformidad y adecuado estado fisiológico.

Asimismo, se emplearon fertilizantes sintéticos solubles, aplicados en tres niveles de dosificación: baja, media y alta, con el propósito de evaluar su efecto sobre el desarrollo del cultivo.

En cuanto a los instrumentos de medición, un calibrador para la medición del crecimiento de los brotes. Además, se emplearon sustratos y soluciones nutritivas adecuadas para el manejo experimental de las plantas.

El registro y análisis de la información se realizó mediante formatos de recolección de datos y el uso de software estadístico, lo que permitió un procesamiento ordenado, preciso y confiable de los resultados obtenidos.

3.5. Procesamiento de datos

La información recolectada durante el estudio fue organizada y sistematizada en matrices elaboradas en Microsoft Excel, donde cada planta y cada tratamiento fueron debidamente codificados. Este procedimiento permitió un manejo estructurado de los datos, facilitando su revisión, análisis posterior y la correcta interpretación de los resultados.

3.6. Análisis estadístico

Para el análisis de los datos obtenidos, se emplearon procedimientos estadísticos acordes con el diseño experimental del estudio. En primer lugar, se realizó un análisis de varianza (ANVA), con el objetivo de determinar la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados, tal como lo recomiendan Hernández-Sampieri y Mendoza (2022) para estudios experimentales.

Posteriormente, cuando el ANVA evidenció diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Duncan, con un nivel de confianza del 95 %. Este procedimiento permitió identificar y contrastar de manera precisa las diferencias entre los tratamientos, facilitando una interpretación más rigurosa de los resultados.

3.7. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de la información se realizó mediante la técnica de observación sistemática, la cual permitió registrar de manera ordenada y objetiva los cambios ocurridos durante el desarrollo del estudio. Según Bernal-Torres

(2020), esta técnica resulta fundamental en investigaciones experimentales, ya que posibilita la obtención de datos directos en condiciones reales.

Para documentar la evolución de las unidades experimentales, se emplearon registros fotográficos y una guía de análisis documental, lo que facilitó una descripción detallada y precisa de los resultados.

Los datos fueron recolectados de forma individual para cada unidad experimental, considerando el tratamiento aplicado, la repetición correspondiente y las fechas específicas de evaluación. Para ello, se utilizaron formatos de registro diseñados en función de cada variable de estudio, lo que aseguró la consistencia, trazabilidad y confiabilidad de la información obtenida.

Asimismo, el procesamiento y análisis de los datos experimentales se sustentó en el análisis de varianza (ANVA) y, cuando se detectaron diferencias significativas, en la aplicación de la prueba de comparación múltiple de Duncan. Este enfoque permitió interpretar de manera objetiva y confiable los efectos de los tratamientos evaluados.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Número de yemas florales inducidas según dosis de fertilización

En el Anexo 1 se presenta la cantidad promedio de yemas florales por planta en los diferentes tratamientos evaluados. El tratamiento control (T0), sin aplicación de fertilizantes, registró un promedio bajo de 23,7 yemas por planta. Los valores obtenidos entre bloques fueron similares, lo que evidencia una limitada capacidad de inducción floral bajo condiciones de fertilidad natural del suelo.

En el tratamiento T1 (50–30–30), se observó un incremento notable, alcanzando un promedio de 40,0 yemas, lo que sugiere que la fertilización contribuye positivamente a la diferenciación floral. Por su parte, el tratamiento T2 (100–60–60) presentó un mejor desempeño, con un promedio de 61,3 yemas, reflejando una respuesta más estable del cultivo. En el tratamiento T3 (150–90–90), el promedio fue de 48,3 yemas; sin embargo, este valor no superó a los tratamientos anteriores, lo que indica que un incremento excesivo en la dosis no necesariamente mejora la respuesta floral.

Finalmente, el tratamiento T4 (100–60–60 + Ca + Mg) registró el promedio más alto, con 70,0 yemas por planta, evidenciando que la incorporación de calcio y magnesio favorece significativamente la inducción floral en el cultivo.

De acuerdo con los resultados del análisis de varianza (ANVA) presentados en la Tabla 6, el valor de F calculado (45,3) fue mayor que el valor de F crítico (3,84), lo que indica la existencia de diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos al 5 % de probabilidad, tal como señalan Hernández-Sampieri y Mendoza (2022) para este tipo de análisis.

En cuanto al efecto de los bloques, no se observaron diferencias significativas (1,02 < 4,46), lo que evidencia una adecuada homogeneidad experimental.

Asimismo, el coeficiente de variación fue de 9,35 %, valor que indica una buena precisión experimental, al encontrarse por debajo del 10 %.

Por otro lado, la prueba de comparación múltiple de Duncan (Tabla 7) permitió identificar que el tratamiento T4 (100–60–60 + Ca + Mg) presentó el mayor promedio, superando estadísticamente a los demás tratamientos. Este resultado confirma que la combinación de macronutrientes con calcio y magnesio contribuye a una mayor inducción floral en comparación con los demás niveles de fertilización evaluados.

Tabla 6

Análisis de varianza sobre el número de yemas florares

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calculado	F crítico (0.05)
Tratamientos	4	3750.4	937.6	**45.3**	3.84 **
Bloques	2	42.1	21.1	1.02	4.46 NS
Error	8	165.5	20.7		
Total	14	3958.0			

CV = 9.35 %, lo que indica alta precisión experimental (menor a 10 %).

Nota. GL = *grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; F = estadístico de Fisher*

Tabla 7

Prueba de comparación múltiple de Duncan (α = 0.05) sobre inducción floral

Tratamiento	Promedio de yemas	Duncan 5%
T4 (100–60–60 Ca + Mg)	70.0	a
T2 (100–60–60)	61.3	b
T3 (150–90–90)	48.3	c
T1 (50–30–30)	40.0	d
T0 (0–0–0)	23.7	e

