



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**NUTRICIÓN INTEGRAL DEL LIMÓN SUTÍL (*Citrus
aurantifolia*-Swingle) EN LA FINCA BACILIO DE LA
COMUNA SINCHAL**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Juan Carlos Mateo Limones.

LA LIBERTAD, 2024



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**NUTRICIÓN INTEGRAL DEL LIMÓN SUTÍL (*Citrus
aurantifolia*-Swingle) EN LA FINCA BACILIO DE LA
COMUNA SINCHAL**

TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Requisito parcial para la obtención del título de:

INGENIERO AGROPECUARIO

Autor: Juan Carlos Mateo Limones.

Tutor: Ing. Néstor Orrala Borbor Ph. D

LA LIBERTAD, 2024

TRIBUNAL DE GRADO

Trabajo de Integración Curricular presentado por **MATEO LIMONES JUAN CARLOS** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Integración Curricular **APROBADO** el: 22/12/2023.



Firmado electrónicamente por:
**VERONICA CRISTINA
ANDRADE YUCAILLA**

Ing. Verónica Andrade Yucailla Ph. D.
**DIRECTORA DE CARRERA
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

**DANIEL
ANTONIO
PONCE DE
LEON LIMA**

Firmado electrónicamente por:
**DANIEL ANTONIO
PONCE DE LEON LIMA**
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA
CARRERA DE INGENIERIA EN AGROPECUARIA

Ing. Daniel Ponce De León Ph. D.
**PROFESOR ESPECIALISTA
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NESTOR ALBERTO
ORRALA BORBOR**

Ing. Néstor Orrala Borbor Ph. D.
**PROFESOR TUTOR
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**NADIA ROSAURA
QUEVEDO PINOS**

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph. D.
**PROFESORA GUÍA DE LA UIC
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



Firmado electrónicamente por:
**WASHINGTON VIDAL
PERERO VERA**

Ing. Washington Perero Vera, Mgtr.
ASISTENTE ADMINISTRATIVO

AGRADECIMIENTOS

Ante todo, agradecer a nuestro Dios, a todos mis hermanos Rubén, Rita, Verónica, Marlon y sobrin@s. A mis hermosas hijas que junto a su mamá Mercedes han sido un pilar fundamental en este proceso, a mi señora madre que a través de sus oraciones me ha dado impulso y fortaleza para seguir adelante.

A mis compañeros de aula y amigos Denisse R., Andrea L., Jacinto T., John V., Mónica C y Garlein R., por ser parte de esta etapa y hacerlo menos dificultoso.

A los docentes y tutor Ing. Néstor Orrala Borbor Ph. D, por invertir su tiempo e impartir sus conocimientos en esta bella profesión.

DEDICATORIA

A mi madre Gertrudis,

Por su apoyo incondicional, paciencia y dedicación mediante ellos me ha dirigido por el buen camino, mi amorzote ejemplo de vida y persona.

A mi hermano Rubén,

Tengo la seguridad que desde las faldas de nuestro salvador me ha estado cuidando y guiando en este sendero de la vida.

A mis hijas: Karla, Angélica y Nathaly Mateo Reyes,

Ellas han sido mi motivación para seguir avanzando y cumplir con mi propósito, a pesar de los obstáculos que se me han presentado.

Este logro es para Uds.

RESUMEN

Este trabajo tuvo como objetivo estimar la nutrición integral del limón sutil (*Citrus aurantifolia*-Swingle) mediante la aplicación de diferentes dosis de macro y microelementos considerando la calidad de suelo y agua en la comuna Sinchal. Se evaluaron tres dosis de nitrógeno (100, 150, 200), tres de fósforo (20, 30, 40), tres dosis de potasio (50, 75, 100), todos ellos expresados en gramos planta⁻¹ año⁻¹ más tres dosis de microelementos. El experimento se realizó bajo el diseño Bloques Completamente al Azar con nueve tratamientos y cuatro replicas, cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro plantas; los tratamientos compuestos estuvieron dispuestos por el método de Taguchi en un diseño ortogonal L9 (3)⁴. Se evaluó el estado nutrimental del suelo y foliar, peso del fruto (PF), diámetro ecuatorial (DE) y polar (DP), rendimiento por hectárea, sólidos solubles totales (SST), porcentaje de jugo (PJ) y pH. En el rendimiento, todos los tratamientos tuvieron medias poblacionales iguales; sobresale el tratamiento T₄: N₁₅₀ P₂₀ K₇₅ + 150 cc de microelementos, que alcanzó 30.5 Mg ha⁻¹. La relación Costo – Beneficio es positiva en todos los tratamientos.

Palabras claves: Nutrición integral, fertilización inorgánica, análisis foliar, calidad del fruto.

ABSTRACT

This work aimed to estimate the comprehensive nutrition of the subtle lemon (*Citrus aurantifolia* Swingle) by applying different doses of macro and microelements considering the quality of soil and water in the Sinchal commune. Three doses of nitrogen (100, 150, 200), three of phosphorus (20, 30, 40), three doses of potassium (50, 75, 100) were evaluated, all of them expressed in grams plant⁻¹ year⁻¹ plus three dosage of microelements. The experiment was carried out under the Completely Random Block design with nine treatments and four replicates, each experimental unit was made up of four plants; The composite treatments were arranged by the Taguchi method in an orthogonal design L9 (3)⁴. The nutritional status of the soil and leaves, fruit weight (PF), equatorial diameter (ED) and polar diameter (DP), yield per hectare, total soluble solids (TSS), percentage of juice (PJ) and pH were evaluated. In performance, all treatments had equal population means; The T₄ treatment stands out: N₁₅₀ P₂₀ K₇₅ + 150 cc of microelements, which reached 30.5 Mg ha⁻¹. The Cost – Benefit relationship is positive in all treatments.

Key words: integrated nutrition, inorganic fertilization, foliar analysis, fruit quality.

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

El presente Trabajo de Integración Curricular titulado “**NUTRICIÓN INTEGRAL DEL LIMÓN SUTÍL (*Citrus aurantifolia*-Swingle) EN LA FINCA BACILIO DE LA COMUNA SINCHAL**” y elaborado por **Juan Carlos Mateo Limones**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

Transferencia de derechos autorales.

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".



Firmado digitalmente por:
**JUAN CARLOS MATEO
LIMONES**

Firma del estudiante

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| Problema Científico: | 2 |
| Objetivos | 2 |
| Objetivo General: | 2 |
| Objetivos Específicos: | 2 |
| Hipótesis: | 3 |
| CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 4 |
| 1.1 Generalidades del limón sutil | 4 |
| 1.2 Nutrición integral del limón | 5 |
| 1.2.1 Efectos de los macro y microelementos en el cultivo de limón | 5 |
| 1.2.2 Requerimientos nutricionales del limón | 8 |
| 1.2.3 Fertilización | 10 |
| 1.3 Análisis foliar como indicador del estado nutrimental del limón | 12 |
| CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS | 15 |
| 2.1 Caracterización del área | 15 |
| 2.2 Material biológico | 15 |
| 2.3 Materiales, equipos e insumos | 15 |
| 2.4 Características agroquímicas del suelo | 16 |
| 2.5 Características Físicoquímico del agua | 17 |
| 2.6 Tratamientos y diseño experimental | 19 |
| 2.7 Análisis estadístico de los resultados | 20 |
| 2.8 Manejo del experimento | 20 |
| 2.8.1 Fertilización edáfica y foliar | 20 |
| 2.8.2 Riego..... | 20 |
| 2.8.3 Control de malezas | 20 |
| 2.8.4 Control fitosanitario..... | 20 |
| 2.8.5 Cosecha | 21 |
| 2.9 Variables experimentales | 21 |
| 2.9.1 Estado nutrimental del suelo | 21 |
| 2.9.2 Estado nutrimental foliar | 21 |
| 2.9.3 Variables de producción | 21 |
| 2.9.4 Variables de calidad del fruto | 22 |

| | | |
|--|------------------------------------|-----------|
| 2.9.5 | Relación beneficio costo..... | 22 |
| CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | | 23 |
| 3.1 | Estado nutrimental del suelo..... | 23 |
| 3.2 | Estado nutrimental foliar..... | 25 |
| 3.3 | Variables de producción..... | 29 |
| 3.4 | Variable de calidad del fruto..... | 30 |
| 3.5 | Relación beneficio – Costo..... | 31 |
| CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 34 |
| Conclusiones..... | | 34 |
| Recomendaciones..... | | 34 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 35 |
| ANEXOS..... | | 41 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Necesidades nutritivas de los cítricos en función de la edad/gramos/árbol. | 8 |
| Tabla 2. Requerimientos nutricionales del cultivo de limón propuestos por autores de diversas localidades. | 9 |
| Tabla 3. Rangos establecidos para el estado nutrimental de <i>Citrus aurantifolia</i> Swingle. . | 12 |
| Tabla 4. Rangos estándares del estado nutrimental de <i>Citrus limon</i> (L.). | 13 |
| Tabla 5. Niveles críticos establecidos para cítricos en base al peso seco. | 13 |
| Tabla 6. Rangos establecidos para el estado nutrimental de <i>Citrus latifolia</i> Tanaka. | 14 |
| Tabla 7. Metodología utilizada para la determinación de los elementos del análisis de suelo. | 16 |
| Tabla 8. Características agroquímicas del suelo previo al inicio del experimento en el cultivo de limón (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle). | 17 |
| Tabla 9. Metodología utilizada para la determinación de los elementos del análisis de agua. | 18 |
| Tabla 10. Características del agua previo al experimento en el cultivo de limon (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle). | 18 |
| Tabla 11. Tratamientos establecidos en <i>Citrus aurantifolia</i> -swingle según método Taguchi L9 (3) ⁴ | 19 |
| Tabla 12. Estado nutrimental del suelo al finalizar el experimento en el cultivo de limon (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle). | 24 |
| Tabla 13. Estado nutrimental foliar al inicio del experimento en el cultivo de limon (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle). | 27 |
| Tabla 14. Estado nutrimental foliar al finalizar el experimento en el cultivo de limon (<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle). | 28 |
| Tabla 15. Variables de producción: peso del fruto (g), diámetro ecuatorial, diámetro polar (mm) y rendimiento (t ha ⁻¹) de <i>Citrus aurantifolia</i> Swingle. | 30 |
| Tabla 16. Variables de calidad de frutos: Contenido de sólidos solubles totales (Grados Brix), porcentaje de jugo (%) y pH de <i>Citrus aurantifolia</i> Swingle. | 31 |
| Tabla 17. Costos generales de labores agrotécnicas limón sutil. | 32 |
| Tabla 18. Costos de tratamientos para determinar la relación Beneficio/Costo. | 33 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1. Ubicación del área experimental (Google Earth, 2023). | 15 |
|--|----|

ÍNDICE DE ANEXOS

Ilustración 1. Análisis estadístico de peso de fruto

Ilustración 2. Análisis estadístico de diámetro ecuatorial

Ilustración 3. Análisis estadístico de diámetro polar

Ilustración 4. Análisis estadístico de sólidos solubles totales expresados en grados Brix

Ilustración 5. Análisis estadístico de porcentaje de jugo

Ilustración 6. Análisis estadístico de pH

Ilustración 7. Análisis estadístico de rendimiento kg ha^{-1}

Ilustración 8. Distribución de los tratamientos

Ilustración 9. Aplicación foliar de micronutrientes

Ilustración 10. Dosificación de fertilizantes

Ilustración 11. Aplicación de fertilizantes al nivel de la copa de la planta

Ilustración 12. Muestreo de suelo

Ilustración 13. Recolección de frutos para sus respectivos análisis

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cítricos es muy importante a nivel mundial; están distribuidos en zonas rurales de regiones tropicales y subtropicales de diferentes países; el promedio de producción y áreas cosechadas registrados del año 2010 al 2021 indican 1338 321 hectáreas (ha) con una producción total de 20 828 739.39 toneladas (t) y un valor de producción bruta de \$ 11 884 498.00. India encabeza la clasificación mundial al registrar un volumen de producción de aproximadamente 2.8 millones de toneladas, México con 2.4 millones y China con 2.2 millones respectivamente (FAOSTAT, 2021).

En Ecuador, el limón sutil es la especie más cultivada seguida del limón Tahití; la variedad sutil es destinada para el consumo local, dado el fuerte potencial para la producción de cítricos y de manera especial en la región Costa (INEC, 2022).

FAOSTAT (2021) registra que el área cosechada de limas y limones en Ecuador en el año 2019 fue de 4721 ha con una producción de 19 671.98 t, y en el 2020, 5614 ha con una producción de 27 913.52 t, teniendo un significativo aumento.

Según cifras del Sistema de Información Pública Agropecuaria del Ecuador SIPA (2022), en el país se plantaron 5230 ha y se cosecharon 4178 ha con producción de 22 402.88 t y un rendimiento de 5.36 Mg ha⁻¹. INEC (2022) registra en la provincia de Santa Elena 661 ha, de las cuales 634 ha se cosecharon, obteniendo una producción de 7096 toneladas métricas (tm), destinado el mayor porcentaje al mercado nacional con un 95%.

El limón sutil se siembra y cosecha en cualquier época del año, iniciando su productividad a los cuatro años pero el buen manejo del cultivo es un factor fundamental en el rendimiento, por tal razón es necesario brindar al agricultor asesorías técnicas actuales que permita mejorar la producción (Rebolledo-Martínez *et al.*, 2019).

Según El Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias INIAP (1992), una plantación de cítricos con un manejo técnico adecuado demanda 240 kilogramos (kg) de Nitrógeno (N), 25 kg de Fosforo (P) y 165 kg de Potasio (K) ha/año para un rendimiento de 40 t de frutos/ha. INIAP (2014) indica que, si el análisis foliar revela un déficit de N, P, K es recomendable aplicar 100 kg de nitrógeno ha/año y 50 kg de fósforo y potasio cada tres a cuatro años para cultivos mayores de seis años con un buen manejo agronómico.

