UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

EFECTO DE TRES DOSIS DE UN NANO-FERTILIZANTE FOLIAR EN EL CULTIVO DE ORÉGANO CHINITO (*Origanum vulgare* L.) EN EL DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA 2024

TESIS

Presentada por:

Bach. Diana Lizeth Mamani Mendoza

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO AGRÓNOMO

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

EFECTO DE TRES DOSIS DE UN NANO-FERTILIZANTE FOLIAR EN EL CULTIVO DE ORÉGANO CHINITO (*Origanum vulgare* L.) EN EL DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA 2024

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 29 DE ABRIL DEL 2026, SIENDO EL JURADO CALIFICADOR:

PRESIDENTE:

Dr. OSCAR OCTAVIO FERNANDEZ CUTIRE

SECRETARIO:

Dra. NELLY ARÉVALO SOLSOL

VOCAL:

Dr. JUAN CARLOS TEJADA VIZCARRA

ASESOR:

Dra. NELLY ARÉVALO SOLSOL

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo, Dra. NELLY ARÉVALO SOLSOL, en mi condición de asesora de la tesis titulado: "EFECTO DE TRES DOSIS DE UN NANO-FERTILIZANTE FOLIAR EN EL CULTIVO DE ORÉGANO CHINITO (Origanum vulgare L.) EN EL DISTRITO DE LA YARADA LOS PALOS, TACNA 2024", presentado por la Bachiller Diana Lizeth Mamani Mendoza, para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo.

Habiendo cumplido con lo establecido en el reglamento de originalidad y de similitud de trabajos de investigación y producción intelectual, considerando que según la revisión, evaluación y análisis realizado a través del software de similitud textual TURNITIN, cuenta con el nivel de similitud permitido cuyo porcentaje es 4 %. Por lo que CERTIFICO LA SIMILARIDAD de la tesis, está de acuerdo al nivel PERMITIDO, para continuar con los trámites correspondientes y para su publicación en el repositorio Institucional.

Se emite el presente certificado con fines de continuar con los trámites respectivos para su obtención del título profesional.



Dra. NELLY ARÉVALO SOLSOL
DNI: 00402471



Tesista: DIANA LIZETH MAMANI MENDOZA
DNI: 73275537

DEDICATORIA

Dedico este logro, en primer lugar, a Dios, por ser mi guía y fortaleza, y por brindarme sabiduría y perseverancia para superar cada desafío.

A mis padres, Lucio y, en especial a Gregoria, por sus enseñanzas, su fuerza y su apoyo incondicional, que son la herencia más valiosa que pudiera recibir.

A mis hermanos, César y Fredy, por apoyarme en cada etapa de mi vida y por darme siempre el aliento necesario para seguir adelante. Su presencia ha sido fundamental en mi vida y en este camino académico.

A mis tíos, Hilario y Susana, por brindarme su cariño y apoyo durante todos estos años.

AGRADECIMIENTO

A mis docentes de la Escuela Profesional de Agronomía, con sus consejos y enseñanzas, que serán de vital importancia en nuestro desempeño profesional a futuro.

A la Dra. Nelly Arévalo Solsol, Dr. Oscar Fernandez Cutire y al Dr. Juan Carlos Tejada Vizcarra por su valiosa asesoría en la ejecución y culminación de este trabajo de investigación.

Asimismo, agradezco al Ing. Martin Elescano Calderón por sus valiosos consejos y por motivarme siempre a seguir preparándome.

Finalmente, agradezco a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann por el financiamiento y las condiciones brindadas para la realización de esta investigación, que fortalecieron mi formación científica y profesional.

CONTENIDO

DEDICATORIA iv
AGRADECIMIENTO v
CONTENIDO vi
ÍNDICE DE TABLAS xi
ÍNDICE DE FIGURAS xii
ÍNDICE DE ANEXOS xiii
RESUMEN xv
ABSTRACT xvii
INTRODUCCIÓN 1
CAPÍTULO I 4
1.1 Planteamiento del Problema 4
1.2 Formulación del Problema 5
1.2.1 Problema General 5
1.2.2 Problemas Específicos 5
1.3 Justificación 6
CAPÍTULO II 8
2.1 Objetivos 8
2.1.1 Objetivo General 8
2.1.2 Objetivo Específico 8
2.2 Hipótesis 9
2.2.1 Hipótesis General 9

2.2.2 Hipótesis Específica 9
2.3 Variables 9
2.3.1 Variable Independiente 9
2.3.2 Variable Dependiente 10
CAPÍTULO III 11
3.1 Antecedentes 11
3.1.1 Antecedentes Internacionales 11
3.1.2 Antecedentes Locales 12
3.2 Marco Teórico 13
3.2.1 Conceptos Generales de Origanum vulgare L. 13
3.2.1.1 Aspectos Morfológicos de *Origanum vulgare L.* 14
3.2.1.2 Requerimientos Climáticos de *Origanum vulgare L. ssp. vulgare* 15
3.2.1.3 Condiciones Óptimas del Suelo de *Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare* 16
3.2.2 Nutrición y Fertilización Para el Cultivo de Origanum vulgare L. 17
3.2.3 Aceites esenciales 18
3.2.4 La Nutrición en las Plantas 20
3.2.5 Influencia de micronutrientes en Origanum vulgare L. 20
3.2.5.1 Importancia del Zinc 21
3.2.5.2 Importancia del Hierro 22
3.2.5.3 Importancia del Manganeso 23

3.2.5.4 Importancia del Cobre 23
3.2.5.5 Importancia del Boro 24
3.2.5.6 Importancia del Molibdeno 25
3.2.6 Impacto de los nano fertilizantes 25
3.2.7 Nano-fertilizante “FlorControl” 27
3.2.8 Uso de FlorControl 28
3.3 Marco Conceptual 29
3.3.1 Fenología del orégano 29
3.3.2 Biomasa vegetal 29
3.3.3 Materia fresca 29
3.3.4 Materia seca 30
3.3.5 Porcentaje Comercial Seco 30
3.3.6 Aceites esenciales 31
3.3.7 Biosíntesis de aceites esenciales 31
3.3.8 Nutrición vegetal 32
3.3.9 Macronutrientes y micronutrientes 32
3.3.10 Fertilización foliar 32
3.3.11 Absorción foliar de nutrientes 33
3.3.12 Mejorana 33
3.3.13 Nano-fertilizantes 33
CAPÍTULO IV 34
4.1 Tipo de Investigación 34

4.2 Nivel de la Investigación 34
4.3 Ámbito del campo experimental 34
4.4 Población 35
4.5 Muestra 35
4.6 Materiales 35
4.6.1 Material Biológico 35
4.7 Tratamientos 35
4.8 Diseño Experimental 36
4.9 Metodología 38
4.9.1 Evaluación de Variables de Respuesta 38
4.9.1.1 Peso Fresco Total 38
4.9.1.2 Porcentaje de Peso Seco Total 39
4.9.1.3 Porcentaje Comercial Seco 39
4.9.1.4 Porcentaje de aceite 39
4.9.2 Instrumentos 40
4.9.3 Procedimiento 40
4.9.3.1 Elección del Terreno y Toma de Muestras 40
4.9.3.2 Preparación del Terreno 41
4.9.3.3 Delimitación de Unidades Experimentales 42
4.9.3.4 Incorporación de materia orgánica y riego Pre Plantación 42
4.9.3.5 Plantación 42
4.9.3.6 Riego 43

4.9.3.7 Aplicación del Nano Fertilizante “FlorControl” 43
4.9.3.8 Fertilización 44
4.9.3.9 Sanidad Vegetal del Cultivo 46
4.9.3.10 Cosecha 48
4.9.3.11 Secado de Orégano 49
4.9.3.12 Trillado 49
4.9.3.13 Extracción de aceite 50
4.9.3.14 Labores de post cosecha 51
4.10 Análisis de datos 52
CAPÍTULO V 53
5.1 Peso Fresco Total 53
5.2 Porcentaje de Peso Seco total 56
5.3 Porcentaje Comercial Seco 58
5.4 Porcentaje de Aceite 62
CONCLUSIONES 65
RECOMENDACIONES 68
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 69