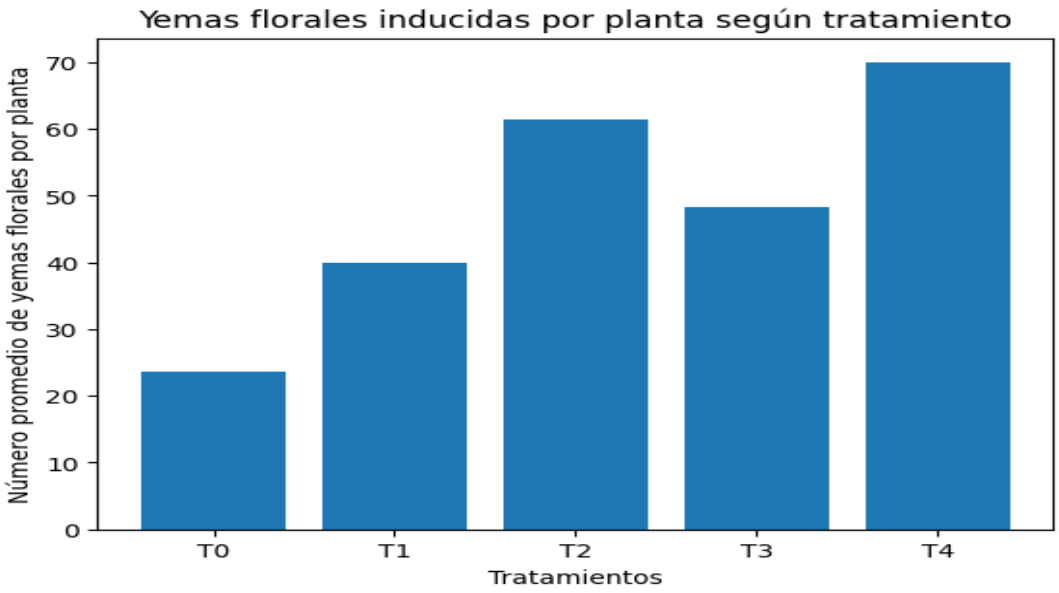


Figura 2. *Yemas florales inducidas por fertilización sintética*.

4.2. Tiempo de aparición de estructuras florales (días)

En la Tabla 8 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA), donde se confirma que existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados. El valor de F calculado (36,4) superó ampliamente al valor de F crítico (3,84) al 5 % de nivel de significancia, lo que indica que la fertilización aplicada influyó de manera determinante en el tiempo de aparición de las estructuras florales, tal como lo señalan Hernández-Sampieri y Mendoza (2022) en la interpretación de este tipo de análisis.

En cuanto al efecto de los bloques, no se evidenciaron diferencias significativas ($F = 1,04 < 4,46$), lo que demuestra una adecuada homogeneidad experimental. Asimismo, el bajo valor del cuadrado medio del error (2,98) y el coeficiente de variación de 2,7 % reflejan una reducida variabilidad y una alta precisión en los resultados obtenidos.

En términos agronómicos, se observa que el tiempo de aparición de las flores en el limón sutil estuvo directamente influenciado por el nivel de fertilización aplicado. De acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Duncan (Tabla 9), el tratamiento sin fertilización (T0) presentó la floración más tardía, con un

promedio de 53 días, lo que confirma que la ausencia de nutrientes retrasa el desarrollo floral.

Por su parte, el tratamiento T1 (dosis baja) redujo ligeramente este tiempo a 47 días, evidenciando un efecto positivo inicial de la fertilización. El tratamiento T2 (dosis media) mostró una respuesta más eficiente, adelantando la floración a 41 días, lo que sugiere que una nutrición equilibrada favorece la diferenciación floral.

En contraste, el tratamiento T3 (dosis alta) registró un promedio de 44 días, lo que indica que un exceso de nutrientes puede priorizar el crecimiento vegetativo sobre la floración. Finalmente, el tratamiento T4 (dosis media complementada con calcio y magnesio) presentó el mejor desempeño, logrando la aparición más temprana de estructuras florales, con un promedio de 38 días.

Estos resultados evidencian que una fertilización balanceada, complementada con nutrientes secundarios, no solo incrementa la inducción floral, sino que también acelera el proceso de floración, optimizando el desarrollo fenológico del cultivo, tal como se aprecia en la Figura 3.

Tabla 8

Análisis de varianza sobre tiempo de aparición de yemas florales

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calculado	F crítico (0.05)
Tratamientos	4	432.8	108.2	**36.4**	3.84 **
Bloques	2	6.2	3.1	1.04	4.46 NS
Error	8	23.8	2.98		
Total	14	462.8			

CV=2.7%

Nota. Medias seguidas por letras diferentes presentan diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de Duncan (α = 0.05).

Tabla 9

Prueba de comparación múltiple de Duncan (α = 0.05)

Tratamiento	Promedio (días)	Duncan
T4 (100–60–60 Ca + Mg)	38.0	e
T2 (100–60–60)	41.0	d
T3 (150–90–90)	44.0	c
T1 (50–30–30)	47.0	b
T0 (0–0–0)	53.0	a

Nota. Las pruebas de comparación de variables se realizaron mediante prueba de Duncan al 0.05%

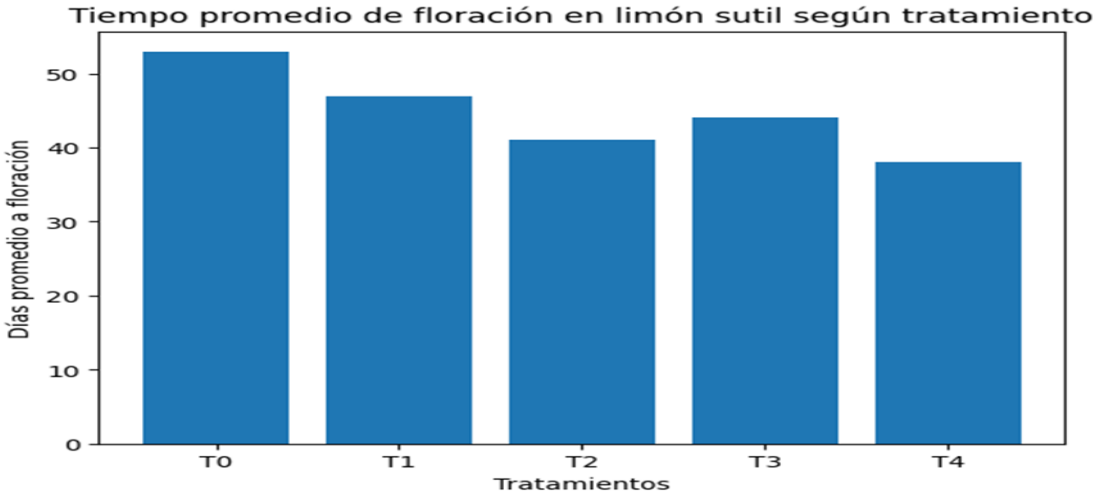


Figura 3 *Tiempo promedio de aparición de yemas florales de limón sutil Sullana 2025*.

4.3. Evaluación del grado de uniformidad en la floración (%)

En la Tabla 10 se presentan los resultados del análisis de varianza (ANVA), donde se evidencia que los tratamientos de fertilización influyeron significativamente en la uniformidad de la floración. El valor de F calculado para tratamientos (39,2) fue considerablemente mayor que el valor de F crítico (3,84) al 5 % de nivel de significancia, lo que confirma que las diferencias observadas responden al efecto de las dosis aplicadas y no al azar, tal como lo señalan Hernández-Sampieri y Mendoza (2022).

En contraste, los bloques no mostraron diferencias significativas (F = 0,28 < 4,46),

lo que indica que las condiciones experimentales fueron homogéneas y no influyeron en los resultados obtenidos. Asimismo, el coeficiente de variación (CV = 7,84 %) refleja una variabilidad baja a moderada, lo que evidencia una adecuada precisión y confiabilidad de los datos.