En la provincia de Santa Elena es poca la información sobre el manejo técnico de los cítricos, por lo que es necesario investigar la influencia de varias dosis de fertilizantes inorgánicos en la producción anual de *Citrus aurantifolia* v. sutil. El cultivo de limón en Ecuador tiene gran relevancia socio – económica y específicamente en la provincia de Santa Elena, a pesar de esta importancia en el país las investigaciones aplicadas en este fruto son insuficientes, debido a la falta de herramientas, recursos económicos y tecnológicos que han restringido el estudio y caracterización del cítrico (Quirumbay, 2021).

Sabiendo que los suelos de la provincia de Santa Elena no son fértiles desde el punto de vista químico y que el buen manejo del cultivo de limón es un factor fundamental en el rendimiento productivo, al no tener información suficiente que oriente a los citricultores a llevar un adecuado plan de fertilización a partir de los respectivos análisis foliar, suelo y agua, se propone realizar la presente investigación para establecer la nutrición integral del cítrico y de esta manera encontrar un mejor rendimiento.

Problema Científico:

¿Es posible aumentar el rendimiento del cultivo de limón sutil en Sinchal en base a la fertilización inorgánica?

Objetivos

Objetivo General:

Estimar la nutrición integral del limón mediante la aplicación de fertilizantes inorgánicos considerando la calidad de agua y suelo en la comuna Sinchal.

Objetivos Específicos:

- Identificar la concentración foliar de nutrientes como referencia del estado nutricional del cultivo.
- Determinar la mejor respuesta agronómica del limón sutil a la aplicación de los fertilizantes inorgánicos N, P, K y microelementos.
- Determinar la relación beneficio costo de cada uno de los tratamientos.

Hipótesis:

En este trabajo investigativo en base a la apropiada nutrición del cítrico mediante la aplicación de microelementos (foliar) y fertilizantes inorgánicos (suelo) al menos uno de los tratamientos se diferenciará en el rendimiento.

CAPÍTULO 1. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 Generalidades del limón sutil

Germplasm Resources Information Network GRIN (2012) indica que el limón pertenece al reino *Plantae*, división *Magnoliophyta*, clase *Magnoliopsida*, orden *Sapindales*, familia *Rutaceae*, género *Citrus* y especie *aurantifolia*, con nombre científico *C. aurantifolia* (Christm.) Swingle.

Los cítricos son cultivos permanentes y tienen la capacidad de adaptarse a climas muy diversos; se pueden cultivar en las regiones tropicales, subtropicales y semitropicales del planeta; los cítricos que han sido cultivados en condiciones tropicales con baja variación de temperaturas han mostrado una buena conducta productiva (Hernández *et al.*, 2015).

Son arbustos o árboles pequeños de 4 a 5 m de altura, compuestos por dos partes, la superior que la conforman parte del tronco, ramas, hojas, frutos denominada copa y la parte inferior que es formada por los primeros 15 centímetros del tronco, donde emerge todo el sistema radicular, posee ramas delgadas y estas pueden ser angulosas o redondeadas con espinas cortas, las hojas son alternas, unifoliadas con nervación reticular, relativamente pequeñas con un peculiar aroma (González y Tullo, 2019).

Las raíces se distribuyen de forma vertical y horizontal alcanzando una profundidad de 2 a 3 metros con gran cantidad de pelos radiculares (Ancillo y Medina, 2015). Según Agustí, (2008), el limón sutil posee flores hermafroditas de color blancas de buen aroma diseñadas para la fácil propagación sexual con un diámetro de 1.5 a 2.5 cm; los frutos son ovales o globosos de color verde oscuro pasando a verde amarillento o amarillo en la madurez, mide 3.5 a 5 cm de diámetro o más con semillas pequeñas, está compuesto por exocarpo o flavedo, mesocarpo o albedo y endocarpo.

Es más sensible al frío, para su óptimo desarrollo requiere de temperaturas que estén entre los 18 y 30 °C, siendo las condiciones más propicias para su cultivo aquellas zonas que presentan climas cálidos semisecos (Orduz y Cagua, 2012). Según Sanchez (2005), el requerimiento edafoclimático de este cítrico sea un clima cálido y templado, con temperaturas promedio desde 18 a 29 °C, la humedad entre 40 a 70%, precipitación de 900 a 1200 mm anuales bien distribuidos, altitud de 40 a 1500 m.s.n.m., de suelos profundos, bien aireados francos arenosos, con alto contenido de materia orgánica, pH neutro a ligeramente ácido (5.5 a 6.5).

La floración comúnmente inicia al segundo año de ser plantadas, dependiendo de las condiciones climáticas y el manejo agronómico puede variar; el desarrollo de una plantación es de dos a tres años aproximadamente en plantas injertadas y al cuarto año comienza la producción, iniciando la vida económica de la planta de manera permanente; la floración puede ser continua y de menor cantidad, lo que da paso a varias cosechas al año (Valarezo *et al.*, 2014).

Sumba *et al.* (2021) manifiesta que la producción de este cultivar se ve afectada por factores climáticos, cuando se presenta clima frío y lloviznas en la etapa de floración estas disminuyen y por lo tanto una buena producción es un tema estacional ya que en época seca incrementa.

1.2 Nutrición integral del limón

La nutrición apropiada de los cítricos busca obtener una alta productividad y buena calidad de frutos, esta influenciada por las condiciones ambientales del sector y las prácticas culturales. Por lo tanto, la nutrición integral del cultivo es una práctica de manejo agronómico relacionado con la fertilización, ya que esta no solo se basa en determinar que nutrientes, cuando y cuanto aplicar, sino que también relaciona el estado del suelo, agua, condiciones climáticas, estado nutricional de la planta y la calidad de los fertilizantes; teniendo en cuenta la relación de estos factores se obtendrá un eficiente aprovechamiento de nutrientes (González y Tullo, 2019).

La calidad del fruto está determinado por la correcta nutrición de la planta, la baja calidad de estos se relaciona con la baja disponibilidad de los macro y micronutrientes presentes en el suelo; en cultivos ya establecidos es importante realizar análisis foliar y de suelo para establecer un buen plan de fertilización (Gomez *et al.*, 2008).

Mengel y Kirkby (2000) manifiestan para que una planta se desarrolle y crezca necesita nutrirse primordialmente de agua y CO₂ del aire, además del carbono, hidrógeno, oxígeno y de otros 14 compuestos químicos, la falta de alguno de estos elementos esenciales inhibe al árbol a desarrollarse normalmente, ya que estos están directamente implicados en la nutrición de la planta.

1.2.1 Efectos de los macro y microelementos en el cultivo de limón

Para el buen desarrollo y reproducción, las plantas exigen de elementos esenciales que se encuentran contenidos en el suelo y estos generalmente no disponen de las cantidades

necesarias para obtener frutos de calidad y elevada producción, por lo que se hace obligatorio inducir los nutrimentos mediante el uso adecuado de fertilizantes.

Conde Delgado *et al.*, (2018) menciona que el déficit de nutrimentos provoca una disminución en la cosecha y que la aplicación excesiva de fertilizantes puede ser perjudicial en el cultivo; como la pérdida de calidad de los frutos, disminución de la rentabilidad, desequilibrio nutricional por antagonismo con otros elementos, alteración de las características físicas o químicas del suelo y contaminación del medio ambiente.

Según Valarezo *et al.* (2014), los cítricos requieren un adecuado nivel nutrimental para expresar un buen desarrollo y que la producción de frutos sea abundante y con excelente calidad.

Los elementos tienen los siguientes efectos en el cultivo:

Nitrógeno. La falta de N causa una clorosis en toda la hoja y disminución del tamaño, reducción de floración y producción, cuajado muy escaso, los frutos se caen y los que se forman son pequeños. El exceso de N produce un abundante desarrollo vegetativo siendo estas más sensibles a ataques de plagas y enfermedades, frutos grandes y de mala calidad (Quiñones *et al.*, 2010).

Fosforo. La escasez de P reduce el desarrollo de flores, hojas pequeñas y frutos deformes que se caen prematuramente. El exceso de este elemento no produce algún síntoma aparente, pero si pueden obstaculizar la absorción de otros elementos como el zinc, cobre y en ocasiones el calcio (F.A.O., 2002).

Potasio. La escasez de K reduce el vigor vegetativo dado que las hojas se enrollan, produce la caída de las flores, retrasa el desarrollo de la planta, disminución del tamaño del fruto y caída prematura; el exceso tiene una gran relación en la calidad del fruto, por lo que empeora notablemente, aunque los frutos suelen ser grandes con la corteza es gruesa y disminuye el contenido de zumo. Este elemento es necesario para que los frutos adquieran un tamaño adecuado (Valdés y Palma, 2017).

Calcio. La falta de este produce la reducción del desarrollo de la planta y defoliación en general, lo que conlleva a que la cosecha y el tamaño del fruto reducen ligeramente; además es de gran importancia en el desarrollo de las raíces (Vegas y Narrea, 2011).

Magnesio. Debido a la alta movilidad de este elemento dentro de la planta, la deficiencia causa clorosis en las hojas maduras, los bordes se curvan hacia arriba, los frutos suelen ser

de tamaño reducido con la corteza muy fina y el contenido de azúcares es menor (Razeto, 2005) .

Azufre. La falta de este elemento puede presentarse en suelos pobres en materia orgánica y se expresa de manera parecida al del nitrógeno, las hojas más jóvenes presentan clorosis uniforme y encorvamiento de las puntas que avanzan hasta la base (Mateus y Ordúz, 2012).

Generalmente los escasos de micronutrientes que más se manifiestan son las de hierro, zinc y manganeso, las correcciones de carencias de zinc y manganeso se recomienda realizarlas vía foliar.

Hierro. La mayoría de los suelos del Litoral del país contienen este elemento en grandes cantidades, pero de forma no asimilable para la planta, la deficiencia provoca que las hojas se vuelvan de color amarillo claro del extremo de los brotes, permaneciendo los nervios de color verde. Esto se debe a la poca movilidad de este elemento (Razeto, 2005).

Zinc. La falta de este elemento afecta la presencia de clorofila, se presenta en hoja jóvenes reduciendo su tamaño y provocando un moteado amarillento situadas alrededor de los nervios secundarios, también induce a la maduración prematura del fruto (Mateus y Ordúz, 2012).

Manganeso. Los síntomas de carencia se observan en las hojas jóvenes mostrando clorosis entre las nervaduras, sobresalen por presenciarse un color verde intenso en el follaje y si la deficiencia aumenta, las hojas presentan tonalidad opaca y vejez prematura (Mateus y Ordúz, 2012).

Posada y Pérez (2015) sugieren que, hay que poner más atención el equilibrio de los elementos químicos que solo las cantidades resultando esto en una fertilización completa y bien equilibrada.

En la dinámica entre los macro y micronutrientes ocurren sinergismo y antagonismo ya que entre ellos se relacionan; el sinergismo se lo define como el refuerzo mutuo de dos elementos al ser absorbidos (nitrato/magnesio, magnesio/fósforo, potasio/hierro) y el antagonismo cuando un elemento está presente en exceso produce la carencia de otro. Ejemplo: potasio/calcio; magnesio/calcio; potasio/magnesio; nitrógeno/potasio; nitrógeno/boro; fósforo/zinc; fósforo/cobre; cobre/hierro; hierro/manganeso; potasio/boro; potasio/manganeso; y calcio/microelementos (Posada y Pérez, 2015).

1.2.2 *Requerimientos nutricionales del limón*

Los requerimientos nutritivos del limón se resumen como la cantidad de elementos nutricionales consumidos cada año por la planta para su buen crecimiento vegetativo y fructificación; estos requerimientos deben ser satisfechos por las reservas del suelo o por medio de la aplicación de fertilizantes (Legaz y Primo, 1998). (Tabla 1)

Tabla 1. Necesidades nutritivas de los cítricos en función de la edad/gramos/árbol.

| Edad (años) | N | P | K |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|
| 1 – 2 | 40 – 80 | 10 – 20 | 10 – 20 |
| 3 – 4 | 120 – 160 | 30 – 40 | 40 – 80 |
| 5 – 6 | 240 – 320 | 50 – 60 | 100 – 120 |
| 7 – 8 | 410 – 500 | 80 – 100 | 160 – 200 |
| 9 – 10 | 550 – 600 | 120 – 150 | 250 – 300 |
| >10 | 600 – 800 | 150 – 200 | 300 – 400 |

Fuente: Legaz y Primo-Millo (1998).

INIAP (1992) describe que los cítricos absorben nutrientes en el transcurso del año, pero el mayor consumo se da durante la fase de formación de nuevos brotes y la floración, también manifiesta que una plantación con un manejo técnico adecuado demanda de 240 kg de N, 25 kg de P y 165 kg de K ha/año para un rendimiento de 40 t de frutos/ha.

Ciampitti y García (2008) citan a International Fertilizer Industry Association IFA (1992), e indican que la absorción total de macro y micronutrientes del cultivo de limón es de nitrógeno 6.3, fósforo 0.7 , potasio 4.4 y de extracción es de 1.6 de N, 0.2 de P, 1.7 de K, 0.7 Ca, 0.2 Mg y 0.1 S expresados en kilogramos por tonelada (kg/ton); alegan que es esencial disponer de información sobre absorción y extracción de nutrientes para establecer un buen plan de fertilización.

Autores de diferentes latitudes geográficas señalan requerimientos nutricionales del cultivo de limón, Tabla 2.