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 *Características del campo experimental* 38

Tabla 2 *Análisis de suelo de campo experimental* 41

Tabla 3 *Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Peso Fresco Total* 53

Tabla 4 Peso fresco total (g) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante 54

Tabla 5 *Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Porcentaje de Peso Seco Total* 56

Tabla 6 *Porcentaje de peso seco total (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante* 57

Tabla 7 Análisis de varianza (ANOVA) para la variable porcentaje comercial seco 59

Tabla 8 *Porcentaje comercial seco (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante* 60

Tabla 9 *Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Porcentaje de Aceite* ..62

Tabla 10 *Porcentaje de aceite (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante* 63

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 *Croquis del campo experimental* 37

Figura 2 *Croquis de una unidad experimental* 37

Figura 3 *Diagrama del extractor de aceites de la marca FIGMAY* 51

Figura 4 *Peso fresco total (g) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante* 55

Figura 5 *Porcentaje de peso seco total (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante* 58

Figura 6 *Porcentaje comercial seco (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante* 61

Figura 7 *Porcentaje de aceite (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante* 64

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diagrama de cajas de Peso Fresco Total con tres niveles de aplicación de Nano-Fertilizantes 82

Anexo 2. Diagrama de cajas de Porcentaje de Peso Seco Total con tres niveles de aplicación de Nano-Fertilizantes 82

Anexo 3. Diagrama de cajas de Porcentaje comercial seco con tres niveles de aplicación de Nano-Fertilizantes 83

Anexo 4. Diagrama de cajas de Porcentaje de Aceite con tres niveles de aplicación de Nano-Fertilizantes 83

Anexo 5. Base de datos de la investigación 84

Anexo 6. Preparación de camellones 91

Anexo 7. Incorporación de materia orgánica pre compostada 91

Anexo 8. Tapado y perfilado de camellones 92

Anexo 9. Raspado de afloramiento de sales y rectificado de camellones 92

Anexo 10. Preparación de esquejes y uso de enraizador 93

Anexo 11. Plantado de esquejes 93

Anexo 12. Seguimiento del crecimiento del crecimiento a los 21 días del plantado 94

Anexo 13. Replantado 94

Anexo 14. Preparación y aplicación del Nano fertilizante “FlorControl” 95

Anexo 15. Seguimiento del crecimiento a los 90 días 95

Anexo 16. Cosecha a los 120 días del plantado 96

Anexo 17. Evaluación de peso fresco total 96

Anexo 18. Colgado de muestras para la evaluación de porcentaje de peso seco total.....97

Anexo 19. Tendido de muestras para secado y posterior extracción de aceite97

Anexo 20. Extracción de aceite esencial.....98

RESUMEN

El presente estudio evaluó el efecto de tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el cultivo de orégano chinito (Origanum vulgare L.) bajo las condiciones edafoclimáticas de La Yarada Los Palos, Tacna, durante la campaña 2025. Se empleó un Diseño Completamente al Azar con cuatro tratamientos: T0 (0 g), T1 (30 g), T2 (50 g) y T3 (100 g), evaluándose las variables peso fresco total, porcentaje de peso seco total, porcentaje comercial seco y porcentaje de aceite esencial. Los resultados indicaron que la dosis de 30 g / 200 l obtuvo los mayores valores de peso fresco total y porcentaje de aceite esencial, diferenciándose significativamente del testigo y de las dosis superiores ($p < 0,05$). Por su parte, la dosis de 50 g / 200 l presentó el mayor valor de porcentaje de peso seco total, mostrando diferencias estadísticas significativas respecto al testigo. En la variable porcentaje comercial seco no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), aunque se observó una ligera tendencia al efecto de la dosis ($p < 0,10$). La dosis más alta (100 g / 200 l) no produjo incrementos significativos en ninguna de las variables evaluadas. Se concluye que la aplicación foliar del nano-fertilizante favorece el desarrollo del cultivo cuando se emplean dosis moderadas, siendo 30 g / 200 l la concentración más eficiente bajo las condiciones del presente estudio.

Palabras Clave: Orégano chinito; nano-fertilizante; micronutrientes; biomasa; aceite esencial; rendimiento.

ABSTRACT

This study evaluated the effect of three doses of a foliar nano-fertilizer on the growth of oregano (Origanum vulgare L.) under the edaphoclimatic conditions of La Yarada Los Palos, Tacna, during the 2025 growing season. A Completely Randomized Design was used with four treatments: T0 (0 g), T1 (30 g), T2 (50 g), and T3 (100 g). The evaluated variables were total fresh weight, total dry weight percentage, commercial dry percentage, and essential oil content. Results showed that the 30 g/200 l dose produced the highest total fresh weight and essential oil content, with significant differences compared to the control and higher doses ($p < 0,05$). The 50 g/200 l dose showed the highest total dry weight percentage, differing significantly from the control treatment. For the commercial dry percentage, no statistically significant differences were observed among treatments ($p > 0,05$), although a slight tendency to dose effect was detected ($p < 0,10$). The highest dose (100 g/200 l) did not improve any of the evaluated variables. Overall, the results indicate that foliar nano-fertilization enhances oregano performance when applied at moderate doses, with 30 g/200 l identified as the most efficient concentration under the study conditions.

Keywords: Oregano; nano-fertilizer; micronutrients; biomass; essential oil; yield.

INTRODUCCIÓN

El orégano (Origanum vulgare L.) es una de las especies aromáticas de mayor importancia económica en el sur del Perú debido a su amplio uso en la industria gastronómica, alimentaria, medicinal y cosmética. En la región de Tacna, específicamente en el distrito de La Yarada Los Palos, el cultivo de orégano representa una actividad agrícola relevante para los productores locales, quienes encuentran en esta especie una alternativa rentable gracias a la creciente demanda de plantas aromáticas con altos contenidos de aceites esenciales. En los últimos años, la variante conocida como “orégano chinito” ha adquirido mayor notoriedad por presentar características agronómicas atractivas, tales como mayor vigor, rendimiento, factores que han incentivado su expansión en áreas productivas de la región.

A pesar de su importancia, la productividad del orégano se ve influenciada por las condiciones edafoclimáticas de la zona, caracterizada por suelos de baja fertilidad natural, alta permeabilidad y limitada disponibilidad de micronutrientes esenciales. Esta situación reduce la eficiencia de la fertilización edáfica tradicional, la cual suele presentar pérdidas importantes por lixiviación, volatilización o inmovilización de nutrientes en el suelo. Como consecuencia, los

productores enfrentan dificultades para alcanzar rendimientos óptimos y una adecuada concentración de metabolitos secundarios, entre ellos los aceites esenciales, cuya cantidad dependen en gran medida de la nutrición mineral de la planta.

Frente a esta problemática, la nanotecnología aplicada a la agricultura emplea nano-fertilizantes que, gracias a su tamaño reducido y alta reactividad, mejoran la absorción y disponibilidad de nutrientes, favoreciendo el crecimiento, la fotosíntesis y el metabolismo de los cultivos.

Diversas investigaciones han demostrado que la aplicación foliar de micronutrientes como zinc, hierro, boro, manganeso, cobre y molibdeno incrementa la biomasa, el contenido de clorofila y la producción de aceites esenciales en varias especies de la familia Lamiaceae. Sin embargo, la respuesta fisiológica de las plantas depende en gran medida de la dosis empleada, ya que niveles excesivos pueden generar estrés oxidativo, saturación nutrimental o desbalances metabólicos que afectan negativamente la productividad. Por tanto, determinar la dosis adecuada constituye un aspecto fundamental para garantizar la eficiencia del nano-fertilizante y sus efectos positivos sobre el cultivo.