Por su parte, la prueba de comparación múltiple de Duncan (Tabla 11) permitió identificar diferencias específicas entre los tratamientos. El tratamiento T4 (100–60–60 + Ca + Mg) presentó el menor coeficiente de variación medio (2,0 %) y se ubicó en el grupo estadístico inferior (e), lo que indica la mayor uniformidad en la producción de brotes florales.

Le siguieron los tratamientos T2 (2,5 %) y T3 (3,2 %), que también mostraron un comportamiento favorable. En cambio, el tratamiento T1 (5,1 %) y el tratamiento control T0 (6,8 %) presentaron menor uniformidad, siendo este último el de menor desempeño.

En conjunto, estos resultados confirman que una fertilización balanceada, especialmente cuando se complementa con calcio y magnesio, mejora significativamente la uniformidad en la producción de yemas florales. Esta tendencia se aprecia de manera clara en la Figura 4, donde se observa que los tratamientos con mejor nutrición generan una floración más homogénea en el cultivo.

Tabla 10

Análisis de varianza para grado Uniformidad floral en Limón sutil (Citrus aurantifolia)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calculado	F crítico (0.05)
Tratamientos	4	88.1	22.03	39.2	3.84 **
Bloques	2	3.2	1.60	0.28	4.46 NS
Error	8	4.5	0.56		
Total	14	95.8			

CV= 7.84%

Nota. El análisis de varianza se realizo para medir el grado de uniformidad de las variables en estudio.

Tabla 11

Prueba de Duncan para uniformidad de los brotes florales.

Trat.	CV de medios (%)	P. Duncan
T4 (100–60–60 Ca · Mg)	2.0	e
T2 (100–60–60)	2.5	d
T3 (150–90–90)	3.2	c
T1 (50–30–30)	5.1	b
T0 (0–0–0)	6.8	a

Nota. Según prueba de Duncan 5% para uniformidad de las variables en estudio..

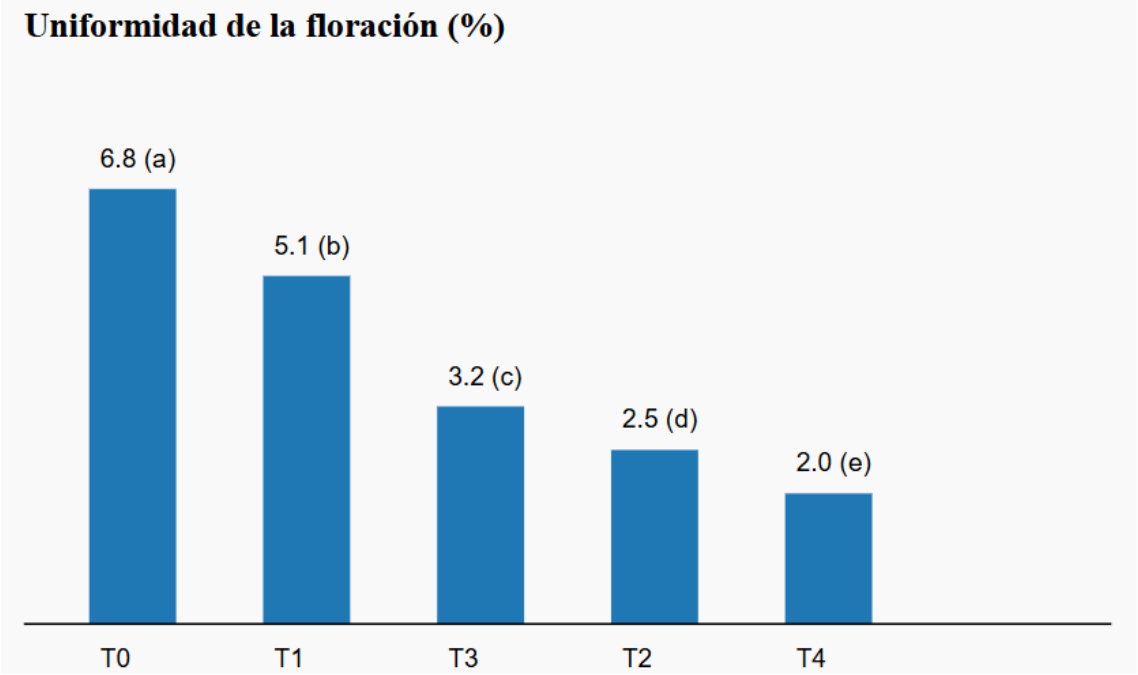


Figura 4 Uniformidad en la producción de yemas florales en limón sutil Sullana - 2025.

4.4. Longitud y diámetro promedio de brotes por tratamiento

En la Tabla 12 se presentan los resultados correspondientes a la longitud y el diámetro promedio de los brotes en función de los tratamientos evaluados. En términos generales, se observa una tendencia clara: a mayor nivel y equilibrio en la fertilización, mayor desarrollo vegetativo de los brotes, tanto en longitud como en diámetro.

En este sentido, el tratamiento T0 (control), sin aplicación de fertilizantes, registró los valores más bajos, con una longitud promedio de 4,63 cm y un diámetro de 3,03 mm, lo que evidencia que la ausencia de fertilización limita significativamente el crecimiento vegetativo.

Por el contrario, el tratamiento T4 (100N–60P–30Ca + 30Mg) alcanzó los valores más altos, con una longitud promedio de 9,1 cm y un diámetro de 4,43 mm. Este resultado pone de manifiesto que una fertilización balanceada, complementada con calcio y magnesio, favorece significativamente el vigor y desarrollo de los brotes. De manera similar, el tratamiento T2 (100N–60P–60K) mostró un crecimiento destacado, posicionándose como el segundo mejor en ambas variables, lo cual confirma que dosis intermedias bien equilibradas estimulan eficientemente el crecimiento vegetativo.

En consecuencia, los resultados evidencian una relación directa entre la fertilización y el desarrollo de los brotes, ya que todos los tratamientos fertilizados superaron ampliamente al control.

Desde el punto de vista estadístico, el análisis de varianza (ANVA) para la longitud de brotes indica diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), dado que el valor de F calculado (72,5) fue considerablemente mayor que el valor de F crítico (3,84). Esto confirma que la fertilización influye de manera determinante en el crecimiento longitudinal de los brotes. En contraste, los bloques no presentaron diferencias significativas ($F = 3,1 < 4,46$), lo que demuestra que la variabilidad experimental fue mínima y que el efecto observado se atribuye principalmente a los tratamientos aplicados.