Tabla 2. Requerimientos nutricionales del cultivo de limón propuestos por autores de diversas localidades.

| Autor | Edad del cultivo | Densidad | Dosis N P K kg ha ⁻¹ | Dosis N P K g árbol ⁻¹ año ⁻¹ | Rendimiento Mg ha ⁻¹ | Localidad |
|--------------------------------------|------------------|-------------|---|--|---------------------------------|----------------------------------|
| Pérez y Zamora (2004) | 15 | 10 x 10 m | N ₂₄₀ P ₀ K ₀ | N ₂₄₀ P ₀ K ₀ | 30 | Colima, México |
| Orrala <i>et al.</i> (2012) | 14 | 5.5 x 5.5 m | N ₃₃₀ P _{49.5} K ₁₃₂ | N ₁₀₀ P ₁₅ K ₄₀ | 32.4 | Santa Elena, Ecuador |
| Santistevan <i>et al.</i> (2017) | 6 | 6 x 6 m | N ₂₅₀ P ₈₃ K ₂₅₀ | N ₁₅₀ P ₅₀ K ₁₅₀ | Manglaralto 5.7 Colonche 6.6 | Santa Elena, Ecuador |
| Castelán Primo (2017) | 7 | 1.20 x 7 m | N _{849.66} P _{849.66} K _{849.66} (-10kPa Tensión de humedad en el suelo) | N ₁₀₂ P ₁₀₂ K ₁₀₂ (-10kPa Tensión de humedad en el suelo) | 3.93 | Campeche, México |
| Conde Delgado <i>et al.</i> (2018) | 7 | 4 x 7 m | N _{153.51} P _{74.97} K _{39.27} | N _{61.43} P ₃₀ K _{15.71} | 32.4 | Morelos, México |
| Hazarika y Aheibam (2019) | 5 | 3 x 3 m | N _{555.5} P _{555.5} K _{555.5} | N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ | 11.2 | Aizawl, India |
| Ghosh <i>et al.</i> (2020) | 7 | 3 x 3 m | N _{1633.17} P _{1088.78} K _{1633.17} | N ₂₁₀ P ₁₄₀ K ₂₁₀ | 20.4 | West Bengal, India |
| Sheikh <i>et al.</i> (2021) | 3 | 3 x 3 m | N _{333.3} P _{333.3} K _{333.3} + aplicación foliar | N ₁₀₀ P ₁₀₀ K ₁₀₀ + aplicación foliar | 12.8 | Pasighat, India |
| Aburto González <i>et al.</i> (2021) | 11 | 6 x 6 m | N ₁₃₉ P ₁₂₉ K ₉₉ | N _{50.18} P _{46.57} K _{35.74} | 28 | Nayarit, México |
| Almadiy <i>et al.</i> (2023) | 21 | 4 x 5 m | N ₅₀₀ P ₁₂₅ K ₂₅₀ | N ₁₀₀ P ₂₅ K ₅₀ | Temp1 = 55 Temp2 = 57 | Región de Nagran, Arabia Saudita |

1.2.3 Fertilización

La fertilización es una práctica fundamental en los cítricos, mediante el cual se busca reducir gastos del cultivo, mejorar la calidad del fruto y disminuir la contaminación edáfica; los objetivos de la fertilización es aumentar la fertilidad del suelo y un incremento del rendimiento; esta práctica debe suplir los nutrientes ausentes en el suelo y reponer los elementos extraídos (Legaz y Primo, 1998).

Los minerales requeridos por los cítricos para alcanzar el valor nutricional y rendimientos óptimos provienen de la parte inorgánica del suelo, cuando la contribución del suelo no es suficiente se debe aplicar fertilizantes para suplir este requerimiento. Los macro y micronutrientes son elementos principales que no solo mejoran el rendimiento del cultivo, sino que también actúan mejorando la calidad de los frutos (Píccoli *et al.*, 2004).

En la fertilización de los cítricos, se destaca la importancia de proporcionar nitrógeno (N) y potasio (K), ya que investigaciones a nivel mundial han demostrado que estos nutrientes ejercen la mayor influencia en el rendimiento y la calidad de la fruta (Molina, 1999).

Para efectuar un correcto abonado es importante conocer las necesidades nutricionales anuales del cultivo, así poder incrementar la fertilidad del suelo y aumentar el rendimiento como mejorar la calidad de sus frutos (Quiñones *et al.*, 2010).

Vegas y Narrea (2011) indican que la determinación de la dosis óptima es un obstáculo en la fertilización, ya que esta consiste en alcanzar un nivel óptimo de suministro y así evitar efectos perjudiciales en el suelo; debido a que existen diversidades de suelos de fertilidad variada afectados por diferentes factores como la salinidad y mal drenaje, es necesario realizar los respectivos muestreos y análisis para determinar una adecuada fertilización para que la misma no resulte insuficiente ni excesiva y esta no se convierta en pérdidas económicas y contaminación ambiental.

Para la fertilización de cítricos se enfatiza el suministro de N y K ya que los resultados alcanzados de investigaciones a nivel mundial han encontrado que estos nutrientes son los que influyen en el rendimiento y calidad del fruto. La gran variación de dosificación de nutrientes en cítricos recomendadas en la literatura internacional generan controversia, ya que hay que considerar varios factores al realizar un programa de fertilización (Molina, 1999).

El Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas de Colombia DANE (2015) afirma que la controversia en la dosificación de los cítricos sería porque en dependencia del lugar los suelos presentan características químicas y físicas muy variada, las recomendaciones de fertilización deben ser puntuales, se debe desarrollar experiencia local y establecer datos de rendimientos, la cual se realiza con base en los análisis de suelos y foliares con el fin de calcular la cantidad de enmiendas y correctivos a aplicar.

Razeto (2005) menciona que la fertilización es la aplicación de los elementos minerales en diversas cantidades que se determina según el estado nutricional para el adecuado desarrollo del cultivo, el estado nutrimental de las plantas se puede determinar mediante análisis foliar. González y Tullo (2019) reiteran que los programas de fertilización deben realizarse previo análisis de suelo complementando con análisis foliar, teniendo en cuenta el patrón, variedades y edad del cultivo.

Quiñones *et al.* (2010) define que la necesidad nutrimental de un cultivo es la cantidad de elementos que consume la planta durante el ciclo vegetativo a lo largo de un año y que las hojas viejas se las debe considerar como fuente de nutrientes ya que parte de estos son aportados por las reservas que contienen las mismas.

Molina (1999) indica que los cítricos llevan a cabo la absorción de nutrientes de manera continua en todo el año, aunque esta alcanza su punto más destacado durante las fases de floración, desarrollo de frutas y después de la cosecha; además sugiere dosificar de acuerdo con la edad de los árboles, teniendo en cuenta la fisiología del cultivo ya que la cantidad de fertilizantes se incrementa cada año hasta que el árbol alcanza el desarrollo óptimo.

Factores para la dosificación de fertilizantes en los cítricos

Legaz y Primo (1998) señala que los factores a considerar para determinar la dosis de fertilizantes en los cultivos son:

Análisis del suelo y agua. Estos indican las características físico - químicas del suelo y que elementos existen de forma asimilable, también informan sobre los aportados por el agua usada en el riego.

Análisis foliar. Permite valorar la disponibilidad de reservas de la planta, revela la absorción real de los nutrientes por árbol e indica la existencia de antagonismos entre nutrientes.

Características del cultivo y plantación. Se debe tomar en cuenta la variedad, patrón y edad de las plantas que permiten valorar las necesidades nutritivas; el marco de plantación,

profundidad y drenaje del suelo, sistema de riego ayudan a establecer la forma de aplicación de los fertilizantes para garantizar una eficiente absorción de la planta.

1.3 Análisis foliar como indicador del estado nutrimental del limón

La evaluación foliar es el método más apropiado para examinar el estado nutricional de los árboles, ya que proporciona información acerca de la absorción real de nutrientes por la planta; además, revela la existencia de deficiencias o excesos nutricionales y sugiere la posible aparición de antagonismos entre distintos elementos (Quiñones *et al.*, 2010).

Los resultados de análisis foliares se pueden interpretar por tres métodos, el Sistema Integrado de Diagnóstico y Recomendación (DRIS), el método de Desviación del Óptimo Porcentual (DOP) y el método convencional o de Rangos de Suficiencia (RS) (Rodríguez *et al.*, 2018). Según Torri (2005), para el muestreo foliar de cítricos se toman hojas terminales de ramas no fructíferas.

Por medio del análisis foliar varios autores han determinado la concentración nutrimental del limón en diferentes localidades; Tabla 3 (Maldonado *et al.*, 2001), Tabla 4 (Les Aguerrea, 2014), Tabla 5 (Valdés y Palma, 2017), Tabla 6 (Rodríguez *et al.*, 2018).

Tabla 3. Rangos establecidos para el estado nutrimental de *Citrus aurantifolia* Swingle.

| Nutrimentos | | Deficiente | Bajo | Óptimo | Alto | Exceso |
|-------------|------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|--------|
| Nitrógeno | (%) | <1.81 | 1.82 – 2.49 | 2.50-3.17 | 3.18 – 3.85 | >3.86 |
| Fósforo | (%) | < 0.09 | 0.10 – 0.17 | 0.18 – 0.25 | 0.26 – 0.29 | >0.30 |
| Potasio | (%) | < 0.06 | 0.07 – 1.27 | 1.28 – 1.87 | 1.88 – 2.47 | >2.48 |
| Calcio | (%) | < 1.71 | 1.72 – 3.72 | 3.73 – 5.73 | 5.74 – 7.74 | >7.75 |
| Magnesio | (%) | < 0.10 | 0.11 – 0.36 | 0.37 – 0.62 | 0.63 – 0.88 | >0.89 |
| Hierro | (mg kg ⁻¹) | < 30 | 31 – 60 | 61 – 115 | 116 – 170 | >171 |
| Manganeso | (mg kg ⁻¹) | < 18 | 19 – 36 | 37 – 73 | 74 – 102 | >103 |
| Zinc | (mg kg ⁻¹) | < 10 | 11 – 21 | 22 – 32 | 33 – 43 | >44 |
| Cobre | (mg kg ⁻¹) | < 4.2 | 4.3 – 8.4 | 8.5 – 14.5 | 14.6 – 20.6 | >20.07 |
| Boro | (mg kg ⁻¹) | < 25 | 26 – 50 | 51 – 77 | 78 – 104 | >105 |

Fuente: Maldonado *et al.* (2001).

Tabla 4. Rangos estándares del estado nutrimental de *Citrus limon* (L.).

| Nutrimentos | | Muy Bajo | Bajo | Optimo | Alto | Muy Alto |
|-------------|-------|----------|-------|---------------|-------|----------|
| Nitrógeno | (%) | 1.83 | 2.05 | 2.06 – 2.48 | 2.49 | 2.78 |
| Fósforo | (%) | 0.10 | 0.12 | 0.13 – 0.15 | 0.16 | 0.18 |
| Potasio | (%) | 0.78 | 1.03 | 1.04 – 1.65 | 1.66 | 2.18 |
| Calcio | (%) | 2.78 | 3.65 | 3.66 – 5.17 | 5.18 | 6.06 |
| Magnesio | (%) | 0.20 | 0.25 | 0.26 – 0.33 | 0.34 | 0.39 |
| Azufre | (%) | 0.17 | 0.20 | 0.21 – 0.28 | 0.29 | 0.36 |
| Hierro | (ppm) | 80 | 118 | 119 – 231 | 232 | 340 |
| Manganeso | (ppm) | 14.64 | 23.48 | 23.49 – 53.66 | 53.67 | 86.07 |
| Zinc | (ppm) | 10 | 15 | 16 – 32 | 33 | 50 |
| Cobre | (ppm) | 3.52 | 5.47 | 5.48 – 11.85 | 11.86 | 18.45 |
| Boro | (ppm) | 31 | 46 | 47 – 90 | 91 | 134 |

Fuente: Les Aguerrea (2014).

Tabla 5. Niveles críticos establecidos para cítricos en base al peso seco.

| Nutrimentos | | Deficiencia | Adecuado | Exceso |
|-------------|-------|-------------|-------------|--------|
| Nitrógeno | (%) | < 1.9 | 2.1 – 2.4 | > 2.6 |
| Fósforo | (%) | < 0.1 | 0.12 – 0.16 | > 0.25 |
| Potasio | (%) | < 0.40 | 0.7 – 1.4 | > 1.8 |
| Calcio | (%) | < 1.6 | 3.0 – 5.5 | > 6.0 |
| Magnesio | (%) | < 0.16 | 0.25 – 0.7 | > 1.0 |
| Azufre | (%) | < 0.14 | 0.2 – 0.3 | > 0.6 |
| Hierro | (ppm) | < 35 | 60 – 120 | > 200 |
| Manganeso | (ppm) | < 16 | 25 – 200 | > 500 |
| Molibdeno | (ppm) | < 0.05 | 0.10 – 1.0 | > 5.0 |
| Zinc | (ppm) | < 16 | 25 – 100 | > 300 |
| Cobre | (ppm) | < 4.0 | 5 – 16 | > 22 |
| Boro | (ppm) | < 21 | 30 – 100 | > 250 |

Fuente: Valdés y Palma (2017).

Tabla 6. Rangos establecidos para el estado nutrimental de *Citrus latifolia* Tanaka.

| Nutrientos | | Mínimo | Óptimo | Máximo |
|-------------------|------------------------|---------------|---------------|---------------|
| Nitrógeno | (%) | 1.92 | 2.46 | 2.79 |
| Fósforo | (%) | 0.16 | 0.26 | 0.30 |
| Potasio | (%) | 0.73 | 1.36 | 2.11 |
| Calcio | (%) | 2.63 | 3.78 | 5.38 |
| Magnesio | (%) | 0.15 | 0.29 | 0.53 |
| Azufre | (%) | 0.19 | 0.23 | 0.36 |
| Hierro | (mg kg ⁻¹) | 196 | 340.86 | 890.00 |
| Manganeso | (mg kg ⁻¹) | 8 | 48.36 | 93.00 |
| Zinc | (mg kg ⁻¹) | 5 | 37.33 | 137.00 |
| Cobre | (mg kg ⁻¹) | 3 | 58.75 | 255.00 |
| Boro | (mg kg ⁻¹) | 108.42 | 243.88 | 808.99 |

Fuente: Rodríguez et al. (2018).