En este contexto, la presente investigación tuvo como propósito evaluar el efecto de tres dosis de un nano-fertilizante foliar balanceado en

micronutrientes sobre el crecimiento del orégano chinito bajo las condiciones edafoclimáticas de La Yarada Los Palos. Se consideraron variables agronómicamente relevantes como el peso fresco total, porcentaje de peso seco total, porcentaje comercial seco y porcentaje de aceite esencial, con el fin de identificar la dosis óptima que maximice la productividad del cultivo.

El estudio cobra relevancia no solo por su aporte científico en el ámbito de la nutrición foliar y el uso de nano-tecnologías, sino también por su utilidad práctica para los productores locales, quienes requieren estrategias eficientes y sostenibles para mejorar sus niveles de producción sin incrementar significativamente los costos ni el impacto ambiental. La evaluación de nano-fertilizantes representa, por lo tanto, una oportunidad para fortalecer la competitividad del cultivo de orégano en la región y establecer bases para la implementación de nuevas tecnologías agrícolas en cultivos aromáticos y medicinales.

Finalmente, esta investigación contribuye al conocimiento agronómico regional al generar evidencia experimental sobre el comportamiento del orégano chinito frente a distintos niveles de nutrición foliar en un sistema productivo real. Los resultados obtenidos permitirán orientar futuras investigaciones y servirán de soporte técnico para el diseño de recomendaciones de manejo que optimicen la productividad del cultivo.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El cultivo de orégano (*Origanum vulgare L.*) tiene un valor económico relevante en el distrito de La Yarada Los Palos, tanto por su uso culinario como por sus propiedades medicinales y cosméticas. En la actualidad el “orégano chinito” tiene un alto valor y es de gran interés para los agricultores, sin embargo, uno de los principales desafíos en la producción de este cultivo es optimizar su rendimiento. Tradicionalmente, está normalizada la utilización de fertilizantes edáficos de alta solubilidad para el suministro de nutrientes, pero esta práctica presenta limitaciones, particularmente en suelos de buen drenaje, en donde la disponibilidad de micronutrientes es baja.

En respuesta a esta problemática, han surgido alternativas como los nano-fertilizantes, que permiten una absorción más eficiente de nutrientes a nivel foliar y podrían mejorar el rendimiento del orégano al potenciar el desarrollo de la biomasa y el contenido de aceite esencial en las hojas secas. Sin embargo, existe poca información sobre los efectos comparativos de diferentes dosis de nano-fertilizantes foliares frente a la fertilización edáfica convencional en el cultivo de orégano en condiciones locales.

Este estudio planteó evaluar el impacto de tres dosis de un nano-fertilizante foliar de micro elementos como Hierro, Zinc, Cobre, Boro, Molibdeno y Manganeso del producto comercial “Flor Control” que refuerza el sistema inmunológico de la planta dándole mayor tolerancia a estrés bióticos, en comparación con una fertilización edáfica tradicional en variables clave como el peso fresco y seco total, el peso seco de las hojas y el porcentaje de aceite esencial en el orégano, lo cual permitirá establecer cuál es la dosis de nano-fertilizante más adecuada para maximizar la productividad de este cultivo en la región.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿Qué efectos tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el cultivo de orégano chinito (*Origanum vulgare L.*) en el distrito de La Yarada Los Palos?

1.2.2 Problemas Específicos

¿Qué efectos tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el peso fresco total de orégano?

¿Qué efectos tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el porcentaje de peso seco total de orégano?

¿Qué efectos tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el

porcentaje comercial seco de orégano?

¿Qué efectos tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el porcentaje de aceite de orégano?

1.3 Justificación

La necesidad de optimizar la productividad del orégano en el distrito de La Yarada Los Palos se vuelve cada vez más apremiante debido a la creciente demanda de productos naturales y de calidad en el mercado. En este contexto, el uso de nano-fertilizantes ofrece una alternativa innovadora que podría aumentar la eficiencia de la fertilización al facilitar la absorción de nutrientes y mejorar el rendimiento del cultivo, con un menor impacto ambiental comparado con la fertilización edáfica convencional.

La investigación propuesta permitirá obtener datos concretos sobre los efectos de tres dosis diferentes de un nano-fertilizante foliar en el orégano, en comparación con la fertilización tradicional en el suelo. Los resultados podrán ser utilizados para desarrollar prácticas agronómicas más eficientes, beneficiando a los productores de la región mediante un mayor rendimiento del orégano, a la vez que se reduce la dependencia de fertilizantes convencionales y se optimiza el uso de los recursos.

Además, este estudio contribuirá al conocimiento científico sobre el uso de nano-fertilizantes en cultivos aromáticos y medicinales, proporcionando una

base para futuras investigaciones y aplicaciones en otros cultivos similares en la región y en el país.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Evaluar los efectos que tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en un cultivo de orégano (*Origanum vulgare L.)* en el distrito de La Yarada Los Palos.

2.1.2 Objetivo Específico

Evaluar los efectos que tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el peso fresco total del orégano.

Evaluar los efectos que tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el porcentaje de peso seco total de orégano.

Evaluar los efectos que tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el porcentaje comercial seco de orégano.

Evaluar los efectos que tienen tres dosis de un nano-fertilizante foliar en el porcentaje de aceite de orégano.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis General

Al menos una de las tres dosis de un nano-fertilizante foliar tendrá efectos significativos en el cultivo de orégano (*Origanum vulgare L.*) en el distrito de La Yarada Los Palos.

2.2.2 Hipótesis Específica

Al menos una de las tres dosis de un nano-fertilizante foliar tendrá efectos significativos en el peso fresco total del orégano.

Al menos una de las tres dosis de un nano-fertilizante tendrá efectos significativos en el porcentaje de peso seco total de orégano.

Al menos una de las tres dosis de un nano-fertilizante tendrá efectos significativos en el porcentaje comercial seco de orégano.

Al menos una de las tres dosis de un nano-fertilizante foliar tendrá efectos significativos en el porcentaje de aceite de orégano.

2.3 Variables

2.3.1 Variable Independiente

Dosis de aplicación de nano-fertilizante foliar

0 g / 200 L

30 g / 200 L

50 g / 200 L

100 g / 200 L

2.3.2 Variable Dependiente

Peso fresco total

Porcentaje de peso seco total

Porcentaje comercial seco

Porcentaje de aceite

CAPÍTULO III

MARCO REFERENCIAL

3.1 Antecedentes

3.1.1 Antecedentes Internacionales

Un estudio realizado por Dordas (2009) en el norte de Grecia evaluó el efecto de aplicaciones foliares de calcio (Ca^{2+}) y magnesio (Mg^{2+}) sobre el crecimiento, rendimiento y producción de aceite esencial en Origanum vulgare ssp. hirtum. La investigación se desarrolló durante los años 2005 y 2006 en dos localidades con diferentes tipos de suelo, utilizando cinco tratamientos: un testigo sin aplicación, dos concentraciones de calcio (0,5 % y 1 %) y dos concentraciones de magnesio (1 % y 2 %). Los investigadores evaluaron variables agronómicas y fisiológicas como altura de planta, número de tallos, concentración de clorofila, días hasta la floración, rendimiento de materia seca, contenido y rendimiento de aceite esencial, además de la concentración foliar de calcio y magnesio. Los resultados mostraron que las aplicaciones foliares incrementaron la concentración de Ca^{2+} y Mg^{2+} en las hojas, aumentaron en promedio un 10 % la altura de planta y un 23 % el número de tallos respecto al testigo. Asimismo, la concentración de clorofila se incrementó en 23 % con calcio y en 38 % con magnesio, mientras que la floración se adelantó entre 3 y 4 días.

El rendimiento de materia seca también aumentó aproximadamente 22 % con las aplicaciones foliares. En relación al aceite esencial, las aplicaciones de calcio y magnesio incrementaron el rendimiento de aceite, aunque no modificaron significativamente su concentración. Finalmente, los autores concluyeron que la fertilización foliar con Ca^{2+} y Mg^{2+} mejora el crecimiento y productividad del orégano, especialmente en condiciones de suelos ácidos.