De igual manera, en el análisis de varianza para el diámetro de brotes (Tabla 14), se evidenciaron diferencias altamente significativas entre tratamientos ($F = 85,7 > 3,84$), lo que confirma que la fertilización también influye directamente en el engrosamiento de los brotes. Nuevamente, los bloques no resultaron significativos ($F = 1,87 < 4,46$), reafirmando la homogeneidad experimental.

Por otra parte, la prueba de comparación múltiple de Duncan (Tabla 15) permitió establecer un orden jerárquico en la respuesta de los tratamientos. Tanto para longitud como para diámetro, el tratamiento T4 se ubicó en el grupo estadístico “a”, evidenciando el mayor desarrollo vegetativo. Le siguió el tratamiento T2 (grupo “b”), con un desempeño intermedio-alto; posteriormente, el tratamiento T3 (grupo “c”) mostró un desarrollo moderado; el tratamiento T1 (grupo “d”) presentó un crecimiento limitado; y, finalmente, el tratamiento T0 (grupo “e”) registró el menor desarrollo.

Cabe destacar que cada tratamiento se ubicó en un grupo estadístico diferente, lo que confirma que todas las dosis de fertilización generaron respuestas significativamente distintas entre sí. Estos resultados se encuentran respaldados visualmente en las Figuras 5 y 6, donde se aprecia de manera clara la superioridad de los tratamientos con fertilización balanceada.

Tabla 12

Longitud promedio de brotes (cm) y diámetro (mm) por tratamiento y bloque

Tratamiento	Longitud Bloque I	Longitud Bloque II	Longitud Bloque III	Media Longitud (cm)	Diámetro Bloque I	Diámetro Bloque II	Diámetro Bloque III	Media Diámetro (mm)
T0 (0–0–0) Control	4.5	4.8	4.6	4.63	3.0	3.1	3.0	3.03
T1 (50N–30K–30P) Baja dosis	6.0	5.8	6.2	6.0	3.5	3.6	3.5	3.53
T2 (100N–60K–60P) Dosis media	8.5	8.2	8.4	8.37	4.2	4.3	4.2	4.23
T3 (150K–90K–90P) Dosis alta	7.8	7.5	7.6	7.63	4.0	4.1	4.0	4.03
T4 (100N–60P–30 Ca + 30Mg)	9.0	9.2	9.1	9.1	4.4	4.5	4.4	4.43

Nota. La fertilización aumenta significativamente la longitud y diámetro de los brotes. T4 y T2 presentan los brotes más desarrollados, mientras que el control T0 tiene los más pequeños.

Tabla 13

ANVA longitud de brotes (cm)

Fuente de variación	GL	SC	CM	Cálculo F	F c (0,05)	Significancia
Tratamientos	4	112.4	28.1	72.5	3.84	**
Bloques	2	2.4	1.2	3.1	4.46	N.S
Error	8	3.1	0.39			
Total	14	117.9				

CV. 3.2%

Nota. En la tabla 13 hubo diferencias altamente significativas entre tratamientos ($p < 0.01$), sin efecto significativo de bloques (Ns). El CV (3.2 %) indica alta precisión experimental.

Tabla 14

ANVA diámetro de brotes (mm)

Fuente de variación	GL	SC	CM	F calculado	F crítico (0.05)	Significancia
Tratamientos	4	18.3	4.58	85.7	3.84	**
Bloques	2	0.2	0.10	1.87	4.46	**N.S**
Error	8	0.43	0.054			
Total	14	18.93				

CV=3.6%

Nota. grados de libertad; SC = suma de cuadrados; CM = cuadrado medio; F = estadístico de Fisher. Los tratamientos presentaron diferencias altamente significativas ($p < 0.01$), mientras que los bloques no mostraron efecto significativo (N.S). El coeficiente de variación (CV = 3.6 %) refleja alta confiabilidad y precisión en los datos experimentales.

Tabla 15 *Comparación de tratamientos para longitud y diámetro de brotes (cm) (mm)*

Tratamiento	Media Longitud (cm)	Duncan	Media Diámetro (mm)	Duncan
T4	9.1	a	4.43	a
T2	8.37	b	4.23	b
T3	7.63	c	4.03	c
T1	6.0	d	3.53	d
T0	4.63	e	3.03	e

Nota. Medias seguidas por letras diferentes en cada columna indican diferencias significativas entre tratamientos según la prueba de comparación múltiple de Duncan (α = 0.05). El tratamiento T4 (dosis media suplementada con Ca y Mg) presentó los mayores valores tanto en longitud como en diámetro de brotes, evidenciando un mejor desarrollo vegetativo.

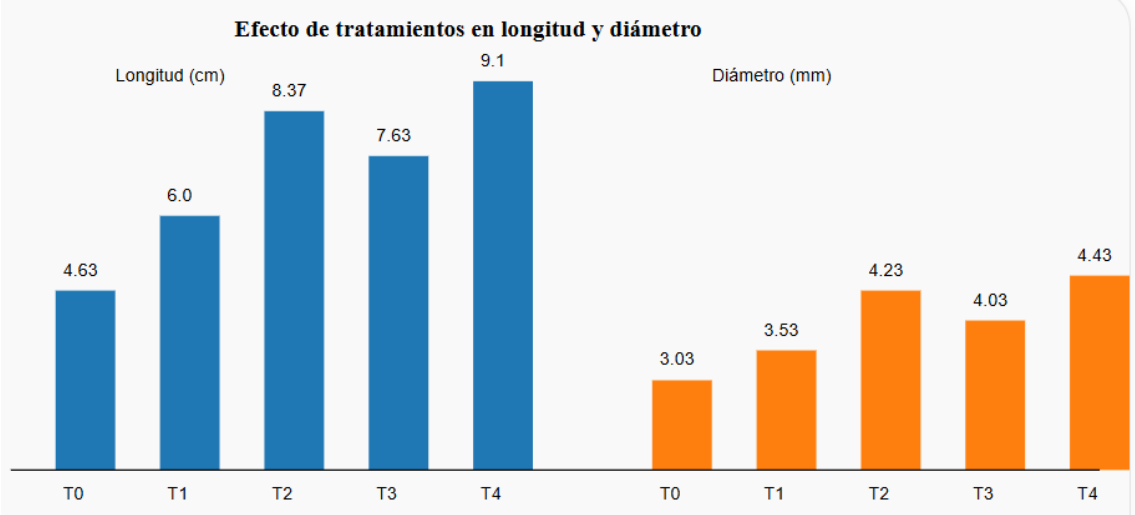


Figura 5 *Desarrollo morfológico en longitud y diámetro en producción de yemas florales en limón sutil Sullana 2025.*