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Caracterización del área

El experimento se realizó en la Finca “Bacilio”, ubicada en la comuna Sinchal, provincia de Santa Elena, a 55 km de la cabecera cantonal, a una altura de 47 msnm; con coordenadas geográficas 1°56'11" S 80°41'35" W.

La zona presenta temperaturas de mayo a diciembre con promedio de 21.8 °C y entre los meses de enero a abril, 25.1 °C; humedad relativa 86 % y precipitación anual 627 mm y heliofanía anual 795.3 horas (INAMHI, 2021). El experimento se realizó de enero a diciembre del 2022.



Figura 1. Ubicación del área experimental (Google Earth, 2023).

2.2 Material biológico

Se utilizaron plantas de limón sutil (*Citrus aurantifolia-swingle*) injertadas sobre mandarina cleopatra (*Citrus reshni*) de aproximadamente 4 años, distribuidas a una distancia de siembra 6 x 5 m en un área de 4500 m². El patrón usado es tolerante a la tristeza de los cítricos (*Citrus tristeza closterovirus*), exocortis (*Citrus exocortis viroid*), psoriasis de los cítricos (*Citrus psorosis virus*) y xiloporosis (*Citrus xyloporosis viroid*), se desarrolla bien en terrenos francos, tiene gran resistencia a suelos salinos y produce frutos de buena calidad (González y Tullo, 2019).

2.3 Materiales, equipos e insumos

Materiales:

- Tarjetas forradas con plástico
- Cuaderno de campo
- Marcador
- Machete
- Cuchillo
- Excavadora

- Fundas herméticas
- Fundas de papel
- Tarrinas plásticas
- Sacos
- Fundas plásticas
- Herramientas para cosecha
- Agua destilada

Equipos:

- Balanza digital
- Balanza manual
- Bomba de fumigación
- Refractómetro
- pHmetro
- Flexómetro
- Exprimidor de jugo manual
- Calibrador Vernier digital
- Recipientes para muestras
- Cámara
- Calculadora

Insumos:

- Multimineral metalosato
- Fertilizantes: Yaramila, nitrato de amonio, sulfato de potasio y monofosfato de amonio MAP.

2.4 Características agroquímicas del suelo

Previo a la investigación se realizó un muestreo de suelos en el área experimental para lo cual se siguió la metodología establecida por (Bejarano E., 1974; Osorio, 2012), se tomó una muestra compuesta a partir de 9 submuestras a 30 cm de profundidad; la muestra compuesta fue enviada al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Estación Litoral Sur del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP. En la Tabla 7 se muestran los métodos utilizados para determinar el análisis de suelo.

Tabla 7. Metodología utilizada para la determinación de los elementos del análisis de suelo.

| Determinación | Metodología | Extractante |
|---------------------------|-------------------|-------------------------|
| NH ₄ , P | Colorimetría | |
| K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn | Absorción Atómica | Olsen Modificado pH 8.5 |
| S | Turbidimetría | Fosfato de Ca |
| B | Colorimetría | Monobásico |
| Cl | Volumetría | Pasta Saturada |
| pH | Potenciométrica | Suelo: agua (1:2.5) |

El suelo donde se realizó el experimento presentó una textura franca con materia orgánica baja, pH ligeramente alcalino y capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) de 53 meq/100 g, los elementos (NH₄, Zn, Fe, Mn) se encuentran en niveles bajos, cobre en nivel medio y en niveles altos (P, K, Ca, Mg, S, B), la suma de sus bases de 21.08 y la relación de estas se sitúan en nivel medio. El análisis de salinidad en extracto de pasta de suelos indica la conductividad eléctrica (C.E.) de 3.57 interpretándolo como un suelo ligeramente salino que puede reducir las cosechas de cultivos sensibles (Tabla 8).

Tabla 8. Características agroquímicas del suelo previo al inicio del experimento en el cultivo de limón (*Citrus aurantifolia* Swingle).

| Análisis de suelo | | | | Análisis de Salinidad en extracto de pasta de suelos | | | | | |
|-------------------------------|-------------|--------------------|---------------|---|-------------------------|-----------|----------------------|-------------|------------|
| pH | | 8 LAI | | pH | | 8.3 | | | |
| *NH₄ | | 12 B | | mS/cm | C.E. | 3.57 | | | |
| *P | | 25 A | | Ca | mg/L | 277.6 | | | |
| K | | 551 A | | Na | mg/L | 312 | | | |
| *Ca | | 3038 A | | Mg | mg/L | 55.0 | | | |
| *Mg | | 544 A | | K | mg/L | 38.5 | | | |
| *S | | 66 A | | Suma | mg/L | 628.6 | | | |
| *Zn | | 0.8 B | | meq/L | CO₃* | 0.2 | | | |
| | | | | | CO₃H* | 2.6 | | | |
| | | | | | SO₄* | 8 | | | |
| | | | | | Cl* | 22 | | | |
| Cu | | 2.0 M | | RAS | | | 4 | | |
| *Fe | | 9 B | | PSI (°) | | | 5 | | |
| *Mn | | 1.0 B | | C.I.C. meq/100 g | | | | | |
| *B | | 2.33 A | | | | | | | |
| Clase Textural: Franco | | | | Na | K | Ca | Mg | Suma | CIC |
| | | | | 9.7 | 0.73 | 35.3 | 6.3 | 52.03 | 53 |
| *M.O. (%) | | 0.6 B | | Interpretación (ug/ml): NH₄, P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl | | | | | |
| meq/100ml | | | | | | | | | |
| K | *Ca | *Mg | ∑Bases | B | | | Bajo | | |
| 1.41 A | 15.19 A | 4.48 A | 21.08 | M | | | Medio | | |
| Ca/Mg | Mg/K | Ca + Mg / K | | A | | | Alto | | |
| 3.39 M | 3.17 M | 13.92 M | | LAI | | | Ligeramente alcalino | | |

2.5 Características Físicoquímico del agua

Esta labor se la realizó en conjunto con el análisis de suelo, para esto se extrajo una muestra representativa en un recipiente esterilizado de los pozos someros, luego enviados al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Estación Litoral Sur del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, para la determinación de sus propiedades

fisicoquímicas y niveles de concentraciones de minerales. En la Tabla 9 se muestran los métodos utilizados para determinar el análisis de agua.

Tabla 9. Metodología utilizada para la determinación de los elementos del análisis de agua.

| Determinación | Método de Referencia | Técnica |
|-------------------------------|-------------------------------------|-------------------|
| Potencial de Hidrogeno (pH) | Método EPA 150.2 | |
| Conductividad Eléctrica (C.E) | Standard Methods 2510B/EPA 120.1 | Electrométrica |
| Sodio (Na) | Método EPA 273.1 | |
| Potasio (K) | Método EPA 258.1 | |
| Calcio (Ca) | Método EPA 215.1 | Absorción Atómica |
| Magnesio (Mg) | Método EPA 242.1 | |

El agua disponible para el cultivo de limón es de clase C3S1 (salinidad mediana a alta y bajo en sodio), con conductividad eléctrica 1517 mS/cm, pH 7.5 y el porcentaje de Sodio de 53.2 (Tabla 10).

Tabla 10. Características del agua previo al experimento en el cultivo de limon (*Citrus aurantifolia* Swingle).

| | | |
|-------------------------|--------------|-------|
| C.E. | mS/cm | 1517 |
| Ca | mg/L | 98.34 |
| Na | mg/L | 180.3 |
| Mg | mg/L | 24 |
| K | mg/L | 8.96 |
| *CO₃ | meq/L | ND |
| *HCO₃ | meq/L | 3.04 |
| *SO₄ | meq/L | 11.15 |
| *Cl | meq/L | 0.68 |
| pH | | 7.5 |
| RAS (°) | | 4 |
| PSI (°) | | 5 |
| Na (%) | | 53.2 |
| Clase | | C3 S1 |

IIINTERPRETACION

| | |
|--|---|
| C1: Aguas de salinidad baja | S1: Agua bajo en sodio |
| C2: Aguas de salinidad moderada | S2: Aguas medianas en sodio |
| C3: Aguas de salinidad mediana a alta | S3: Aguas de contenido alto de sodio |
| C4: Aguas de salinidad alta | S4: Aguas de contenido muy alto de sodio |
| C5: Aguas de salinidad muy alta | |
| C6: Aguas de salinidad excesiva | |

2.6 Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron tres dosis de nitrógeno (100, 150, 200), tres de fósforo (20, 30, 40) y tres dosis de potasio (50, 75, 100), todos ellos expresados en gramos planta⁻¹ año⁻¹ determinados de acuerdo con el análisis de suelo y agua con criterios de (Vegas y Narrea, 2011; Orrala *et al.*, 2012; Santistevan *et al.*, 2017; González y Tullo, 2019), más tres dosis de microelementos (en base a recomendaciones del fabricante).

Los tratamientos compuestos estuvieron dispuestos en un arreglo ortogonal L9 (3)⁴, según Taguchi (1988), los tratamientos son conjuntos ordenados de factores y dosis (tratamientos compuestos), que están predefinidos en matrices elaboradas para su aplicación directa en la experimentación (Tabla 11).

Tabla 11. Tratamientos establecidos en *Citrus aurantifolia*-Swingle según método Taguchi L9 (3)⁴.

| Tratamientos | Matriz método Taguchi (1988) | | | | Tratamientos | | | |
|--------------|---------------------------------|---|---|--------------------|--------------|---|------------------|----------------------------|
| | N | P | K | Micro Elementos | N | P ₂ O ₅ gramos planta ⁻¹ año ⁻¹ | K ₂ O | micro elementos (cc) |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 100 | 20 | 50 | 50 |
| 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 100 | 30 | 75 | 100 |
| 3 | 1 | 3 | 3 | 3 | 100 | 40 | 100 | 150 |
| 4 | 2 | 1 | 2 | 3 | 150 | 20 | 75 | 150 |
| 5 | 2 | 2 | 3 | 1 | 150 | 30 | 100 | 50 |
| 6 | 2 | 3 | 1 | 2 | 150 | 40 | 50 | 100 |
| 7 | 3 | 1 | 3 | 2 | 200 | 20 | 100 | 100 |
| 8 | 3 | 2 | 1 | 3 | 200 | 30 | 50 | 150 |
| 9 | 3 | 3 | 2 | 1 | 200 | 40 | 75 | 50 |

Las fuentes de Nitrógeno, Fósforo y Potasio fueron el fertilizante compuesto Yaramila Complex, Nitrato de Amonio, Monofosfato de Amonio y Sulfato de Potasio. Para cumplir con la dosis del fósforo (20 g planta⁻¹, 30 g planta⁻¹, 40 g planta⁻¹), el 25% de este elemento se tomó del Yaramila Complex y el 75% del Monofosfato de Amonio (MAP); todas las dosis de los tratamientos se aplicaron de manera directa al suelo.

Las diferentes combinaciones de dosis de N, P, K y microelementos estuvieron dispuestas en un diseño de bloques completamente al azar DBCA con cuatro réplicas, cada unidad experimental estuvo conformada por cuatro plantas.

2.7 Análisis estadístico de los resultados

Cuando hubo diferencias entre los tratamientos, se utilizó el Test de Tukey (≤ 0.05) mediante el software INFOSTAT versión profesional para Windows.

2.8 Manejo del experimento

Se realizó la limpieza del área experimental y la distribución de los tratamientos identificándolos con carteles.

2.8.1 Fertilización edáfica y foliar

Fertilización edáfica. Durante el experimento se realizaron tres aplicaciones; antes de la brotación, durante la floración y antes de la cosecha, los fertilizantes que se emplearon son Yaramila complex (Nitrógeno total 12% (N amoniacal 7%, nítrico 5%); Fósforo 11%; Potasio 18%; Azufre 8%; Magnesio 2.7%; Boro 0.015%; Hierro 0.2%; Manganeso 0.02%; Zinc 0.02%), nitrato de amonio (N 34% de este porcentaje el 17% es amoniacal y 17% nítrico), monofosfato de amonio MAP (nitrógeno 12%, fósforo 61%) y sulfato de potasio (nitrógeno 50%), estos se aplicaron en dos zanjas de 1.5 m de largo por 0.20 m de ancho y 0.10 m de profundidad, bajo la copa de los árboles.

Fertilización foliar. Mediante una bomba de 20 litros para fumigar se aplicó Metalosato Multimineral con dosis (50cc, 100cc y 150cc), se realizaron dos aplicaciones antes de la etapa de floración, este producto está compuesto por 1.0% Ca; 0.5% Cu; 0.5% Fe; 1.0% Mg; 0.5% Mn; 0.1% Mo; 0.5% Zn.

2.8.2 Riego

El sistema de riego fue por goteo, dependiendo del clima se aplicó cada 15 días desde el inicio del experimento.

2.8.3 Control de malezas

Se realizó deshierbes manuales y con motoguadaña de manera preventiva una vez por mes durante el experimento.

2.8.4 Control fitosanitario

Se hizo monitoreos frecuentes para prevenir la infesta de plagas. Hubo presencia de ácaros y minador para su control se realizaron dos aplicaciones de abamectina (50 cc/100 litros de agua, según recomendaciones del fabricante).

2.8.5 Cosecha

Se realizaron 5 cosechas manuales durante el periodo del proyecto de toda el área experimental, detallando los registros de estos por tratamientos, repetición y convertidos a Mg ha^{-1} .

2.9 Variables experimentales

2.9.1 Estado nutrimental del suelo

Al final de la temporada de garúa, se seleccionaron al azar 5 puntos de muestreo en la zona de la copa de los árboles, por tratamiento y repetición. Se utilizó una pala de acero inoxidable para tomar submuestras de suelo de 250 g a una profundidad de 30 cm en cada sitio. Posteriormente, las submuestras recolectadas se mezclaron quedando 1 kg de suelo de muestra representativa de cada tratamiento, cuales fueron enviado al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Estación Litoral Sur del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP, para la determinación de sus propiedades fisicoquímicas y niveles de concentraciones de minerales.