3.1.2 Antecedentes Locales

Según Limache (2012), la aplicación de diferentes dosis de nitrógeno y fósforo influyó de manera significativa en el rendimiento de materia verde y hoja seca del orégano ecotipo peruano mejorado cultivado en el distrito de Tarata. En su estudio, el nitrógeno mostró un efecto altamente determinante sobre la producción, registrándose el mayor rendimiento de materia verde con la dosis de 270 kg N/ha, alcanzando 21 528 kg/ha, mientras que dosis intermedias como 180 kg N/ha lograron también valores sobresalientes cercanos a 19 488 kg/ha. De manera similar, el rendimiento de hoja seca presentó una respuesta cuadrática al nitrógeno, determinándose que la dosis óptima fue de aproximadamente 225,63 kg N/ha, con un rendimiento estimado de 4 140 kg/ha, destacando una tendencia clara de incremento hasta un punto óptimo fisiológico del cultivo. En cuanto al contenido de aceite esencial, se identificó igualmente un comportamiento cuadrático, con una dosis óptima cercana a 198 kg N/ha,

alcanzándose un valor máximo de 1,25%, indicador relevante para la calidad industrial del orégano. Por el contrario, el fósforo no mostró efectos significativos en ninguna variable de productividad debido a que el suelo del área experimental ya presentaba niveles adecuados de este nutriente. En conjunto, los resultados evidencian que el manejo adecuado de nitrógeno permite un incremento sustancial tanto en el rendimiento de biomasa como en la concentración de compuestos aromáticos, constituyendo un referente técnico de importancia para contrastar los valores productivos obtenidos en estudios recientes sobre el cultivo de orégano en condiciones de altitud y clima similares a las del sur del Perú.

3.2 Marco Teórico

3.2.1 Conceptos Generales de Origanum vulgare L.

Origanum es un género de plantas aromáticas conocido por su variada composición fitoquímica y sus numerosos usos medicinales, gastronómicos y cosméticos, que se encuentran principalmente en Eurasia y el Mediterráneo (Kumar & Bhardwaj, 2020). Las plantas sub arbustivas de tamaño mediano con hojas ovaladas e inflorescencias paniculadas ricas en aceites volátiles son los rasgos físicos que definen al género (Ietswaart, 1980). Junto con otros terpenos y flavonoides, las especies de *Origanum* tienen altas concentraciones de carvacrol y timol, que contribuyen a sus cualidades antiproliferativas,

antioxidantes y antiinflamatorias (Kumar & Bhardwaj, 2020). A pesar de la amplia distribución de *Origanum vulgare*, muchas de sus especies son exclusivas de áreas particulares (Ietswaart, 1980). Estas especies se encuentran en peligro debido a la sobre explotación de sus hábitats nativos y a la limitación de la mejora genética provocada por la escasa viabilidad de las semillas y la polinización cruzada, lo que hace necesarios métodos biotecnológicos de conservación y propagación (Kumar & Bhardwaj, 2020). Se cree que la especiación de *Origanum* está significativamente influenciada por la hibridación, tanto intragenérica como intergenérica (Ietswaart, 1980).

3.2.1.1 Aspectos Morfológicos de *Origanum vulgare L.*

De ramas erectas o ascendentes, cuadrangulares, pilosas y ocasionalmente rojizas que se ramifican en la parte superior, esta planta herbácea, perenne, rústica y rizomatosa puede crecer desde 20 a 60 cm de altura, y ocasionalmente incluso más de 100 cm. Las hojas son opuestas, ovaladas, de 1,5 a 4,5 cm, dentadas o enteras, pecioladas, rugosas y de envés pálido. Nacen de dos en dos en los nudos y son puntiagudas con el haz sin pelos y el envés con pelos. Brácteas de color violeta rojizo acompañan a las espigas terminales compactas de pequeñas flores blanquecinas o violáceas, que se agrupan en panículas muy ramificadas. Fruto en tetraquenio, globoso y seco. Rizomas rastreros. Es un arbusto melífero y muy fragante (Fernández-Pola,

1996).

3.2.1.2 Requerimientos Climáticos de *Origanum vulgare L. ssp. vulgare*

Las diferentes especies de *Origanum* tienen diferentes necesidades y adaptaciones climáticas. El “orégano griego” (*Origanum vulgare subsp. hirtum*) puede cultivarse con éxito en entornos templados; se ha demostrado que los túneles de aluminio y otras áreas cubiertas brindan mayores rendimientos y contenido de aceite esencial que los campos abiertos (Kosakowska et al., 2019). La temperatura en particular tiene un impacto importante en el contenido fenólico total de las especies de *Origanum* y su capacidad para eliminar radicales libres (Dambolena et al., 2010). Los gradientes climáticos están correlacionados con las diferencias geográficas en la densidad de tricomas y el contenido de aceite esencial de *O. vulgare*; las plantas en zonas mediterráneas tienen un mayor contenido de aceite que las de climas continentales (Kokkini et al., 1994). Las métricas de producción y calidad bajo cultivo difieren entre las especies de *Origanum*, y *O. husnucan-baseri* muestra la mayor concentración de aceite volátil entre las especies en estudio (Uysal & Çinar, 2020). Estos resultados resaltan lo crucial que es tener en cuenta el clima para el mejor cultivo y calidad posible de las especies de *Origanum.*

El clima ideal para *Origanum sp*. es el de montaña, templado cálido o templado. Pleno sol. Las laderas ofrecen la mejor exposición. Prefiere climas

cálidos del sur, lluvias primaverales y luz solar intensa. Resistente a las heladas, su olor es más fuerte en climas cálidos y secos. Precipitaciones anuales: 400–600 mm (Fernández-Pola, 1996).

3.2.1.3 Condiciones Óptimas del Suelo de *Origanum vulgare* L. ssp. *vulgare*

Aunque las especies de *Origanum* pueden crecer en una variedad de tipos de suelo, prefieren texturas franco arenosas a franco arcillosas y valores de pH entre 6,11 y 7,49, que son ligeramente ácidos a neutros (Arabaci et al., 2021; Unal et al., 2013). Si bien los requisitos de nutrientes varían según la especie, la cantidad de materia orgánica en el suelo varía mucho (0,01-11,54%) (Arabaci et al., 2021; Unal et al., 2013). Las altas temperaturas del aire (16,7–36,6 °C), los niveles de nitrógeno moderados a altos (150–200 kg/ha) y el riego mínimo en suelos franco arenosos son condiciones de crecimiento ideales para la mejorana (Malaka et al., 2022). La composición de los aceites esenciales en *Origanum* syriacum está muy influenciada por el tipo de suelo; Las mezclas para macetas y las combinaciones agrícolas profesionales prefieren un quimiotipo timol/carvacrol, mientras que el estiércol y el abono vegetal fomentan la formación de timol (El-Alam et al., 2019). La inoculación micorrízica aumenta la biomasa de los brotes, cambia la composición de los aceites esenciales y disminuye la generación de timol al tiempo que aumenta el carvacrol.

3.2.2 Nutrición y Fertilización Para el Cultivo de Origanum vulgare L.

La productividad y la calidad del orégano (*Origanum sp.*) se ven muy afectadas tanto por los fertilizantes orgánicos como por los químicos. El estiércol de pollos y ganado promueve el crecimiento de las plantas y la producción de aceites esenciales (Corrêa et al., 2010). Según Barreyro et al. (2005), la fertilización con nitrógeno aumenta la producción de biomasa; los rendimientos de 80 kg/ha son más altos que los de los controles sin fertilizar. Mientras que el vermicompost aumenta el contenido de flavonoides y la actividad antioxidante, otros fertilizantes orgánicos, como el estiércol de corral y el compost de hongos usados, mejoran el rendimiento fresco y el contenido de aceite esencial (Asri, 2023). En el orégano griego, el riego y la fertilización con nitrógeno (300 kg/ha) dan la mayor cantidad de biomasa seca y aceite esencial (Giannoulis et al., 2020). No obstante, una precipitación adecuada (>250 mm) durante la temporada de crecimiento puede reducir la necesidad de riego. Aunque la fertilización nitrogenada suele aumentar la producción, la calidad de los aceites esenciales no se ve muy afectada (Barreyro et al., 2005). En general, el cultivo de orégano puede optimizarse tanto en términos de productividad como de calidad mediante técnicas adecuadas de alimentación y fertilización.