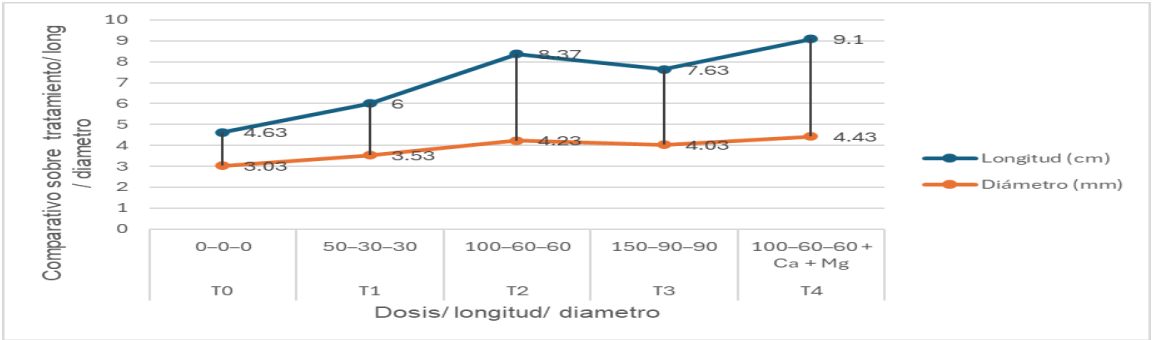


Figura 6 Curva de nivel de Desarrollo morfológico en longitud y diámetro en producción de yemas florales en limón sutil Sullana 2025**.**

Para la discusión de los resultados: Se puede determinar que el número de yemas florales inducidas, los resultados del presente estudio evidenciaron que la fertilización sintética soluble influyó significativamente en la inducción floral del limón sutil (*Citrus aurantifolia*), incrementando de manera progresiva el número de yemas a medida que se optimizó el balance nutricional. En este contexto, el tratamiento T4 (100–60–60 + Ca + Mg) alcanzó el mayor promedio de yemas florales, superando estadísticamente al resto de los tratamientos. Estos hallazgos son consistentes con lo reportado por Rodríguez (2022), quien observó que la aplicación de nitrógeno y potasio incrementa la brotación hasta en un 25 %, lo que demuestra que el suministro equilibrado de macronutrientes estimula la actividad meristemática. De manera similar, López (2021) señala que la fertilización nitrogenada mejora el vigor y la emisión de brotes en cítricos. En este sentido, el mejor desempeño del tratamiento T4 sugiere que no solo el aporte de NPK es determinante, sino también la inclusión de calcio y magnesio, elementos asociados a la estabilidad estructural celular y al proceso fotosintético, tal como lo indican García et al. (2022).

Estos resultados confirman que una nutrición balanceada favorece la transición fisiológica de la fase vegetativa a la fase reproductiva. Por otro lado, el tratamiento T3 (dosis alta) no superó a T2 ni a T4, lo que respalda lo planteado por Marschner (2022), quien sostiene que un exceso de nitrógeno puede estimular el crecimiento vegetativo en detrimento de la floración. En cuanto al tiempo de aparición de estructuras florales, se observó una reducción significativa en los tratamientos con fertilización balanceada, destacando nuevamente el tratamiento T4, que adelantó la floración hasta los 38 días, en comparación con los 53 días registrados en el tratamiento control. Este comportamiento coincide con lo reportado por Pulache (2022), quien evidenció que la aplicación de nitrato de calcio acelera la floración en limoneros pocos días después de su aplicación. Asimismo, Zapata (2021) demostró que la combinación adecuada de riego y fertilización balanceada favorece la emisión de brotes más vigorosos y precoces.

Desde una perspectiva fisiológica, estos resultados pueden explicarse a partir de lo señalado por Taiz (2022), quien describe que la inducción floral está regulada por el equilibrio hormonal y la disponibilidad de nutrientes. En efecto, cuando la planta dispone de suficientes reservas minerales, se acelera el proceso de diferenciación

floral. En contraste, el retraso observado en el tratamiento control confirma que una nutrición deficiente limita los procesos metabólicos necesarios para la formación de estructuras reproductivas.

En lo referente a la uniformidad de la floración, se evidenciaron diferencias significativas entre tratamientos, destacando nuevamente el tratamiento T4 como el de mayor homogeneidad. Este resultado es coherente con lo expuesto por Carbajo et al. (2022), quienes señalan que la sincronización floral depende tanto del balance hormonal como del estado nutricional de la planta. Una nutrición adecuada reduce la variabilidad fisiológica entre individuos, favoreciendo una floración más uniforme.

Asimismo, García et al. (2022) encontraron que la aplicación foliar de fuentes nitrogenadas mejora la formación uniforme de flores en cítricos. En este estudio, el menor coeficiente de variación registrado en el tratamiento T4 sugiere que la combinación de calcio y magnesio contribuye a estabilizar procesos fisiológicos clave, fortaleciendo los tejidos y optimizando la eficiencia fotosintética, lo cual se traduce en una floración más sincronizada. Desde el punto de vista productivo, esta uniformidad resulta fundamental para obtener cosechas homogéneas y facilitar el manejo agronómico del cultivo.

Finalmente, en relación con el desarrollo morfológico de los brotes, los tratamientos fertilizados mostraron incrementos significativos en longitud y diámetro en comparación con el tratamiento control, siendo nuevamente el tratamiento T4 el que presentó el mayor desarrollo vegetativo. Estos resultados coinciden con lo señalado por Rodríguez (2022) y López (2021), quienes destacan que la fertilización soluble mejora el vigor de los brotes en cítricos.

El efecto positivo observado en los tratamientos que incluyeron calcio y magnesio puede explicarse por su papel en la estructura de la pared celular y en los procesos fotosintéticos, tal como lo indican García et al. (2022). Además, Salisbury y Ross (2024) señalan que un adecuado desarrollo vegetativo constituye una condición previa esencial para una eficiente diferenciación floral.

Por otro lado, la ausencia de diferencias significativas entre bloques confirma la homogeneidad experimental, lo que valida que el crecimiento observado estuvo determinado principalmente por los tratamientos aplicados. Asimismo, el hecho de

que la dosis alta (T3) no haya superado a la dosis media balanceada (T2) respalda lo planteado por Marschner (2022), quien advierte que un exceso de nutrientes puede generar desbalances fisiológicos y no necesariamente traducirse en mayores beneficios productivos.

5.CONCLUSIONES.

En relación con el número de yemas florales inducidas en limón sutil (*Citrus aurantifolia*), se evidenció una variación significativa según el tratamiento de fertilización aplicado. El tratamiento sin fertilización (T0) presentó el menor promedio (23,7 yemas por planta), lo que refleja una limitada inducción floral bajo condiciones de baja disponibilidad de nutrientes. En contraste, la dosis baja (T1) incrementó el número de yemas a 40,0, mientras que la dosis media (T2) alcanzó 61,3 yemas, destacándose por su mayor eficiencia. La dosis alta (T3) registró 48,3 yemas, lo que sugiere que el exceso de fertilización no necesariamente mejora la floración. El mejor resultado se obtuvo con el tratamiento T4 (dosis media + Ca + Mg), con 70,0 yemas por planta, lo que confirma que una nutrición balanceada maximiza la inducción floral.