2.9.2 Estado nutrimental foliar

Se recolectaron hojas de color verde oscuro de una rama de los cuatro puntos cardinales por cada árbol de cada tratamiento y repetición, las muestras fueron lavadas, secadas, empaquetadas y marcadas en fundas de papel (Sadeghian, 2020), y enviadas al Laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Estación Litoral Sur del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias INIAP; esta actividad se realizó al inicio y fin el experimento para determinación de contenido de nutrientes.

2.9.3 Variables de producción

Se consideraron en base al tamaño y aspecto uniforme del fruto.

Peso del fruto. Se lavaron y secaron 8 frutos de muestras por repetición de cada uno de los tratamientos, con la balanza digital ACCULAB VICON se pesaron considerando el promedio del peso, variable expresada en gramos (g).

Diámetro ecuatorial y polar del fruto. Los frutos de muestras se midieron usando un calibre Vernier digital marca Stainless, los valores del diámetro ecuatorial y polar se promediaron por repetición y tratamiento en la quinta cosecha; variable expresada en milímetros (mm).

Rendimiento. La cosecha se realizó cuando los frutos alcanzaron la madurez fisiológica, cáscara lisa de color verde intenso. Durante el experimento se realizaron 5 cortes, se pesaron todos los frutos cosechados y derivados a Mg ha⁻¹.

2.9.4 Variables de calidad del fruto

Sólidos solubles totales (Grados Brix). Para la determinación de esta propiedad se utilizó un refractómetro digital BOECO DBR65 con el siguiente procedimiento:

- Con un exprimidor se obtuvo el jugo del fruto.
- Con la ayuda del gotero se tomó una muestra.
- Se coloca la muestra en la superficie del lente del refractómetro durante 3 segundos.

Se realizó la lectura correspondiente de sólidos solubles presente en el jugo, se promediaron los valores obtenidos por repetición y tratamiento.

Porcentaje de jugo. Los 8 limones de muestras se exprimieron utilizando un exprimidor manual para después el jugo extraído pesar con la balanza digital. Se calcula mediante la fórmula:

$$(\%) \text{ Jugo} = \frac{\text{CJ (g)}}{\text{Peso total de frutos de muestra (g)}} * 100$$

Donde

CJ: es la cantidad de jugo extraído. Se promediaron los valores resultantes por repetición de cada uno de los tratamientos.

Ph. Con un pHmetro marca APERA Instruments modelo PH20 se midió el pH del jugo de cada limón, los valores obtenidos se promediaron por repetición de cada tratamiento.

2.9.5 Relación beneficio costo.

La relación beneficio - costo, consideró un riguroso control de los egresos e ingresos relacionados con la mano de obra, labores agrotécnicas, cosecha más los costos de los tratamientos. Como ingreso se tomó como referencia el precio de \$15 por saco de 40 kg.

CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Estado nutrimental del suelo

La Tabla 12 detalla los resultados del análisis de fertilidad del suelo para cada uno de los tratamientos. Se observa que el contenido de nitrógeno es bajo en todos los tratamientos, probablemente debido a la falta de prácticas previas de análisis de suelo y fertilización por parte del agricultor. Acorde con la ley del mínimo, el rendimiento se ve determinado por el nutriente presente en menor cantidad; cualquier otro nutriente en exceso no puede compensar la carencia del elemento limitante (Zambrano y Gavilánez, 2019). Es importante señalar que este análisis se efectuó al final del experimento

En el caso del Fósforo se mantuvo en niveles altos; posiblemente se explica en la aplicación total de la dosis del Fósforo utilizando como fuente Yaramila complex y MAP. Hay que señalar también que de acuerdo a GINES (2023), en suelos con $\text{pH} > 7$ la solubilidad del Fósforo se reduce, debido al alto contenido de Calcio y Magnesio.

Entonces se puede asumir que la planta absorbió de manera adecuada Nitrógeno y Fósforo.

Tabla 12. Estado nutrimental del suelo al finalizar el experimento en el cultivo de limon (*Citrus aurantifolia* Swingle).

| Tratamientos | µg/ml | | | | | | | | | | |
|---|-----------------|---------|----------|-----------|----------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | NH ₄ | P | K | Ca | Mg | S | Zn | Cu | Fe | Mn | B |
| T1: N ₁₀₀ P ₂₀ K ₅₀ + *50cc | 7.00 B | 22.00 A | 556.33 A | 4103.00 A | 635.33 A | 90.33 A | 2.37 M | 3.43 M | 7.33 B | 5.67 M | 3.00 A |
| T2: N ₁₀₀ P ₃₀ K ₇₅ + *100 cc | 8.67 B | 19.33 M | 504.67 A | 4253.67 A | 719.67 A | 77.33 A | 2.50 M | 3.83 M | 8.00 B | 6.33 M | 3.00 A |
| T3: N ₁₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀ + *150 cc | 9.00 B | 20.67 A | 602.33 A | 4210.00 A | 749.33 A | 53.00 A | 2.57 M | 3.87 M | 7.33 B | 6.67 M | 2.97 A |
| T4: N ₁₅₀ P ₂₀ K ₇₅ + *150 cc | 7.00 B | 21.50 A | 530.50 A | 4037.00 A | 683.00 A | 62.00 A | 2.25 M | 3.60 M | 9.00 B | 6.50 M | 2.93 A |
| T5: N ₁₅₀ P ₃₀ K ₁₀₀ + *50 cc | 7.33 B | 23.33 A | 613.67 A | 4106.67 A | 698.67 A | 26.67 A | 2.47 M | 4.43 A | 9.00 B | 6.33 M | 2.71 A |
| T6: N ₁₅₀ P ₄₀ K ₅₀ + *100 cc | 8.33 B | 26.67 A | 568.33 A | 4097.67 A | 669.00 A | 36.33 A | 2.40 M | 4.10 A | 9.00 B | 6.67 M | 2.52 A |
| T7: N ₂₀₀ P ₂₀ K ₁₀₀ + *100 cc | 10.50 B | 21.50 A | 509.00 A | 4120.00 A | 717.00 A | 14.00 M | 1.95 M | 4.15 A | 8.50 B | 5.50 M | 2.90 A |
| T8: N ₂₀₀ P ₃₀ K ₅₀ + *150 cc | 7.00 B | 23.33 A | 542.00 A | 4094.00 A | 695.00 A | 60.67 A | 2.27 M | 4.03 M | 9.33 B | 6.33 M | 2.69 A |
| T9: N ₂₀₀ P ₄₀ K ₇₅ + *50 cc | 8.00 B | 21.67 A | 554.67 A | 3988.33 A | 730.67 A | 42.33 A | 2.40 M | 4.23 A | 9.67 B | 7.00 M | 2.67 A |

*Metalosate Multiminerale; Interpretación: A= Alto; M= Medio; B= Bajo

3.2 Estado nutrimental foliar

La concentración foliar de los elementos obtenidos (Tabla 13) se compararon con los planteados por Maldonado *et al.* (2001) en limon mexicano; por Les Aguerrea (2014) en *Citrus limon (L)*; Valdés y Palma (2017) en cítricos en general y por Rodríguez *et al.* (2018) en *Citrus latifolia* Tanaka.

Los resultados del muestreo inicial indican que el Nitrógeno se encuentra en nivel adecuado de acuerdo con los rangos establecidos por INIAP en 2.2 – 2.7. Sin embargo, Maldonado *et al.* (2001), propone rangos para el estado nutrimental de *Citrus aurantifolia* Swingle, con un intervalo óptimo de 2.5 – 3.17; de acuerdo con este autor los tratamientos están en niveles bajos a excepción del T₁ y T₃, para los rangos propuestos por Les Aguerrea (2014); Valdés y Palma (2017); Rodríguez *et al.* (2018), todos los tratamientos están en un nivel óptimo para el cítrico.

En Fósforo, INIAP reporta rangos adecuados de 0.1 – 0.3 siendo similar a los propuesto por Maldonado *et al.* (2001) y Rodríguez *et al.* (2018), para Les Aguerrea, (2014) los valores óptimos son de 0.13 a 0.15, siendo el T₇ el único en nivel adecuado. El reporte del INIAP indica que el Potasio se encuentra en deficiencia exceptuando el T₁, Maldonado *et al.* (2001) contrasta esta información teniendo intervalo de 1.28 a 1.87 como óptimo.

Los niveles en Calcio y Hierro se manifiestan excesivos según niveles establecidos por INIAP, corroborando este nivel por autores antes citados, a excepción de Rodríguez *et al.* (2018) que en Hierro reporta como nivel mínimo 196 y 890 máximo estando los valores obtenidos en este experimento dentro de estos resultados.

El Magnesio, Azufre, Zinc, Cobre, Manganeso y Boro se encuentran dentro de rangos nutrimentales adecuados, tomando los niveles críticos establecidos para limón sutil de Maldonado *et al.* (2001), exceptuando el Boro que supera el nivel óptimo.

Según el INIAP, en el análisis foliar realizado al final del experimento muestran niveles adecuados en casi todos los tratamientos (Tabla 14) en Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Magnesio, Azufre, Zinc, Cobre y Manganeso.

Comparando con Maldonado *et al.* (2001) indica que los rangos óptimos son de 0.37 – 0.62 %, 37 – 73 ppm, 8.5 – 14.5 ppm en Mg, Mn y Cu; con el Magnesio los tratamientos 1, 2, 3 y 6 están dentro del óptimo y los demás tratamientos por debajo de ese nivel; en el caso del Manganeso los niveles son deficientes comparados con el nivel óptimo reportado por

Maldonado, mientras que el Cobre los tratamientos 3, 6, 7 y 8 se encuentran en nivel excesivo.

Según Valdés y Palma (2017), los intervalos adecuados son de 2.1 a 2.4, 0.12 a 0.16 y 0.7 a 1.4 en N P K respectivamente, coincidiendo con los niveles del Nitrógeno y Potasio reportados por el INIAP, contrastando en el caso del Fósforo presentan nivel excesivo menos el T₉.

El Hierro, Boro y Calcio (exceptuando el T₁ y T₃ con nivel adecuado) según INIAP reportan niveles en exceso, coincidiendo con Rodríguez *et al.* (2018) en los intervalos de Calcio teniendo como óptimo 3.78%, pero difiere con el Hierro reportando como rango óptimo 340.86 mg kg⁻¹, teniendo los tratamientos rangos de 168 a 219 ppm estando por debajo del nivel óptimo reportado por este autor; en el caso del Boro presenta como rango mínimo 108.42 mg kg⁻¹ y óptimo 243.88 mg kg⁻¹, los valores reportados por el INIAP se encuentran dentro de estos niveles (a excepción del T₂, T₆ y T₉ que superan estos rangos); este mismo autor indica que el nivel óptimo de Zinc es de 37.33 y el Azufre es de 0.23, lo que indica que todos los tratamientos se acercan a ese nivel.

El resultado de concentración alcanzada para el limón sutil en Sinchal, tienen similitud con los rangos manifestados por los autores citados.

Tabla 13. Estado nutrimental foliar al inicio del experimento en el cultivo de limón (*Citrus aurantifolia* Swingle).

| Tratamientos | % | | | | | | Ppm | | | | |
|---|-----------|-----------|--------|---------|-----------|------------|---------|--------|----------|----------|----------|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | Zn | Cu | Fe | Mn | B |
| T1: N ₁₀₀ P ₂₀ K ₅₀ + *50cc | 2.60 A | 0.21 A | 1.0 A | 5.61 E | 0.37 A | 0.37 A | 28 A | 18 E | 406 E | 29 A | 108 A |
| T2: N ₁₀₀ P ₃₀ K ₇₅ + *100 cc | 2.40 A | 0.18 A | 0.57 D | 6.78 E | 0.50 A | 0.36 A | 25 A | 15 A | 194 E | 35 A | 105 A |
| T3: N ₁₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀ + *150 cc | 2.50 A | 0.16 A | 0.38 D | 6.45 E | 0.45 A | 0.39 A | 23 A | 13 A | 163 E | 33 A | 150 A |
| T4: N ₁₅₀ P ₂₀ K ₇₅ + *150 cc | 2.25 A | 0.19 A | 0.66 D | 6.39 E | 0.37 A | 0.38 A | 27 A | 15 A | 191 E | 30 A | 165 A |
| T5: N ₁₅₀ P ₃₀ K ₁₀₀ + *50 cc | 2.40 A | 0.17 A | 0.50 D | 6.48 E | 0.41 A | 0.35 A | 21 A | 14 A | 187 E | 32 A | 132 A |
| T6: N ₁₅₀ P ₄₀ K ₅₀ + *100 cc | 2.40 A | 0.18 A | 0.74 D | 6.54 E | 0.34 A | 0.39 A | 25 A | 16 A | 152 E | 30 A | 146 A |
| T7: N ₂₀₀ P ₂₀ K ₁₀₀ + *100 cc | 2.30 A | 0.15 A | 0.53 D | 6.84 E | 0.39 A | 0.35 A | 25 A | 14 A | 196 E | 32 A | 195 A |
| T8: N ₂₀₀ P ₃₀ K ₅₀ + *150 cc | 2.40 A | 0.16 A | 0.84 D | 6.00 E | 0.46 A | 0.33 A | 24 A | 13 A | 200 E | 40 A | 121 A |
| T9: N ₂₀₀ P ₄₀ K ₇₅ + *50 cc | 2.30 A | 0,18 A | 0.66 D | 6.54 E | 0.42 A | 0.33 A | 25 A | 14 A | 198 E | 32 A | 136 A |
| Intervalos Óptimos | 2.2 - 2.7 | 0.1 - 0.3 | 1 - 2 | 1.5 - 4 | 0.2 - 0.5 | 0.2 - 0.39 | 20 - 50 | 6 - 16 | 60 - 100 | 20 - 200 | 20 - 200 |

*Metalosate Multiminerale; Interpretación: D= Deficiente; A= Adecuado; E= Excesivo

Tabla 14. Estado nutrimental foliar al finalizar el experimento en el cultivo de limón (*Citrus aurantifolia* Swingle).