3.2.3 Aceites esenciales

Lamiaceae comprende una abundancia de aceites esenciales y metabolitos secundarios, los cuales se ven afectados por los micronutrientes (Shahhat et al., 2024). La aplicación foliar de micronutrientes, especialmente Zn, Fe, Mn y Cu, incrementa considerablemente la biosíntesis de metabolitos secundarios y la presencia de aceite esencial en varias especies de Lamiaceae (Shahhat et al., 2024; Yadegari, 2017). Estos aceites esenciales son complejas combinaciones de componentes biológicos activos con propiedades antimicrobianas, antifunginas y antioxidantes (Ijaz, 2009). La composición química de los aceites esenciales se compone principalmente de hidrocarburos monoterpénicos, hidrocarburos sesquiterpénicos y sus equivalentes oxigenados (Ijaz, 2009). Los reguladores de crecimiento también pueden influir en la producción de aceite esencial mediante el control de crecimiento vegetal, biosíntesis y la cantidad de estructuras de almacenamiento de aceite (Shahram & Mahdi, 2011). La producción, composición química y propiedades biológicas de los aceites esenciales pueden fluctuar considerablemente dependiendo de las especies y la estación de recolección (Ijaz, 2009). Es necesario realizar más estudios sobre ciertos micronutrientes y especies de Lamiaceae para optimizar la producción de aceite esencial (Shahhat et al., 2024).

La familia Lamiaceae, también llamada familia de las labiadas o de las

mentas, es una de las mayores generadoras de aceites vitales en el universo vegetal. Este grupo comprende plantas aromáticas frecuentemente empleadas como el orégano, el romero, la menta, la albahaca y la salvia. Los aceites esenciales se generan en glándulas especializadas situadas principalmente en las hojas y tallos, y su composición química fluctúa en función de elementos como la especie, las condiciones del entorno, la fase de madurez y los métodos de extracción utilizados. Estos aceites, abundantes en componentes como terpenos, alcoholes y fenoles, desempeñan funciones biológicas esenciales para las plantas, tales como la protección contra agentes patógenos, la captación de polinizadores y la defensa contra el estrés ambiental.

En el ámbito industrial, los aceites esenciales de la familia Lamiaceae tienen una gran demanda en sectores como la perfumería, la cosmética, la medicina natural y la alimentación. Su producción requiere técnicas de extracción específicas como la destilación por arrastre de vapor o la extracción con solventes, que permiten aislar los compuestos volátiles responsables de su aroma y propiedades terapéuticas. Además, investigaciones recientes han destacado el potencial antimicrobiano y antioxidante de los aceites esenciales de esta familia, incrementando su uso en productos de conservación de alimentos y en la industria farmacéutica. Su cultivo se ha expandido globalmente debido a su adaptabilidad y a la creciente valorización de los productos naturales

en los mercados internacionales.

3.2.4 La Nutrición en las Plantas

Las plantas necesitan 17 minerales clave en cantidades adecuadas para un crecimiento óptimo con el fin de completar su ciclo de vida. Hay dos categorías para estos nutrientes: macronutrientes y micronutrientes. Según (White & Zasoski, 1999), con frecuencia se necesitan micronutrientes en cantidades tres órdenes de magnitud menores que las de los macronutrientes. Específicamente, el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre son los macronutrientes para los cultivos de campo. El zinc, el cobre, el hierro, el manganeso, el boro, el molibdeno, el cloro y el níquel son ejemplos de micronutrientes (Marschner et al., 2011). Los insumos externos deben usarse cuando las necesidades del cultivo no se satisfacen con el suministro de suelo. Los micronutrientes desempeñan un papel en la activación enzimática, la regulación hormonal, los procesos fotosintéticos, el metabolismo de otros nutrientes (como el nitrógeno), el alargamiento celular y la inhibición de los procesos de degradación oxidativa en las células (Hatch & Burnell, 1990; Malavolta, 2006; Marschner et al., 2011).

3.2.5 Influencia de micronutrientes en Origanum vulgare L.

Para que las especies de *Origanum* y las hierbas relacionadas florezcan

y produzcan aceites esenciales, se requieren micronutrientes. El desarrollo del orégano se ve afectado por la concentración de hierro en las soluciones nutritivas; las concentraciones altas (11,0 mg/l) reducen la biomasa y la producción de aceite esencial (Yeritsyan & Economakis, 2002). Las fluctuaciones estacionales afectan la respuesta de *Origanum* majorana al aporte de nutrientes, lo que afecta las tasas de crecimiento y el rendimiento de aceite esencial (Trivino & Johnson, 2000). La producción de hierbas frescas y aceite esencial en Ocimum sanctum se mejora con concentraciones ideales de cobre (0,05–0,06 ppm) y zinc (0,10 ppm) (Kanwal et al., 2016). Los micronutrientes (Cu^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+} y Zn^{2+}) aplicados tópicamente a *Thymus vulgaris* mejoran los índices de crecimiento, el rendimiento de materia seca y el contenido de aceite esencial; Los resultados más altos se obtienen con una concentración de 200 ppm (Yadegari, 2014). Aunque los efectos precisos pueden diferir según la especie y las condiciones climáticas, estos estudios muestran que un control cuidadoso de los niveles de micronutrientes puede maximizar el crecimiento y la producción de aceites esenciales en hierbas aromáticas.

3.2.5.1 Importancia del Zinc

En el cultivo de especies de *Origanum*, el zinc es esencial ya que afecta el crecimiento, el rendimiento y la producción de aceites esenciales. Según los estudios, la altura de la planta de *Origanum majorana*, la formación de ramas y

el peso fresco y seco de la hierba mejoraron considerablemente con la aplicación foliar de nano-Zn a 100 ppm (El-khateeb et al., 2020). Además, el zinc aumentó la producción de aceites esenciales, carbohidratos totales y contenido de clorofila. Las concentraciones bajas de zinc (10 mg/kg de suelo) mejoraron el crecimiento de la planta, el contenido de aceites esenciales y la absorción de nutrientes en estudios similares sobre *Mentha pulegium* (Lajayer et al., 2017). Los estudios han demostrado que la cantidad de zinc en el suelo varía según la región de cultivo, lo que lo convierte en un componente crucial del cultivo de *Origanum* (Arabacı et al., 2019). La importancia general del zinc en el crecimiento de plantas aromáticas indica que probablemente también juega un papel crucial en *Origanum vulgare*, a pesar de la escasez de estudios especializados sobre el tema (Skoufogianni et al., 2019).

3.2.5.2 Importancia del Hierro

En el cultivo del orégano, el hierro es esencial ya que influye tanto en el crecimiento como en la producción de aceite esencial. Aunque concentraciones excesivas de hierro (11,0 mg/l) pueden dificultar el crecimiento de la planta y el suministro de aceite esencial, concentraciones más altas de hierro en soluciones nutritivas pueden resultar en un mayor contenido de hierro en hojas y raíces (Yeritsyan & Economakis, 2002).