En cuanto al tiempo de aparición de las estructuras florales, la fertilización influyó de manera directa. El tratamiento control (T0) presentó la floración más tardía (53 días), mientras que el tratamiento T4 adelantó este proceso hasta los 38 días, siendo el más eficiente. Asimismo, las dosis intermedias favorecieron una floración más temprana en comparación con la dosis alta, lo que evidencia que una nutrición equilibrada acelera la diferenciación floral.

Respecto a la uniformidad de la floración, evaluada mediante el coeficiente de variación (CV), se observaron diferencias entre tratamientos. El tratamiento T4 presentó el menor CV (≈ 2,0 %), indicando una floración altamente uniforme; le siguieron T2 (≈ 2,5 %) y T3 (≈ 3,2 %), con buena sincronización. En cambio, T1 (≈ 5,1 %) y el tratamiento control T0 (≈ 6,8 %) mostraron mayor variabilidad, evidenciando una menor uniformidad. Estos resultados confirman que hubo una fertilización balanceada, especialmente con calcio y magnesio, mejora la sincronización floral y reduce la variabilidad entre plantas.

Finalmente, el desarrollo morfológico de los brotes estuvo estrechamente relacionado con la fertilización aplicada. Los tratamientos balanceados, particularmente aquellos que incluyeron calcio y magnesio, promovieron mayor longitud y diámetro de brotes, reflejando una mejor condición estructural previa a la

floración, lo cual resulta fundamental para un adecuado desempeño productivo del cultivo.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda implementar una fertilización balanceada en el cultivo de limón sutil (*Citrus aurantifolia*), priorizando el uso de dosis medias de NPK complementadas con calcio y magnesio, dado que este manejo demostró ser el más eficiente para incrementar el número de yemas florales inducidas. Asimismo, se debe evitar la ausencia total de fertilización, ya que el tratamiento sin aporte de nutrientes presentó baja inducción floral, floración tardía y mayor variabilidad en el desarrollo de las estructuras florales, lo que limita el potencial productivo del cultivo.

De igual manera, se recomienda no exceder las dosis de fertilización, debido a que niveles altos no evidenciaron mejoras proporcionales en la inducción floral ni en la uniformidad de la floración. Por el contrario, pueden generar desequilibrios nutricionales que afectan negativamente el desarrollo reproductivo de la planta. En tal sentido se sugiere adoptar esquemas de fertilización equilibrada que favorezcan una floración más temprana, considerando que los tratamientos con adecuada nutrición permitieron reducir significativamente el tiempo de aparición de las estructuras florales. Este aspecto resulta clave para optimizar la planificación del manejo agronómico y de la cosecha.

Asimismo, es importante promover una nutrición integral que incluya nutrientes secundarios, especialmente calcio y magnesio, debido a su efecto positivo sobre el desarrollo morfológico de los brotes. Estos elementos contribuyen a mejorar la longitud y el diámetro de los brotes, asegurando una adecuada condición estructural previa a la floración.

Se recomienda, además, monitorear la uniformidad de la floración mediante indicadores como el coeficiente de variación (CV), ya que una menor variabilidad como la observada en tratamientos balanceados (≈ 2,0 % a 3,2 %)— refleja una floración más homogénea y sincronizada, lo que facilita las labores de manejo y puede traducirse en una producción más eficiente y estable.

Finalmente, se sugiere realizar estudios complementarios en diferentes condiciones edafoclimáticas, con el fin de validar los resultados obtenidos y ajustar las dosis de fertilización según las características específicas del suelo y del ambiente de producción.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agustí, M. (2022). *Fisiología de la producción en cítricos*. Editorial Mundi-Prensa.

Agustí, M., Martínez-Fuentes, A., & Mesejo, C. (2022). Floral induction and differentiation in citrus: Environmental and physiological regulation. Scientia Horticulturae, 297, 110945. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.110945

Carbajo, C., Martínez, J., & López, R. (2022). Regulación ambiental de la inducción floral en cítricos. *Revista Iberoamericana de Fisiología Vegetal, 18*(2), 45–60.

Castañeda, R., Morales, P., & Silva, J. (2023). Caracterización agronómica del limón sutil (*Citrus × aurantifolia*) en la costa norte del Perú. *Revista Peruana de Agronomía, 7*(1), 15–27.

Chen, Y., Zhang, H., & Li, X. (2024). Biochar and digestate effects on soil fertility and crop productivity. *Agriculture, Ecosystems & Environment, 352*, 108543.

Chumacero, L. (2018). *Taxonomía y clasificación de los cítricos*. Editorial Agraria.

FAOSTAT. (2023). Crops and livestock products database. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/faostat/

FAO. (2024). Fertilizer use and plant nutrition management. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://www.fao.org/home/en

García, M., Hernández, L., & Torres, D. (2022). Efecto de la fertilización combinada en la producción de lima mexicana afectada por HLB. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 13*(4), 589–603.

González, A., & Tulló, J. (2021). Morfología y fisiología básica de los cítricos. *Manual Técnico de Fruticultura Tropical*, 3(2), 35–48.

Hernández, J., Castro, P., & Ramírez, E. (2021). Rol del potasio en la tolerancia al estrés hídrico en cítricos. *Journal of Plant Nutrition, 44*(8), 1120–1135.

Hou, Y., Velthof, G., & Oenema, O. (2021). Environmental impacts of nitrogen fertilizers in agricultural systems. *Science of the Total Environment, 755*, 142543.

Hussein, M., Ali, A., & Farag, A. (2024). Micronutrient fertilization improves yield and fruit quality in pomegranate. *Horticulturae, 10*(2), 115.

Ikram, M., et al. (2024). Organic amendments enhance soil carbon sequestration and crop resilience. *Sustainability, 16*(4), 2103.

International Plant Nutrition Institute (IPNI). (2024). Plant nutrition and nutrient management resources. https://www.ipni.net

Kwakye, P. (2023). Nutrient management strategies for improved citrus flowering under stress conditions. *Journal of Agricultural Science, 15*(3), 89–102.

Ladaniya, M. (2021). *Citrus fruit: Biology, technology and evaluation*. Academic Press.

Ladaniya, M. (2023). Growth flushes and flowering behavior in citrus species. *Citrus Research International Journal, 12*(1), 21–34.

Lopez, R. (2021). Respuesta del limón persa a la fertilización nitrogenada en Veracruz [Tesis de licenciatura, Universidad Veracruzana].

Marschner, P. (2020). *Marschner's mineral nutrition of higher plants* (3rd ed.). Academic Press.

Meneses, J. (2025). Dinámica productiva del limón sutil bajo eventos climáticos extremos en Piura [Tesis doctoral, Universidad Nacional de Piura].

Murillo, E. (2021). Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de limón sutil. *Revista Agroclima Tropical, 9*(3), 66–79.