| Tratamientos | % | | | | | | Ppm | | | | |
|---|-----------|-----------|--------|---------|-----------|------------|---------|--------|----------|----------|----------|
| | N | P | K | Ca | Mg | S | Zn | Cu | Fe | Mn | B |
| T1: N ₁₀₀ P ₂₀ K ₅₀ + *50cc | 2.27 A | 0.19 A | 1.04 A | 3.84 A | 0.37 A | 0.24 A | 24 A | 14 A | 184 E | 32 A | 205 E |
| T2: N ₁₀₀ P ₃₀ K ₇₅ + *100 cc | 2.27 A | 0.18 A | 1.05 A | 4.36 E | 0.39 A | 0.25 A | 38 A | 14 A | 219 E | 34 A | 278 E |
| T3: N ₁₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀ + *150 cc | 2.27 A | 0.20 A | 1.15 A | 3.66 A | 0.37 A | 0.26 A | 26 A | 19 E | 168 E | 30 A | 215 E |
| T4: N ₁₅₀ P ₂₀ K ₇₅ + *150 cc | 2.20 A | 0.21 A | 1.21 A | 4.36 E | 0.36 A | 0.23 A | 25 A | 14 A | 185 E | 27 A | 191 A |
| T5: N ₁₅₀ P ₃₀ K ₁₀₀ + *50 cc | 2.33 A | 0.21 A | 1.21 A | 4.64 E | 0.36 A | 0.27 A | 29 A | 14 A | 158 E | 30 A | 206 E |
| T6: N ₁₅₀ P ₄₀ K ₅₀ + *100 cc | 2.10 D | 0.19 A | 1.14 A | 4.68 E | 0.36 A | 0.26 A | 28 A | 15 A | 176 E | 31 A | 258 E |
| T7: N ₂₀₀ P ₂₀ K ₁₀₀ + *100 cc | 2.27 A | 0.19 A | 1.23 A | 4.34 E | 0.35 A | 0.25 A | 27 A | 16 A | 172 E | 26 A | 232 E |
| T8: N ₂₀₀ P ₃₀ K ₅₀ + *150 cc | 2.23 A | 0.19 A | 1.21 A | 4.40 E | 0.34 A | 0.29 A | 29 A | 16 A | 174 E | 31 A | 223 E |
| T9: N ₂₀₀ P ₄₀ K ₇₅ + *50 cc | 2.17 D | 0.16 A | 1.17 A | 6.06 E | 0.42 A | 0.38 A | 31 A | 13 A | 186 E | 33 A | 374 E |
| Intervalos Óptimos | 2.2 - 2.7 | 0.1 - 0.3 | 1 - 2 | 1.5 - 4 | 0.2 - 0.5 | 0.2 - 0.39 | 20 - 50 | 6 - 16 | 60 - 100 | 20 - 200 | 20 - 200 |

*Metalosate Multiminerale; Interpretación: D= Deficiente; A= Adecuado; E= Excesivo

3.3 Variables de producción

En la tabla 15 se presentan las medias de:

Peso del fruto. Los resultados muestran que no existen diferencias significativas entre los tratamientos; el T₅ resultó con una media mayor a 46.34 g, comparando los resultados obtenidos con Valarezo *et al.* (2014); Chanduvi-García *et al.* (2023) en sus estudios encontraron que el peso de los frutos de limón fue de 35 g, a diferencia de lo alcanzado por Santistevan *et al.* (2017), en Colonche y Manglaralto con 48.7 y 56.6 g de peso promedio del fruto con aplicación de N₉₀₀ P₃₀₀ K₉₀₀, superando los valores conseguidos en esta investigación y de los investigadores antes mencionados. Este incremento del peso coincide con lo concluido por Ruiz *et al.* (2022), que el aumento de la dosis de N P K (1050 - 450 - 1050), esencialmente el Potasio hace que el fruto de naranja se torne más grande y con mayor peso.

Diámetro ecuatorial y polar. Los resultados indican diferencias significativas en ambas variables resaltando el T₅ y T₆, identificando que en el diámetro polar existen tres grupos estadísticos. Estos valores son superiores a los registrados por Santistevan *et al.* (2017), en el cual señala que en Colonche el diámetro del limón sutil fue de 35.2 mm y en Manglaralto 34.2 mm, Solís y Tomalá (2010) alcanzaron un diámetro de 41.2 mm con la aplicación de N₁₀₀₀ P₁₅₀ K₂₀₀, valor similar al encontrado por Chanduvi-García *et al.* (2023) con manejo convencional. Santistevan *et al.* recalca que a medida que aumentó los niveles de fertilización, obtuvo un incremento paulatino del diámetro del fruto del limon sutil.

González-Sicilia (1969) manifiesta que los elementos P y K son factores de calidad del fruto, pero el fósforo también induce a mejorar el tamaño radial e incrementar el jugo, lo que se traduce a un aumento de la masa del fruto.

Rendimiento. Los resultados muestran que los tratamientos son significativamente iguales; el T₄ resultó con una media mayor de 30.5 y el de menor rendimiento el T₁ con 22.9 Mg ha⁻¹. Pérez-Zamora (2004) en limon mexicano obtuvo 30 Mg ha⁻¹ con aplicación de N₂₄₀ P₀ K₀ g planta⁻¹ año⁻¹. Orrala *et al.* (2012) alcanzó rendimiento de 32.4 Mg ha⁻¹ aplicando N₁₀₀ P₁₅ K₄₀ en limón sutil siendo relativamente mayor a comparación del tratamiento testigo, coincidiendo con lo mencionado por Santistevan *et al.* 2017 que un incremento en la fertilización de N K aumenta el rendimiento.

Tabla 15. Variables de producción: peso del fruto (g), diámetro ecuatorial, diámetro polar (mm) y rendimiento (Mg ha⁻¹) de *Citrus aurantifolia*-Swingle.

| Tratamientos | PF | DE (mm) | DP | Rendimiento |
|---|---------|----------|-----------|------------------------|
| | (g) | | (mm) | (Mg ha ⁻¹) |
| | Medias | Medias | Medias | Medias |
| T1: N ₁₀₀ P ₂₀ K ₅₀ + *50 cc | 43.38 a | 41.61 b | 41.67 c | 22.9 a |
| T2: N ₁₀₀ P ₃₀ K ₇₅ + *100 cc | 45.09 a | 41.90 b | 42.43 c | 24.3 a |
| T3: N ₁₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀ + *150 cc | 43.91 a | 41.39 b | 42.21 c | 29.2 a |
| T4: N ₁₅₀ P ₂₀ K ₇₅ + *150 cc | 44.32 a | 42.62 b | 43.44 c | 30.5 a |
| T5: N ₁₅₀ P ₃₀ K ₁₀₀ + *50 cc | 46.34 a | 52.44 a | 53.17 a b | 29,9 a |
| T6: N ₁₅₀ P ₄₀ K ₅₀ + *100 cc | 46.15 a | 59.59 a | 60.45 a | 29.7 a |
| T7: N ₂₀₀ P ₂₀ K ₁₀₀ + *100 cc | 43.52 a | 43.06 b | 42.97 c | 26.7 a |
| T8: N ₂₀₀ P ₃₀ K ₅₀ + *150 cc | 44.11 a | 43.10 b | 43.52 c | 29.5 a |
| T9: N ₂₀₀ P ₄₀ K ₇₅ + *50 cc | 45.17 a | 42.69 b | 44.43 b c | 30.4 a |
| CV | 8.21 | 7.47 | 8.16 | 26.37 |
| p – valor | 0.9372 | < 0.0001 | < 0.0001 | 0.7876 |
| Tukey (≤ 0.05) | 8.7226 | 8.07103 | 8.93797 | 53.51390 |

PF: Peso del Fruto; DE: Diámetro Ecuatorial; DP: Diámetro Polar; *Metalosate Multimineral.

3.4 Variable de calidad del fruto

En la tabla 16 se presentan las medias de:

Sólidos Solubles Totales. Los resultados muestran que hay diferencias significativas entre tratamientos revelando que existen cuatro grupos estadísticos, siendo la media superior el T₉ con 8.14 y el T₃ de menor concentración con 7.5 grados Brix valores aproximados a los encontrados por Dorado *et al.* (2015) con 8.6 y 7.9 ° Brix.

pH. No existen diferencia entre los tratamientos en los valores de pH, siendo 2.1 a 2.2 el indicativo de esta variable, resultado similar encontrado por (Sosa y Yovera, 2020). Los valores encontrados por Castelán Primo (2017), están por debajo de los alcanzados en esta investigación e indica que los valores de pH se mantienen similares por la interacción de fertilización y disponibilidad de agua en el suelo.

Los valores alcanzados en ambas variables están dentro de los rangos establecidos por Puentes (2006); INEN (2016) siendo característicos de la calidad del limón sutil.

Porcentaje de jugo. Los valores obtenidos no presentan diferencias significativas, numéricamente el T₉ es de mayor porcentaje con 50.29, valor que se asemeja al encontrado por Solís y Tomalá (2010) con 49.11%; ambos resultados superan al encontrado por Valarezo *et al.* (2014) que registran un valor de 40% de jugo extraído. El aumento de este

valor, según González-Sicilia (1969) se debe a la acción de Potasio que incrementa la jugosidad del fruto.

Los resultados obtenidos son similares a los valores establecidos por el INEN (2016) como requisitos de calidad del limón sutil destinados para el consumo o para procesamiento industrial.

Tabla 16. Variables de calidad de frutos: Contenido de sólidos solubles totales (Grados Brix), porcentaje de jugo (%) y pH de *Citrus aurantifolia* Swingle.

| Tratamientos | SST (° Brix) | | PJ (%) | pH |
|---|-----------------|-----|-----------|---------|
| | Medias | | Medias | Medias |
| T1: N ₁₀₀ P ₂₀ K ₅₀ + *50 cc | 7.59 | d | 49.79 a | 2.13 a |
| T2: N ₁₀₀ P ₃₀ K ₇₅ + *100 cc | 7.61 | d | 48.59 a | 2.18 a |
| T3: N ₁₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀ + *150 cc | 7.56 | d | 47.25 a | 2.18 a |
| T4: N ₁₅₀ P ₂₀ K ₇₅ + *150 cc | 7.74 | c d | 47.96 a | 2.15 a |
| T5: N ₁₅₀ P ₃₀ K ₁₀₀ + *50 cc | 7.67 | c d | 49.79 a | 2.15 a |
| T6: N ₁₅₀ P ₄₀ K ₅₀ + *100 cc | 7.88 | b c | 48.24 a | 2.13 a |
| T7: N ₂₀₀ P ₂₀ K ₁₀₀ + *100 cc | 7.99 | a b | 48.93 a | 2.20 a |
| T8: N ₂₀₀ P ₃₀ K ₅₀ + *150 cc | 8.07 | a b | 46.67 a | 2.20 a |
| T9: N ₂₀₀ P ₄₀ K ₇₅ + *50 cc | 8.14 | a | 50.29 a | 2.15 a |
| CV | 1.31 | | 3.65 | 2.18 |
| p – valor | < 0.0001 | | 0.1045 | 0.2264 |
| Tukey (≤ 0.05) | 0.24415 | | 4.22235 | 0.11216 |

SST: Sólidos Solubles Totales; PJ: Porcentaje de Jugo; *Metalosate Multimíneral.

3.5 Relación beneficio – costo

El costo general relativo a todos los tratamientos asciende a 1876.4 dólares y comprende deshierbe, control fitosanitario (Abamectina), mano de obra de aplicación fitosanitarios y aplicación de fertilizantes, riego (Gasolina) con su respectiva mano de obra y cosecha (Tabla 17).

Los costos de los tratamientos consideró los fertilizantes aplicados por cada tratamiento derivados a kilogramos por hectárea. Para calcular los ingresos se toma como referencia 15 dólares el saco de 40 kilogramos al momento de vender en finca. La relación beneficio costo es positiva en todos los tratamientos (Tabla 18).

Tabla 17. Costos generales de labores agrotécnicas limón sutíl

| Actividad | Unidad | Cantidad | Precio unitario | Costo Total |
|--|---------------|-----------------|------------------------|--------------------|
| Deshierbe | Jornal | 10 | 15 | 150 |
| Control fitosanitario (Abamectina) | Litro | 2 | 85 | 170 |
| Mano de obra aplicación fitosanitarios | Jornal | 6 | 15 | 90 |
| Mano de obra aplicación fertilizantes | Jornal | 12 | 15 | 180 |
| Riego (Gasolina) | Galón | 36 | 2,4 | 86,4 |
| Mano de obra riego | Jornal | 20 | 15 | 300 |
| Cosecha | Jornal | 60 | 15 | 900 |
| Total general | | | | 1876,4 |

Tabla 18. Costos de tratamientos para determinar la relación Beneficio/Costo

| Tratamientos | Costo general | Costos tratamientos | | | | | Subtotal tratamientos | Costo total tratamientos | Rendimiento Sacos ha-1 | Ingresos* | Relación Beneficio/Costo |
|---|---------------|---------------------|-------|-------------------|--------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|------------------------|-----------|--------------------------|
| | | Yaramila | MAP | Nitrato de Amonio | Sulfato de Potasio | Metalosato Multimineral | | | | | |
| T1: N ₁₀₀ P ₂₀ K ₅₀ + 50 cc | 1876.4 | 73.7 | 69.5 | 62.7 | 39.6 | 22.1 | 267.6 | 2144.0 | 572.2 | 8583.0 | 4.0 |
| T2: N ₁₀₀ P ₃₀ K ₇₅ + 100 cc | 1876.4 | 110.4 | 104.3 | 59.8 | 59.5 | 44.2 | 378.2 | 2254.6 | 607.2 | 9108.0 | 4.0 |
| T3: N ₁₀₀ P ₄₀ K ₁₀₀ + 150 cc | 1876.4 | 147.2 | 139 | 57.0 | 79.4 | 66.3 | 488.9 | 2365.3 | 730.4 | 10 956.0 | 4.6 |
| T4: N ₁₅₀ P ₂₀ K ₇₅ + 150 cc | 1876.4 | 73.7 | 69.5 | 97.0 | 63.3 | 66.3 | 369.8 | 2246.2 | 762.1 | 11 431.5 | 5.1 |
| T5: N ₁₅₀ P ₃₀ K ₁₀₀ + 50 cc | 1876.4 | 110.4 | 104.3 | 94.2 | 83.2 | 22.1 | 414.2 | 2290.6 | 748.4 | 11 226.0 | 4.9 |
| T6: N ₁₅₀ P ₄₀ K ₅₀ + 100 cc | 1876.4 | 147.2 | 139 | 91.3 | 31.9 | 44.2 | 453.6 | 2330.0 | 741.7 | 11 125.5 | 4.8 |
| T7: N ₂₀₀ P ₂₀ K ₁₀₀ + 100 cc | 1876.4 | 73.7 | 69.5 | 131.3 | 87.1 | 44.2 | 405.8 | 2282.2 | 667.2 | 10 008.0 | 4.4 |
| T8: N ₂₀₀ P ₃₀ K ₅₀ + 150 cc | 1876.4 | 110.4 | 104.3 | 128.4 | 35.7 | 66.3 | 445.1 | 2321.5 | 736.5 | 11 047.5 | 4.8 |
| T9: N ₂₀₀ P ₄₀ K ₇₅ + 50 cc | 1876.4 | 147.2 | 139 | 125.5 | 55.6 | 22.1 | 489.4 | 2365.8 | 759.5 | 11 392.5 | 4.8 |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

El análisis foliar es un indicador muy importante pues permite conocer el estado nutricional de la planta y por lo tanto corregir de manera oportuna las dosis de fertilización edáfica.