3.2.5.3 Importancia del Manganeso

Un componente importante del cultivo de especies de *Origanum* es el manganeso. Según estudios, las plantas de *Origanum* majorana pueden crecer más altas y contener más aceite esencial cuando se aplica nano-Mn a 50 ppm de forma tópica (El-khateeb et al., 2020). El tipo de sustrato tiene un impacto en la cantidad de Mn en los tejidos vegetales; se observan mayores cantidades en sustratos a base de tierra que en los que no lo son (Martini et al., 2023). El Mn es necesario para varias funciones fisiológicas en *Origanum vulgare* y se suma a las cualidades terapéuticas de la planta ((Skoufogianni et al., 2019). Al cultivar *Origanum microphyllum*, se demostró que la aplicación de fertilizantes a las raíces, que probablemente incluyan Mn, fue más exitosa que la aplicación tópica para aumentar la cantidad de compuestos antioxidantes y el verdor de las hojas (Fanourakis et al., 2021). Estos resultados demuestran la importancia del Mn para maximizar el desarrollo de las especies de *Origanum*, la producción de aceites esenciales y la calidad general, lo que indica que una evaluación cuidadosa de la suplementación de Mn y la técnica de aplicación son vitales para un cultivo eficaz.

3.2.5.4 Importancia del Cobre

El cobre tiene un papel complicado en el crecimiento de *Origanum sp*. El cobre es necesario para el crecimiento de las plantas, pero su exceso puede ser

perjudicial. La altura y la biomasa de las plantas de orégano disminuyen con niveles elevados de cobre en el suelo (Du et al., 2018; Panou-Philotheou et al., 2002). La actividad metabólica reducida, los cambios estructurales en los cloroplastos y la clorosis de las hojas son síntomas de toxicidad por cobre (Panou-Philotheou et al., 2002). Aunque también reducen la biomasa y el contenido de azúcar, las nanopartículas y micropartículas de cobre pueden aumentar el contenido de agua y la acumulación de cobre en las plantas de orégano (Du et al., 2018). Es interesante observar que las plantas sometidas a estrés por cobre tienen mayores niveles de sustancias similares a las giberelinas, pero esto no compensa la disminución del crecimiento (Panou-Philotheou et al., 2002). A pesar de estas dificultades, el orégano sigue siendo una planta aromática y terapéutica importante, especialmente el orégano griego (*Origanum vulgare ssp. hirtum)*, que es apreciado por la calidad y cantidad de su aceite esencial (Skoufogianni et al., 2019). Para que el orégano se cultive con éxito, el manejo del cobre es esencial.

3.2.5.5 Importancia del Boro

Según un estudio sobre *Pelargonium graveolens*, donde la suplementación ideal con boro aumentó la biomasa y el rendimiento de aceite esencial, los micronutrientes como el boro son fundamentales para la productividad de las plantas (Tripathi et al., 2022).

3.2.5.6 Importancia del Molibdeno

El molibdeno tiene un papel importante en el crecimiento de las plantas, especialmente en el metabolismo del nitrógeno y la síntesis de fitohormonas (Kaiser et al., 2005).

3.2.6 Impacto de los nano fertilizantes

Las ventajas potenciales de las nanopartículas en la agricultura son muy esperadas. En las próximas décadas, esta industria estará bajo una tremenda presión debido a factores que incluyen la creciente población humana, la escasez de petróleo y fertilizantes, la demanda de moléculas de plataforma y energía de fuentes renovables, y más. Según los experimentos, se pueden usar nanopartículas (NP) para liberar sustancias químicas (Abdel-Aziz et al., 2016) y controlar las enfermedades de las plantas (Balasubramanian Malaikozhundan et al., 2017).

Dado que parece que los nanomateriales pueden impactar en los microorganismos del suelo (Gurunathan, 2015) e incluso tienen intrincadas ramificaciones ecológicas a lo largo de la cadena alimentaria (Koo et al., 2015), las preocupaciones ambientales también se han planteado simultáneamente.

En los últimos diez años, la nanotecnología ha surgido como un nuevo método científico que podría ayudar a la industria agrícola. Ciertos

investigadores suelen denominar nanomateriales a los materiales con tamaños de partícula que oscilan entre 1 y 100 nm en al menos una dimensión (Auffan et al., 2009). Sin embargo, el término se beneficiaría de una mayor flexibilidad y una conexión con la aparición de características dependientes del tamaño.

Estos materiales suelen exhibir propiedades distintas de sus equivalentes en volumen (micrométricos o más grandes) debido a su tamaño, lo que abre nuevos usos. Estas variaciones incluyen cargas superficiales (El Badawy et al., 2011), reactividad química, solubilidad, magnetismo y muchas otras características que pueden ayudar en la creación de nuevos fertilizantes y posiblemente facilitar el suministro eficiente de nutrientes a las plantas. Según (Prasad et al., 2012), las pruebas de campo que utilizaron aplicaciones foliares de ZnSO4 a 2 g/L y nanopartículas de ZnO (25 nm) a 0,13 g/L en cacahuetes mostraron un aumento del 29,5% en el rendimiento de vainas para el tratamiento con nanopartículas en lugar de ZnSO4.

En cualquier caso, dado que los mecanismos detrás de la interacción entre nanopartículas y plantas aún no se comprenden bien, se necesita más investigación para explorar adecuadamente el potencial de la nanotecnología en la agricultura.

Además, existe una preocupación polémica de que las nanopartículas puedan ser perjudiciales para las plantas y otros sistemas biológicos. Por lo

tanto, son necesarios estudios transversales que puedan cuantificar la efectividad agronómica de los nanomateriales, así como sus efectos sobre la fisiología de las plantas y la microbiota del suelo para su uso sostenible.

La liberación gradual de iones en comparación con fuentes solubles y la liberación rápida en comparación con contrapartes a granel son quizás las características más evidentes de los nanomateriales que podrían investigarse para crear mejores fertilizantes. De hecho, se ha demostrado que el tamaño de las nanopartículas podría afectar la tasa de absorción. La acumulación de nutrientes en las plantas normalmente sigue un patrón sigmoidal. Por lo tanto, esta velocidad de captación (tasa) es más rápida en algunas etapas de crecimiento que en otras. Por lo tanto, en teoría, sería posible mezclar tamaños de partículas cuyas tasas de liberación de nutrientes correspondieran a las necesidades de la planta. Al final, esto tiene la capacidad de disminuir el estrés de las plantas provocado por la fitotoxicidad, así como las pérdidas de nutrientes a través de la lixiviación, la escorrentía y la fuerte adsorción (Jogaiah et al., 2020).

3.2.7 Nano-fertilizante "FlorControl"

Con una proporción equilibrada de microelementos en forma de nanopartículas que son absorbidos por vía estomática y cuticular, Flor Control es un fertilizante foliar creado mediante nanotecnología que permite una alta

absorción y translocación por parte de la planta con un bajo gasto energético. Los déficits y la clorosis foliar de elementos como el zinc, el hierro, el manganeso, el cobre, el boro y el molibdeno son corregidos por “FlorControl”.

El sistema inmunológico de la planta se fortalece y su tolerancia al estrés biótico se incrementa mediante la combinación de microelementos como el hierro, el zinc y el manganeso presentes en FlorControl. Al mejorar la capacidad de la planta para realizar la fotosíntesis se obtiene una mayor producción de fotosintatos; además, los nutrientes como el boro y el molibdeno facilitan el llenado y la translocación de los frutos. Esto se traduce en una mejor calidad y cantidad de la producción.

FlorControl está compuesto por Zinc (6%), Hierro (6%), Manganeso (5%), Cobre (1%), Boro (2%), Molibdeno (0.1%), Aminoácidos (5%) y Aditivos (74.9%).

3.2.8 Uso de FlorControl

Según las recomendaciones del fabricante, la aplicación foliar es de 50 gramos / 150 – 200 L. La frecuencia de aplicación variara de acuerdo a la severidad de la deficiencia, el clima, el tipo de suelo y el método de aplicación. Como recomendación general es posible aplicar de 2 a 4 veces por campaña para todos los cultivos. Finalmente, FlorControl es aplicable para todos los cultivos como hortalizas, frutales, gramíneas y leguminosas.

3.3 Marco Conceptual

3.3.1 Fenología del orégano

Incluye las fases de crecimiento vegetativo, formación de brotes, prefloración y floración. En la etapa vegetativa se produce la mayor acumulación de nutrientes en hojas. La fenología influye en la eficiencia de absorción de nutrientes y en la sensibilidad a prácticas agrícolas. Conocer estas fases permite planificar mejor los momentos de aplicación de insumos. La fisiología del cultivo varía significativamente en cada etapa.