Ortiz, L., Romero, D., & Pérez, F. (2023). Integrated fertilization strategies for sustainable citrus production. *Agronomy, 13*(9), 2301.

Polo Murcia, A., et al. (2025). Combined organic and mineral fertilization in perennial crops. *Journal of Cleaner Production, 402*, 136923.

Pulache, R. (2022). Efecto de inductores químicos en la floración del limón sutil [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Piura].

Quiroz, R., Silva, M., & Castillo, L. (2020). Manejo agronómico del limón sutil en la región Piura. Revista Peruana de Ciencias Agrarias, 4(1), 55–68.

Sánchez, D., & Gómez, F. (2021). Fertilización sintética y maduración de brotes en cítricos tropicales. Agronomía Tropical, 71(3), 210–222.

Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SADER). (2023). Anuario estadístico de la producción agrícola 2022. Gobierno de México. https://www.gob.mx/siap

Rodríguez, M. (2022). Efecto de fertilizantes solubles en la brotación del limón sutil en Piura [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Piura].

Rodríguez, M., García, P., & López, S. (2021). Desarrollo radicular y nutrición mineral en cítricos. *Revista Latinoamericana de Ciencias Agrarias, 14*(2), 101–115.

Salinas, V. (2022). Evaluación de fertilización foliar con micronutrientes en cítricos en Perú [Tesis de maestría, Universidad Nacional Agraria La Molina].

Salisbury, F. B., & Ross, C. W. (2024). *Plant physiology and development* (7th ed.). Cengage Learning.

Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I., & Murphy, A. (2022). *Plant physiology and development* (6th ed.). Sinauer Associates.

Zapata, L. (2021). Evaluación del riego tecnificado y fertilización en brotación de limón sutil en el Valle del Chira [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Piura].

Zhang, W., Li, Y., & Chen, Z. (2023). Synthetic fertilizers and environmental sustainability in fruit crops. *Environmental Research, 216*, 114612.

ANEXOS

Anexo 1

Número promedio de yemas florales inducidas por planta

Tratamiento	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio
T0	22	25	24	23.7
T1	38	40	42	40.0
T2	60	63	61	61.3
T3	48	50	47	48.3
T4	68	72	70	70.0

Anexo 2.

Tiempo de aparición de yemas florales (días)

Tratamiento	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio (días)
T0 (0–0–0) Control	52	54	53	53.0
T1 (50–30–30) Baja dosis	47	48	46	47.0
T2 (100–60–60) Dosis media	41	42	40	41.0
T3 (150–90–90) Dosis alta	44	45	43	44.0
T4 (100–60–60 Ca + Mg)	38	39	37	38.0

Anexo 3

Uniformidad de la floración de los tratamientos de las observaciones en las yemas vegetativas del cultivo de Limón sutil

Tratamiento	Bloque I	Bloque II	Bloque III	Promedio de medios (%)
T0 (0–0–0) Control	7.2	6.8	6.5	6.8
T1 (50–30–30) Baja dosis	5.3	4.9	5.0	5.1
T2 (100–60–60) Dosis media	2.8	2.5	2.3	2.5
T3 (150–90–90) Dosis alta	3.5	3.2	3.0	3.2
T4 (100–60–60 Ca + Mg) Dosis media + micronutrientes	2.1	1.9	2.0	2.0

Anexos 4

Matriz Operacional de las Variables en Estudio

Variable	Definición conceptual	Definición operacional	Indicadores	Instrumento
V1. Maduración de brotes	Desarrollo fisiológico de los brotes hasta la prefloración	Longitud y grosor de brotes medidos periódicamente	Longitud (cm), grosor (mm), número de brotes maduros	Regla, calibrador digital
V2. Fertilización sintética	Aplicación de fertilizantes químicos para estimular el crecimiento	Uso de fertilizantes en dosis específicas	Dosis (kg/ha) de NPK aplicados	Registro de aplicaciones
V3. Condiciones del suelo	Propiedades químicas y físicas del suelo	Análisis de muestras de suelo	pH, materia orgánica, nitrógeno disponible	Análisis de laboratorio

Anexo 5

Matriz de consistencia de la investigación

Título	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables	Unidades
		General	**General**	**Independiente**	**Población**
Fertilización sintética sobre la maduración de brotes hasta la prefloración en Limón sutil (Citrus aurantifolia) Sullana 2025	¿Cuál será el efecto en la aplicación de fertilización sintética soluble sobre la maduración de brotes hasta la prefloración en Citrus aurantifolia en la región de Piura	•Evaluar el efecto de la fertilización sintética soluble en la maduración de brotes hasta la prefloración en Citrus aurantifolia en la región de Piura	La fertilización sintética soluble influye significativamente en la maduración de brotes hasta la prefloración en Citrus aurantifolia en la región de Piura	Tipo de fertilizante sintético Dosis de fertilizante (baja, media, alta).	472 plantas /2 Has.
		Específicos	**Especificas**	**Dependiente**	**Muestra**
		• Determinar la dosis de fertilización sintética soluble en el crecimiento de los brotes. • Analizar la tasa de maduración de los brotes en función de la aplicación de fertilizantes solubles • Evaluar el impacto de la fertilización en parámetros fisiológicos como contenido de clorofila y biomasa foliar. • Comparar los diferentes tipos de fertilizantes sintéticos solubles en el desarrollo vegetativo del limón sutil.	Existe una relación entre la dosis de fertilización sintética soluble y el crecimiento de los brotes. La tasa de maduración de los brotes varía en función de la aplicación de fertilizantes solubles. La fertilización sintética soluble impacta positivamente en parámetros fisiológicos como el contenido de clorofila y la biomasa foliar. Diferentes tipos de fertilizantes sintéticos solubles generan variaciones en el desarrollo vegetativo del limón sutil.	Crecimiento de los brotes: Medición de longitud y grosor. Tiempo hasta la prefloración: El momento en que los brotes alcanzan la fase de prefloración. Calidad del brote: Se evaluará la firmeza, color y grosor de la epidermis de los brotes. Rendimiento: cantidad y calidad de la fruta en una etapa posterior, si es posible.	3 plantas por tratamiento en estudio.

Anexo 6

Croquis distribución de los tratamientos de acuerdo a los factores en estudio

30 mt

6m

6m

1.M

Bloque	Parcelas	Parcela	Parcela	Parcela	Parcela
B1	T3	T1	T4	T5	T2
Canal de regadillo					
B2	T2	T5	T3	T1	T4
Canal de regadillo					
B3	T4	T3	T2	T1	T5

1m

Figura 3.

Croquis distribución de los tratamientos

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo 7

Panel Fotográfico



Evidencias fotográficas campo Experimental – Tambogrande -2025



Evidencias fotográficas de campo Experimental de evaluacion de los tratamientos.– Tambogrande -2025



Evidencias fotográficas de campo Experimental de evaluación de los tratamientos.– Tambogrande -2025

Anexo 8.