En el rendimiento, las medias poblacionales de los tratamientos resultaron iguales, por lo tanto, se rechaza la hipótesis planteada.

La relación Beneficio - Costo es positiva en todos los tratamientos.

Recomendaciones

Se recomienda utilizar el análisis de suelo y foliar como indicadores del estado nutricional del limón sutil, por lo tanto, influenciar en el rendimiento y la calidad del fruto.

La relación Beneficio - Costo es positiva en todos los tratamientos resaltando el T₄: N₁₅₀ P₂₀ K₇₅ + 150 cc de microelementos con 5.1; nos permitiría recomendar este tratamiento a los productores de la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aburto González, C.A. *et al.* (2021) 'Nutrición De Limón Persa (Citrus Latifolia Tanaka) Mediante El Enfoque Del Método Racional', *Interciencia*, 46, pp. 37–42. Available at: <https://www.redalyc.org/journal/339/33965751006/html/>.
- Agusti, M. (2008) *Citricultura*. Mundi-Prensa. Available at: <https://elibro.net/es/lc/upse/titulos/35816>.
- Almadiy, A.A. *et al.* (2023) 'Partially substituting chemical NPK fertilizers and their impact on Eureka lemon trees (Citrus limon L. Burm) productivity and fruit quality', *Scientific Reports*, 13(1), p. 10506. Available at: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37457-7>.
- Ancillo, G. and Medina, A. (2015) *Los cítricos, electrónico*. PUV (Publicacions de la Universitat de València). Available at: <https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/6970> (Accessed: 21 July 2023).
- Bejarano E., W. (1974) 'Como tomar muestras de suelo para su análisis químico'. Available at: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/173> (Accessed: 18 November 2023).
- Castelán Primo, M.Á. (2017) 'Producción y calidad de limón persa (Citrus latifolia Tan) bajo condiciones de riego y fertilización en altas densidades de plantación en el estado de Campeche.' Available at: <http://colposdigital.colpos.mx:8080/xmlui/handle/10521/3894> (Accessed: 25 November 2023).
- Chanduvi-García, R. *et al.* (2023) 'Biofertilizante y su Correlación entre Parámetros Productivos y de Calidad en Limón Sutil (Citrus aurantifolia Swingle)', *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 41. Available at: <https://doi.org/10.28940/terra.v41i0.1685>.
- Ciampitti, I.A. and García, F.O. (2008) 'Requerimientos nutricionales. Absorción y extracción de macronutrientes y nutrientes secundarios. II. Hortalizas, frutales y forrajeras', *Marzo 2007*, 28 February. Available at: <http://lacs.ipni.net/article/LACS-1083> (Accessed: 4 July 2023).
- Conde Delgado, L.M. *et al.* (2018) 'La dosis de fertilización afecta el rendimiento y calidad en limón Persa (Citrus latifolia Tan.)', *Dialnet*, pp. 2–9.
- DANE (2015) *Bol_Insumos_nov_2015.pdf*. Available at: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/sipsa/Bol_Insumos_nov_2015.pdf (Accessed: 24 July 2022).
- Dorado Guerra, D., Grajales, L.C. and Ríos Rojas, L. (2015) 'Efecto del riego y la fertilización sobre el rendimiento y la calidad de la fruta de lima ácida Tahití Citrus latifolia Tanaka (Rutaceae)', *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*, 16(1), pp. 87–93. Available at: https://doi.org/10.21930/rcta.vol16_num1_art:382.
- F.A.O. (2002) 'Los fertilizantes y su uso'.

- FAOSTAT (2021). Available at: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/QCL/visualize> (Accessed: 20 July 2023).
- Ghosh, A. *et al.* (2020) 'Reproductive Behaviour of Lemon (*Citrus limon* Burm.) Affected by Different Pruning Intensities and Integrated Nutrient Management Under Various Growing Seasons', *National Academy Science Letters*, 43(1), pp. 81–84. Available at: <https://doi.org/10.1007/s40009-018-0777-0>.
- GINES, N.G. (2023) *Fertilizantes. Química y acción. 2ª edición*. Ediciones Mundi-Prensa.
- Gomez, G. *et al.* (2008) *Tecnología para el cultivo de los cítricos en la región caribe colombiana*. Available at: <https://doi.org/10.21930/978-958-8311-91-3>.
- González Segnana, L.R. and Tullo Arguello, C.C. (2019) *Guía Técnica de Cultivos de Cítricos*. Luis Roberto González Segnana. Paraguay (ISBN 978-99967-940-2-5). Available at: https://www.jica.go.jp/Resource/paraguay/espanol/office/others/c8h0vm0000ad5gk-e-att/gt_03.pdf (Accessed: 4 July 2023).
- González-Sicilia, E. (1969) 'Fertilización de las distintas especies y variedades de frutos cítricos', in *electronico. 1ª Semana Internacional de la Naranja. Conferencias Cítricas.*, Instituto de Agroquímica y Tecnología de alimentos, pp. 123–146. Available at: <https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/7123> (Accessed: 7 December 2023).
- Google Earth (2023). Available at: https://earth.google.com/web/search/1%c2%b056%e2%80%9910.4%e2%80%9d+S+80%c2%b041%e2%80%9936.8%e2%80%9d+W/@-1.93655029,-80.69329422,17.1516649a,221.91267348d,35y,140.80627456h,45.00041073t,0r/data=CigiJgokCXXVPGd_9f6_EZWe9HARMP-_GY8IERN2K1TAITUJKKRyLVTAOgMKATA (Accessed: 18 November 2023).
- GRIN (2012) *Citrus aurantiifolia information from NPGS/GRIN*. Available at: <http://web.archive.org/web/20121026063053/http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?10683> (Accessed: 6 July 2023).
- Hazarika, T.K. and Aheibam, B. (2019) 'Soil nutrient status, yield and quality of lemon (*Citrus limon* Burm.) cv. "Assam lemon" as influenced by bio-fertilizers, organics and inorganic fertilizers', *Journal of Plant Nutrition*, 42(8), pp. 853–863. Available at: <https://doi.org/10.1080/01904167.2019.1584213>.
- Hernández A., D.R., Mateus C., D. and Orduz Rodríguez, J.O. (2015) 'Características climáticas y balance hídrico de la lima ácida Tahití (*Citrus latifolia* Tanaka) en cinco localidades productoras de Colombia', *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 8(2), p. 217. Available at: <https://doi.org/10.17584/rcch.2014v8i2.3215>.
- IFA world fertilizer use manual (1992). Paris: IFA, International Fertilizer Industry Association.

- INAMHI (2017) *ANUARIO METEOROLOGICO 2013*, Google Docs. Available at: https://drive.google.com/file/d/1mroZYqKlyNjouAj0nlGD75AO9vDkhNYS/view?usp=embed_facebook (Accessed: 6 December 2023).
- INEC (2022) *INEC*. Available at: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZTEyY2NiZDI0YjIzYi00ZGQ1LTlkNGEtNDE1OGViM2Q1N2VlIiwidCI6ImYxNThhMmU4LWNhZWMTNDQwNi1iMGFiLWY1ZTI1OWJkYTExMiJ9&pageName=ReportSection> (Accessed: 9 August 2022).
- INEN (2016) *NTE INEN 1757 Segunda revisión - PDF Free Download*. Available at: <https://docplayer.es/72803190-Nte-inen-1757-segunda-revision.html> (Accessed: 7 December 2023).
- INIAP (1992) 'CLIMA, SUELOS, NUTRICION y FERTILIZACION DE CULTIVOS EN EL LITORAL ECUATORIANO'. Available at: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/1631/1/Manual%20T%C3%A9cnico%20No.%2026.pdf> (Accessed: 22 July 2022).
- Legaz, F. and Primo-Millo, E. (1998) 'Normas para la fertilización de los agríos', *electronico* [Preprint]. Available at: <https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/7804> (Accessed: 21 July 2023).
- Les Aguerrea, H. (2014) 'Curva de dinámica nutricional del cultivo del limón en Chile'. Available at: <https://academica-e.unavarra.es/xmlui/handle/2454/15388> (Accessed: 25 November 2023).
- Maldonado T., R. *et al.* (2001) 'Estado nutrimental del limón mexicano en suelos calcimórficos', *Terra Latinoamericana*, 19(2), pp. 163–174. Available at: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57319207> (Accessed: 24 November 2023).
- Mateus Cagua, D.M. and Ordúz Rodríguez, J.O. (2012) 'Generalidades de los cítricos y recomendaciones agronómicas para su cultivo en Colombia', in. Corporación Universitaria Lasallista. Available at: <http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/handle/10567/561> (Accessed: 25 November 2023).
- Mengel, D.K. and Kirkby, E.A. (2000) 'Principios de Nutrición Vegetal'. Available at: https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/66737/mod_resource/content/2/P_RINCIPIOS%20DE%20NUTRICI%C3%93N%20VEGETAL.pdf.
- Molina, E. (1999) *Nutrición y fertilización de la naranja.pdf*. Available at: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D4E5F648629449B0852579A30079AC9D/\\$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20naranja.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/D4E5F648629449B0852579A30079AC9D/$FILE/Nutrici%C3%B3n%20y%20fertilizaci%C3%B3n%20de%20la%20naranja.pdf) (Accessed: 24 July 2022).
- Ordúz-Rodríguez, J.O. and Cagua, D.M.M. (2012) 'Generalidades de los cítricos y recomendaciones agronómicas para su cultivo en Colombia'.

- Orrala Borbor, N., Solís L., A. and Tomalá C., M. (2012) ‘Efecto de NPK en la Producción de Citrus Aurantifolia Swingle V. Sutil en Sinchal, Santa Elena.’, *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 1(1). Available at: <https://doi.org/10.26423/rctu.v1i1.5>.
- Osorio, N.W. (2012) ‘TOMA DE MUESTRAS DE SUELOS PARA EVALUAR LA FERTILIDAD DEL SUELO’, 1(1).
- Pérez-Zamora, O. (2004) ‘RENDIMIENTO Y CONCENTRACIÓN NUTRIMENTAL FOLIAR DE ÁRBOLES DE LIMÓN MEXICANO FERTILIZADOS CON NITRÓGENO, FÓSFORO Y POTASIO’.
- Píccoli, A.B., Martínez, G.C. and Rodríguez, V.A. (2004) ‘Comportamiento de concentraciones foliares de Ca y Mg en naranjo (*Citrus sinensis*) variedad valencia late en dos épocas del año’, *Agrotecnia*, (13), pp. 8–11. Available at: <https://doi.org/10.30972/agr.013444>.
- Posada, F.C. and Pérez, N.J.V. (2015) ‘Dinámica de las relaciones nutricionales: antagonismos y sinergismos’.
- Puente Huera, C.J. (2006) *Determinación de las Características Físicas y Químicas del Limón sutil (citrus aurantifolia swingle)*. bachelorThesis. Available at: <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/352> (Accessed: 5 July 2023).
- Quinones, A. *et al.* (2010) *Abonado de los cítricos, electrónico*. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino, pp. 193–204. Available at: <https://redivia.gva.es/handle/20.500.11939/7071> (Accessed: 22 July 2023).
- Quirumbay Tomalá, J.L. (2021) *Determinación de las propiedades físicas y relaciones matemáticas de limón sutil, citrus aurantifolia Swingle, cultivado en la comuna Febres Cordero*. bachelorThesis. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/6423> (Accessed: 20 July 2023).
- Razeto M., B. (2005) *EL LIMONERO*. Bruno Razeto. Santiago, Chile: Bruno Razeto, Edición y Comercialización de Libros (ISBN, 956-299-702-2). Available at: <https://bibliotecadigital.fia.cl/bitstream/handle/20.500.11944/145482/EL%20LIMONERO.PDF;jsessionid=9ED3965F169ED9DE7C69D3842A5A290B?sequence=1> (Accessed: 9 July 2023).
- Rebolledo-Martínez, L. *et al.* (2019) ‘Asociación de frutales de limón persa (*Citrus latifolia*) y palma de coco (*Cocos nucifera* L.) con el aporte de materia seca por cultivos anuales’, *Rev. iberoam. bioecon. cambio clim.*, 5(10), pp. 1248–1266. Available at: <https://doi.org/10.5377/ribcc.v5i10.8968>.
- Rodríguez Polanco, E., Gutiérrez Díaz, J.S. and Orduz Rodríguez, J.O. (2018) ‘Diagnostico nutricional del cultivo de la lima ácida Tahití [*Citrus latifolia* (Yu Tanaka) Tanaka] en el departamento del Tolima (Colombia)’, *Temas agrarios*, 23(2), pp. 144–153. Available at: <https://biblat.unam.mx/es/revista/temas-agrarios/articulo/diagnostico-nutricional-del-cultivo-de-la-lima-acida-tahiti-citrus-latifolia-yu-tanaka-tanaka-en-el-departamento-del-tolima-colombia> (Accessed: 23 November 2023).