3.3.2 Biomasa vegetal

Es la cantidad total de materia orgánica generada por una planta, reflejando su crecimiento, vigor y actividad fotosintética. Su magnitud depende de la disponibilidad de nutrientes, agua y condiciones ambientales. En especies aromáticas, constituye un indicador central para determinar la productividad y calidad del material vegetal. La biomasa integra el desarrollo de tallos, hojas y estructuras fotosintéticas. Su evaluación permite comparar respuestas agronómicas entre tratamientos.

3.3.3 Materia fresca

Corresponde al peso de la planta inmediatamente después de la cosecha, incluyendo el agua contenida en los tejidos. Es un indicador sensible del

crecimiento vegetativo y del estado fisiológico del cultivo. Factores como nutrición, hidratación y sanidad influyen directamente en su valor. La materia fresca permite detectar cambios tempranos en la respuesta del cultivo a prácticas de manejo. Su variación puede reflejar diferencias en la tasa de expansión foliar y en la absorción nutrimental.

3.3.4 Materia seca

Es el peso del material vegetal luego de eliminar completamente la humedad, representando la estructura y tejidos producidos por la planta. Constituye un indicador estable del rendimiento real, pues no depende de variaciones hídricas. Refleja la acumulación de carbohidratos, proteínas y otros compuestos orgánicos. Su incremento se relaciona con una mayor eficiencia fotosintética y buena disponibilidad de nutrientes. Es un parámetro fundamental en estudios de rendimiento.

3.3.5 Porcentaje Comercial Seco

Se refiere al peso del tejido foliar deshidratado, que representa la parte comercialmente más importante del orégano. Depende del número de hojas, su densidad y su contenido de metabolitos. Es un indicador directo del aprovechamiento económico, ya que las hojas concentran los compuestos aromáticos. Su magnitud refleja la eficiencia del cultivo en producir estructuras

fotosintéticas. Variaciones en este parámetro suelen estar asociadas a prácticas de nutrición y manejo.

3.3.6 Aceites esenciales

Son compuestos aromáticos volátiles producidos como parte del metabolismo secundario de las plantas. Se almacenan principalmente en glándulas foliares y dan el aroma característico del orégano. Su concentración y composición dependen de factores ambientales, nutricionales y genéticos. Representan un producto de alto valor en las industrias gastronómica, farmacéutica y cosmética. La variabilidad en su producción refleja la influencia de prácticas agronómicas específicas.

3.3.7 Biosíntesis de aceites esenciales

Proceso metabólico mediante el cual se forman terpenos y otros compuestos volátiles a través de rutas como MVA y MEP. Su actividad depende de la acción de diversas enzimas que requieren micronutrientes como cofactores. Factores externos como luz, temperatura o estrés pueden acelerar o disminuir la síntesis. La acumulación final en hojas está determinada por la actividad glandular y el metabolismo interno. Esta biosíntesis es clave para la calidad aromática del cultivo.

3.3.8 Nutrición vegetal

Proceso mediante el cual las plantas absorben, transportan y utilizan los elementos esenciales para su crecimiento y desarrollo. Incluye funciones como la fotosíntesis, respiración, división celular y formación de compuestos orgánicos. La disponibilidad adecuada de nutrientes determina la capacidad de la planta para generar biomasa y metabolitos secundarios. La nutrición deficiente o excesiva genera desequilibrios fisiológicos. Su estudio permite comprender la respuesta del cultivo a diferentes prácticas agronómicas.

3.3.9 Macronutrientes y micronutrientes

Los macronutrientes son requeridos en grandes cantidades e incluyen N, P, K, Ca, Mg y S. Los micronutrientes, necesarios en dosis pequeñas, comprenden Fe, Zn, Mn, Cu, B, Mo y Cl. Cada uno cumple funciones específicas enzimáticas, estructurales o metabólicas. Tanto deficiencias como excesos afectan el crecimiento y la producción de compuestos esenciales. El balance nutrimental es fundamental para un desarrollo óptimo y una buena calidad de producto.

3.3.10 Fertilización foliar

Consiste en aplicar nutrientes directamente sobre las hojas para lograr una absorción rápida y eficiente. Es especialmente útil para aportar

micronutrientes que se requieren en bajas cantidades o que presentan baja disponibilidad en el suelo. Su efectividad depende de factores ambientales como humedad y temperatura.

3.3.11 Absorción foliar de nutrientes

El ingreso de nutrientes ocurre mediante la cutícula y por apertura estomática. La absorción depende del tamaño de partícula, el pH de la solución, la humedad relativa y las características químicas de la formulación.

3.3.12 Mejorana

Planta aromática de la familia Lamiaceae, estrechamente relacionada con el orégano (*Origanum vulgare*), pero diferenciada por su aroma más suave y dulce. Se utiliza principalmente como condimento, en infusiones y en la obtención de aceites esenciales.

3.3.13 Nano-fertilizantes

Son formulaciones nutrimentales que utilizan partículas menores a 100 nanómetros para aumentar la eficiencia de uso del nutriente. Su pequeño tamaño les otorga mayor superficie específica y reactividad, mejorando la adhesión y penetración en tejidos foliares. Permiten una liberación más controlada y reducen pérdidas por lixiviación o volatilización, mejorando la eficiencia fotosintética y metabólica.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Tipo de Investigación

Esta es una investigación de tipo aplicada.

4.2 Nivel de la Investigación

La presente investigación se realizó a nivel experimental, ya que sigue un proceso sistemático con un enfoque científico en el que el investigador manipula ciertas variables para medir los cambios resultantes en otras variables.

4.3 Ámbito del campo experimental

El campo experimental estuvo situado en el distrito de La Yarada Los Palos, en la parcela 96 - Pozo 03, ubicada en la asociación agroindustrial “4 Suyos”, en la provincia y región de Tacna.

Las coordenadas geográficas son:

Latitud: 18°13’12,70” S

Longitud: 70°28’15,60”

Altura: 50 msnm.

4.4 Población

La población estuvo conformada por plantas de Origanum vulgare L. cultivadas en la parcela experimental, con un total de 3840 individuos.

4.5 Muestra

Las muestras, que consistieron en plantas de orégano, estuvieron ubicadas en hileras dobles dentro de cada unidad experimental del campo experimental, el cual estuvo conformado por un total de 16 unidades experimentales; en cada una se seleccionaron 10 plantas para realizar las mediciones y observaciones, cada muestra estuvo compuesta por toda planta 5 cm por encima del suelo y el estado fenológico de las plantas al momento del corte fue cuando el 20% del campo experimental estuvo en botón floral.

4.6 Materiales

4.6.1 Material Biológico

El material vegetal estuvo compuesto por esquejes de orégano morfotipo chinito presentes en el predio donde se ubicó el campo experimental.

4.7 Tratamientos

t_0: Testigo = sin dosis

t_1: Dosis inferior = 30 g / 200 l

t_2: Dosis recomendada = 50 g / 200 l

t_3: Dosis alta = 100 g / 200 l

4.8 Diseño Experimental

En el presente proyecto de investigación se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con tres tratamientos y un testigo, incluido un testigo sin aplicación, y cuatro repeticiones por tratamiento, distribuidos en un total de 16 unidades experimentales establecidas en un campo experimental con condiciones edafoclimáticas homogéneas, razón por la cual no fue necesario aplicar un esquema de bloques. El área experimental presentó dimensiones de 32 m de largo por 14,4 m de ancho, con una superficie total de 460,8 m^2, y estuvo conformada por 16 unidades experimentales. Cada unidad experimental comprendió 240 plantas, de las cuales se seleccionaron 10 plantas ubicadas en el tercio medio del camellón central para las evaluaciones. Para el análisis de los datos se utilizó el análisis de varianza (ANOVA) con el fin de contrastar las hipótesis planteadas y, cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey (HSD). El procesamiento estadístico se realizó utilizando el paquete agricolae en el software RStudio, de acceso abierto.