Fichas de fertilizantes sintéticos



CERES

24 AÑOS FERTILIZANTES INSUMOS AGRÍCOLAS

Ficha Técnica

Ferti Urea Perlada

Análisis Típico

Nombre Químico:	Urea Perlada	
Nombre Comercial:	Ferti Urea Perlada	
Formula Comercial:	46 - 0 - 0	
Categoría:	Fertilizante Nitrogenado Simple	
Composición Garantizada:	**Componente:**	**Valor**
	Nitrógeno (N)	46%

Propiedades Generales

Forma:	Perlada - Gránulos de 1 a 4 mm de diámetro
Color:	Blanco
Aplicación:	Fertilizante para uso agrícola, en aplicaciones directas al suelo.
Presentación:	Bolsa de 50 kg

ULTRASOL CALCIUM

sqmc.cl

HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

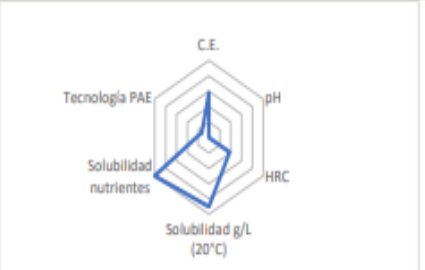
Descripción general	
Uso	Soluble para fertirriego
Apariencia	Cristales y gránulos blancos
Código(s)	5000036
Emisión	ago-23

Descripción PAE
NO APLICA

Especificaciones químicas							
Nitrógeno	**(N)**	(%)	16%	**Cloruro**	**(Cl)**	(%)	---
	Nitrógeno nítrico	(%)	93%	**Sodio**	**(Na)**	(%)	---
Fósforo	**(P_2O_5)**	(%)	---	**Boro**	**(B)**	(%)	---
	Fósforo protegido	(%)	---	**Zinc**	**(Zn)**	(%)	---
Potasio	**(K_2O)**	(%)	---	**Hierro**	**(Fe)**	(%)	---
	Potasio v. libre de cloruro	(%)	---	**Manganeso**	**(Mn)**	(%)	---
Azufre	**(S)**	(%)	---	**Cobre**	**(Cu)**	(%)	---
Magnesio	**(MgO)**	(%)	---	**Molibdeno**	**(Mo)**	(%)	---
	Magnesio protegido	(%)	---				
Calcio	**(CaO)**	(%)	26,5%				

Elementos acompañantes					
Plomo	ppm	≤ 0,5	**Biuret**	(%)	---
Cadmio	ppm	≤ 0,5			
Arsénico	ppm	≤ 0,5			
Mercurio	ppm	≤ 0,5			

Propiedades físico - químicas generales*		
C.E. (1 g/L)	dS/m	1,16
pH (1 g/L)		ND
HRC (a 30°C)	%	38
Solubilidad (a 20 °C)**	g/L	1.000
Solubilidad nutrientes	(%)	100%
Densidad	ton/m3	ND



*Propiedades físico-químicas estimadas según parámetros medidos individualmente en insumos.
ND: no determinado; **Solubilidad en agua destilada a 1 g/L.

Ant+A2:L64es de utilizar este producto, lea su Hoja de Seguridad (HDS), las especificaciones y literatura técnica relacionada y, de ser necesario, infórmese con un asesor o especialista.
Su manipulación debe realizarse utilizando Elementos de Protección Personal (EPP), que incluyen guantes, mascarillas, lentes de protección entre otros, especificados en su HDS.
El uso para un determinado resultado esperado, debe ajustarse a la información particular de las condiciones donde se aplicará. La forma, cantidad y momento de uso, debe considerar la información específica climática, datos técnicos como análisis de suelo, zona geográfica, historial de cultivo y condiciones fitosanitarias entre otros. La no consideración de lo anteriormente mencionado, podría alterar el funcionamiento

M Phosphates – MAP



Generic name:	Monoammonium Phosphate
IUPAC name:	Ammonium Dihydrogen Phosphate
CAS:	7722-76-1
Form:	Whilte crystalline powder
Origin:	China
Additional:	REACH certification

Item	Specification	Typical result %
Purity	99% min	99.90%
Nitrogen	12% min	12.03%
Phosphates (P205)	61% min	61.22%
Moisture	0.2% max	0.07%
Water-insolubles	0.1% max	0.02%
Ph value	4-5	4.14
Heavy Metals Analysis		
As	20ppm max	10ppm
Cr	10ppm max	2ppm
Cd	10ppm max	Less than 1ppm
Pb	10ppm max	Less than 1ppm
Hg	5ppm max	Less than 1ppm
Se	5ppm max	Less than 1ppm

**REACH is a system for Registration, Evaluation and Authorization and Restriction of Chemical substances that are produced or imported in the European Union. adopted to improve the protection of human health and the environment from the risks that can be posed by chemicals, The regulations (Regulation No. 1907/2006) on this date from 18 December 2006, and entered into force from 1 June 2007.*

Rietschoorvelden 20, 2170 Antwerpen, Belgium | +32 3 640 93 02 | contact.agro@manuchar.com | www.manucharagro.com

Anexo 9

Certificado de Análisis de suelo

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMIA
Departamento Académico de Suelos

ANALISIS DE SUELO

REMITE: **RONALD ALEXANDER ZAPATA IMÁN**
PROCEDENCIA: **PREDIO ELADIO SILUPÚ**
EL ALGARROBO-TAMBOGRANDE
FECHA: 21/04/2025

DETERMINACIONES	UNIDADES	RESULTADOS
Conductividad Eléctrica (CE)	$dS.m^{-1}$	0.92
pH	Unidades pH	7.36
Calcáreo total	% $CaCO_3$	0.30
Materia Orgánica (M.O)	% M.O	0.36
Nitrógeno total (N)	ppm N	170
Fósforo disponible (P)	ppm P	6.0
Potasio asimilable (K)	ppm K	100
Textura	Clase Textural	Franco Arenoso
Arena	% partículas	72
Limo	% partículas	16
Arcilla	% partículas	12
Cationes cambiables (CIC)	$cMol^{(+)}.kg^{-1}$	7.63
Calcio Cambiable (Ca^{++})	$cMol^{(+)}.kg^{-1}$	6.00
Magnesio Cambiable (Mg^{++})	$cMol^{(+)}.kg^{-1}$	1.20
Potasio Cambiable (K^{+})	$cMol.kg^{-1}$	0.24
Sodio Cambiable (Na^{+})	$cMol..kg^{-1}$	0.19

Muestreo efectuado por el usuario.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE PIURA
FACULTAD DE AGRONOMIA
DEPARTAMENTO DE SUELOS
Ing° Victor Manuel Requena Sullón
JEFE DE LABORATORIO