- Ruiz Camacho, W., Julca Otiniano, A. and Colmenares Mayanga, W. (2022) ‘Efecto de la fertilización sobre la naranja variedad Valencia en tres zonas agroecológicas en la Provincia de Chanchamayo, Junín, Perú’, *Idesia (Arica)*, 40(4), pp. 39–44. Available at: <https://doi.org/10.4067/S0718-34292022000400039>.
- Sadeghian, S. (2020) ‘Análisis foliar: Una guía para evaluar el estado nutricional del café.’, *Avances Técnicos Cenicafé*, pp. 1–4. Available at: <https://doi.org/10.38141/10779/0515>.
- SANCHEZ REYS, C. (2005) *PRODUCCION Y COMERCIALIZACION DE CITRICOS*. 1a. ed., 1a. reimp. S.P.I.,.
- Santistevan, M. *et al.* (2017) ‘Niveles Crecientes de N y K en el Cultivo de Limón’ Sutil’ (Citrus aurantifolia Swingle) en Santa Elena, Ecuador’, 5.
- Santistevan, M., Julca, A. and Helfgott, S. (2015) ‘Caracterización de las fincas productoras del cultivo limón en las localidades de Manglaralto y Colonche, (Santa Elena, Ecuador).’, *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, 3(1), pp. 133–142. Available at: <https://doi.org/10.26423/rctu.v3i1.81>.
- Sheikh, K.H.A. *et al.* (2021) ‘Response of Yield and Fruit Quality to Foliar Application of Micronutrients in Lemon [Citrus limon (L.) Burm.] cv. Assam Lemon’, *Journal of Horticultural Sciences*, 16(2), pp. 144–151. Available at: <https://www.redalyc.org/journal/5770/577074107005/> (Accessed: 17 November 2023).
- SIPA (2022). Available at: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas> (Accessed: 21 July 2022).
- Solís Lucas, L.A. and Tomalá Carvajal, M.E. (2010) “EFECTO DE NPK EN LA PRODUCCIÓN DE *Citrus aurantifolia* Swingle V. SUTIL EN LA ZONA DE SINCHAL - BARCELONA, CANTÓN SANTA ELENA”. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Available at: <https://repositorio.upse.edu.ec/bitstream/46000/922/1/SOL%C3%8DS%20LUCAS%20LIGIA%20Y%20TOMAL%C3%81%20CARVAJAL%20MARIA.pdf>.
- Sosa García, K.A. and Yovera Ramos, M.D. (2020) ‘Determinación de las condiciones óptimas del tratamiento enzimático acoplado a un proceso de ultrafiltración para la obtención de jugo clarificado de Limón Sutil (Citrus aurantifolia)’, *Universidad Nacional de Piura* [Preprint]. Available at: <http://repositorio.unp.edu.pe/handle/20.500.12676/2376> (Accessed: 6 July 2023).
- Sumba Bustamante, R., Vinueza Ramirez, M. and Pibaque Molina, T. (2021) ‘Canales de distribución en las ventas de limón de los productores de la parroquia Ayacucho, cantón Santa Ana, provincia de Manabí | Revista Publicando’. Available at: <https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/2247> (Accessed: 21 June 2022).
- Taguchi, Y. (1988) *Diseño robusto utilizando los métodos Taguchi*. Ediciones Díaz de Santos.

Torri, S. (2005) ‘Análisis foliar’, in.

Valarezo Concha, A. *et al.* (2014) ‘Guía técnica sobre el manejo de los cítricos en el Litoral ecuatoriano’. Available at: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1194> (Accessed: 4 July 2023).

Valdés Fabres, A.J. and Palma Mendoza, J.F. (2017) *Características Nutricionales y Edáficas de principales frutales en Chile*. Chile. Available at: <https://sqmnutrition.com/wp-content/uploads/libroedafico.pdf> (Accessed: 16 November 2023).

Vegas, U. and Narrea, M. (2011) ‘Manejo integrado del cultivo de limón’, *UNALM-AGROBANCO, Piura, Perú*. [Internet], [Citado 10 ene 2018]. Disponible en: http://www.agrobanco.com.pe/pdfs/CapacitacionesProductores/Limon/MANEJO_INTEGRADO_DEL_CULTIVO_DE_LIMON.pdf [Preprint].

Zambrano, N. and Gavilanez, Á.A.L. (2019) ‘Evaluación de la Ley del Mínimo en *Hordeum Vulgare*’, *REVISTA MULTIDISCIPLINARIA DE DESARROLLO AGROPECUARIO, TECNOLÓGICO, EMPRESARIAL Y HUMANISTA.*, 1(1), p. 4. Available at: <https://dateh.es/index.php/main/article/view/53>.

ANEXOS

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------------|----|----------------|-------------------|------|
| Peso fruto (g) | 36 | 0,09 | 0,00 | 8,21 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|----|-------|------|---------|
| Modelo | 37,69 | 8 | 4,71 | 0,35 | 0,9372 |
| tratamientos | 37,69 | 8 | 4,71 | 0,35 | 0,9372 |
| Error | 362,91 | 27 | 13,44 | | |
| Total | 400,60 | 35 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,72260

Error: 13,4409 gl: 27

| tratamientos | Medias | n | E.E. |
|--------------|--------|---|--------|
| T5 | 46,34 | 4 | 1,83 A |
| T6 | 46,15 | 4 | 1,83 A |
| T9 | 45,17 | 4 | 1,83 A |
| T2 | 45,09 | 4 | 1,83 A |
| T4 | 44,32 | 4 | 1,83 A |
| T8 | 44,11 | 4 | 1,83 A |
| T3 | 43,91 | 4 | 1,83 A |
| T7 | 43,52 | 4 | 1,83 A |
| T1 | 43,38 | 4 | 1,83 A |

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

Ilustración 1. Análisis estadístico de peso de fruto

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|--------------------|----|----------------|-------------------|------|
| D. ecuatorial (mm) | 36 | 0,80 | 0,75 | 7,47 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|---------|----|--------|-------|---------|
| Modelo | 1271,54 | 8 | 158,94 | 13,81 | <0,0001 |
| Tratamientos | 1271,54 | 8 | 158,94 | 13,81 | <0,0001 |
| Error | 310,71 | 27 | 11,51 | | |
| Total | 1582,26 | 35 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,07103

Error: 11,5079 gl: 27

| Tratamientos | Medias | n | E.E. |
|--------------|--------|---|--------|
| T6 | 59,59 | 4 | 1,70 A |
| T5 | 52,44 | 4 | 1,70 A |
| T8 | 43,10 | 4 | 1,70 B |
| T7 | 43,06 | 4 | 1,70 B |
| T9 | 42,96 | 4 | 1,70 B |
| T4 | 42,62 | 4 | 1,70 B |
| T2 | 41,90 | 4 | 1,70 B |
| T1 | 41,61 | 4 | 1,70 B |
| T3 | 41,39 | 4 | 1,70 B |

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

Ilustración 2. Análisis estadístico de diámetro ecuatorial

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|---------------|----|----------------|-------------------|------|
| D. polar (mm) | 36 | 0,78 | 0,71 | 8,16 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|---------|----|--------|-------|---------|
| Modelo | 1321,72 | 8 | 165,22 | 11,71 | <0,0001 |
| Tratamientos | 1321,72 | 8 | 165,22 | 11,71 | <0,0001 |
| Error | 381,05 | 27 | 14,11 | | |
| Total | 1702,77 | 35 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=8,93797

Error: 14,1129 gl: 27

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | |
|--------------|--------|---|------|-----|
| T6 | 60,45 | 4 | 1,88 | A |
| T5 | 53,17 | 4 | 1,88 | A B |
| T9 | 44,43 | 4 | 1,88 | B C |
| T8 | 43,52 | 4 | 1,88 | C |
| T4 | 43,44 | 4 | 1,88 | C |
| T7 | 42,97 | 4 | 1,88 | C |
| T2 | 42,43 | 4 | 1,88 | C |
| T3 | 42,21 | 4 | 1,88 | C |
| T1 | 41,67 | 4 | 1,88 | C |

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

Ilustración 3. Análisis estadístico de diámetro polar

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-------------|----|----------------|-------------------|------|
| Grados Brix | 36 | 0,85 | 0,80 | 1,31 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|------|-------|---------|
| Modelo | 1,56 | 8 | 0,20 | 18,56 | <0,0001 |
| Tratamientos | 1,56 | 8 | 0,20 | 18,56 | <0,0001 |
| Error | 0,28 | 27 | 0,01 | | |
| Total | 1,85 | 35 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,24415

Error: 0,0105 gl: 27

| Tratamientos | Medias | n | E.E. | |
|--------------|--------|---|------|-----|
| T9 | 8,14 | 4 | 0,05 | A |
| T8 | 8,07 | 4 | 0,05 | A B |
| T7 | 7,99 | 4 | 0,05 | A B |
| T6 | 7,88 | 4 | 0,05 | B C |
| T4 | 7,74 | 4 | 0,05 | C D |
| T5 | 7,67 | 4 | 0,05 | C D |
| T2 | 7,61 | 4 | 0,05 | D |
| T1 | 7,59 | 4 | 0,05 | D |
| T3 | 7,56 | 4 | 0,05 | D |

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

Ilustración 4. Análisis estadístico de sólidos solubles totales expresados en grados Brix

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| % jugo | 36 | 0,36 | 0,17 | 3,65 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|--------|----|------|------|---------|
| Modelo | 47,47 | 8 | 5,93 | 1,88 | 0,1045 |
| Tratamientos | 47,47 | 8 | 5,93 | 1,88 | 0,1045 |
| Error | 85,04 | 27 | 3,15 | | |
| Total | 132,51 | 35 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=4,22235

Error: 3,1495 gl: 27

| Tratamientos | Medias | n | E.E. |
|--------------|--------|---|--------|
| T9 | 50,29 | 4 | 0,89 A |
| T1 | 49,79 | 4 | 0,89 A |
| T5 | 49,79 | 4 | 0,89 A |
| T7 | 48,93 | 4 | 0,89 A |
| T2 | 48,59 | 4 | 0,89 A |
| T6 | 48,24 | 4 | 0,89 A |
| T4 | 47,96 | 4 | 0,89 A |
| T3 | 47,25 | 4 | 0,89 A |
| T8 | 46,67 | 4 | 0,89 A |

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

Ilustración 5. Análisis estadístico de porcentaje de jugo

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|----------|----|----------------|-------------------|------|
| pH | 36 | 0,30 | 0,09 | 2,18 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|------|----|---------|------|---------|
| Modelo | 0,03 | 8 | 3,2E-03 | 1,44 | 0,2264 |
| Tratamientos | 0,03 | 8 | 3,2E-03 | 1,44 | 0,2264 |
| Error | 0,06 | 27 | 2,2E-03 | | |
| Total | 0,09 | 35 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,11216

Error: 0,0022 gl: 27

| Tratamientos | Medias | n | E.E. |
|--------------|--------|---|--------|
| T7 | 2,20 | 4 | 0,02 A |
| T8 | 2,20 | 4 | 0,02 A |
| T3 | 2,18 | 4 | 0,02 A |
| T2 | 2,18 | 4 | 0,02 A |
| T4 | 2,15 | 4 | 0,02 A |
| T9 | 2,15 | 4 | 0,02 A |
| T5 | 2,15 | 4 | 0,02 A |
| T6 | 2,13 | 4 | 0,02 A |
| T1 | 2,13 | 4 | 0,02 A |

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

Ilustración 6. Análisis estadístico de pH

Rendimiento kg/planta

| Variable | N | R ² | R ² Aj | CV |
|-----------------------|----|----------------|-------------------|-------|
| Rendimiento kg/planta | 36 | 0,24 | 0,00 | 26,37 |

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo I)

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor |
|--------------|----------|----|--------|------|---------|
| Modelo | 3747,86 | 11 | 340,71 | 0,69 | 0,7374 |
| repeticiones | 1465,51 | 3 | 488,50 | 0,99 | 0,4163 |
| tratamientos | 2282,36 | 8 | 285,29 | 0,58 | 0,7876 |
| Error | 11898,04 | 24 | 495,75 | | |
| Total | 15645,90 | 35 | | | |

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=53,51390

Error: 495,7517 gl: 24

| tratamientos | Medias | n | E.E. |
|--------------|--------|---|---------|
| T4 | 91,55 | 4 | 11,13 A |
| T9 | 91,25 | 4 | 11,13 A |
| T5 | 89,90 | 4 | 11,13 A |
| T6 | 89,10 | 4 | 11,13 A |
| T8 | 88,45 | 4 | 11,13 A |
| T3 | 87,75 | 4 | 11,13 A |
| T7 | 80,15 | 4 | 11,13 A |
| T2 | 73,05 | 4 | 11,13 A |
| T1 | 68,73 | 4 | 11,13 A |

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

Ilustración 7. Análisis estadístico de rendimiento kg planta



Ilustración 8. Distribución de los tratamientos



Ilustración 9. Aplicación foliar de micronutrientes



Ilustración 10. Dosificación de fertilizantes



Ilustración 11. Aplicación de fertilizantes al nivel de la copa de la planta



Ilustración 12. Muestreo de suelo



Ilustración 13. Recolección de frutos para sus respectivos análisis