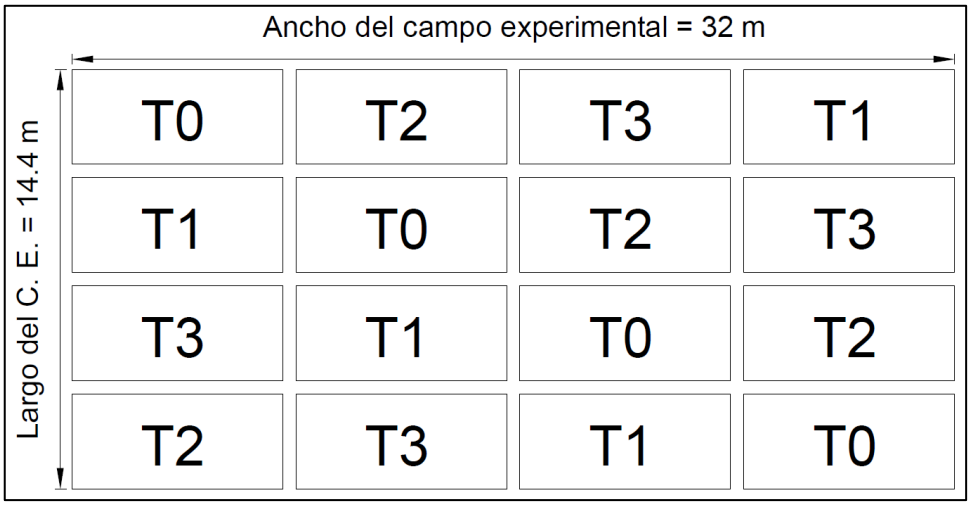


Figura 1

Croquis del campo experimental (16 unidades experimentales)

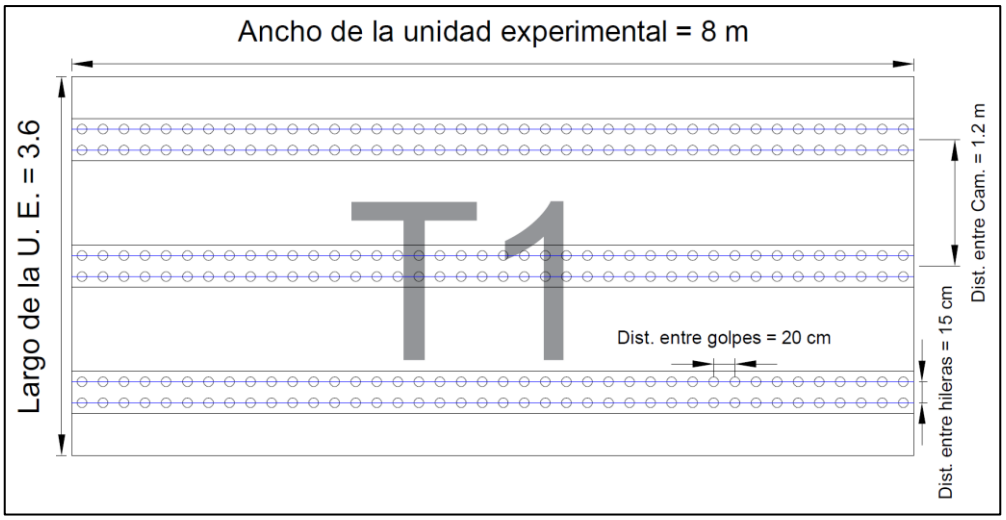


Figura 2

Croquis de una unidad experimental

A continuación, se detalla las dimensiones del campo experimental.

Tabla 1

Características del campo experimental

Unidad Experimental (UE)	
Largo de UE	3.6 m
Ancho de UE	8 m
Área de UE	28,8 m^2
N° Camellones	3
N° de Golpes	240
Campo Experimental (CE)	
N° total de UE	16
Ancho de CE	32 m
Largo de CE	14.4 m
Área de CE	460,8 m^2

4.9 Metodología

4.9.1 Evaluación de Variables de Respuesta

Para estimar el efecto de los tratamientos se evaluó los siguientes parámetros en la cosecha.

4.9.1.1 Peso Fresco Total

Esta operación se realizó en las 16 unidades experimentales, obteniendo un total de 160 muestras en toda el área experimental (10 muestras por Unidad experimental). Los pesos se tomaron el día del corte de orégano con ayuda de una balanza digital.

4.9.1.2 Porcentaje de Peso Seco Total

Las plantas de orégano se pesaron individualmente 5 días después del corte cuando alcanzaron un porcentaje de humedad del 10%, cuando las hojas se desprendían fácilmente del tallo al manipularlas, empleando una gramera digital.

4.9.1.3 Porcentaje Comercial Seco

Las plantas de orégano secas se despalillaron para obtener solo las hojas libres de todos los tallos, se pesaron las hojas secas obtenidas por planta luego del despalillado empleando una gramera digital.

4.9.1.4 Porcentaje de aceite

Después del secado, se realizó el despalillado y se guardaron las hojas en bolsas de papel individuales, separadas por planta. Se utilizó el equipo de extracción de aceites esenciales disponible en el laboratorio de fisiología vegetal de la escuela profesional de agronomía para extraer el aceite (Se realizaron un total de 24 extracciones). Para cada extracción, se usaron muestras de 300 gramos de hojas secas, el porcentaje de aceite se calculó dividiendo el peso del aceite obtenido de la extracción entre el peso de la muestra de 300 gramos depositada en las canastillas del extractor de aceites esenciales (Escala Laboratorio) de la marca “FIGMAY”.

4.9.2 Instrumentos

Se utilizaron tablas de registro para documentar las evaluaciones de las 4 variables dependientes y la totalidad de actividades que se hicieron durante el desarrollo del cultivo se registraron en el cuaderno de campo del proyecto.

4.9.3 Procedimiento

4.9.3.1 Elección del Terreno y Toma de Muestras

Se seleccionó un terreno cercano al cultivo de orégano para cortar los esquejes. Luego, se realizó un análisis de suelo, recolectando 6 submuestras mediante el método en zigzag, las 6 submuestras se combinaron en una sola y de esta se pesaron un kilogramo para mandar a analizar obteniendo como resultado los siguientes valores:

Tabla 2

Análisis de suelo de campo experimental

Análisis de Suelo	
C.E.	11,95 dS/m
Arena	73 %
Limo	16 %
Arcilla	11 %
Textura	Fr. A.
pH	7,24
$CaCO_3$	0,00 %
M. O.	0,20 %
P	8,74 ppm
K	620 ppm
CIC	5,66
Ca2+	3,51 meq/100g
Mg 2+	0,89 meq/100g
K+	0,69 meq/100g
Na+	0,57 meq/100g
Al+3 H+	0,00 meq/100g
Suma de Cationes	5,66
Suma de Bases	5,66
Saturación de bases	100 %

Nota: Los resultados obtenidos fueron extraídos de la muestra de suelo que fue enviada a analizar al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes – UNALM el año 2024.

4.9.3.2 Preparación del Terreno

La preparación de terreno empezó con la limpieza de terreno, para retirar malezas y cultivos anteriores. Luego se abrió el suelo a 30 cm de profundidad para facilitar la penetración de las raíces y mejorar la infiltración de agua. La

siguiente labor fue la de nivelación de terreno, con ayuda de una rastra, el tractor agrícola pasó repetidas veces por el terreno uniformizándolo y finalmente se llevó a cabo el marcado de camellones (separados a 1,20 metros) con ayuda de un arado aporcador, dejando los camellones abiertos, listos para la incorporación de la materia orgánica pre compostada.

4.9.3.3 Delimitación de Unidades Experimentales

La formación de los camellones se realizó manualmente con palas, manteniendo una separación de 1,20 m entre ellos. Al finalizar esta actividad, se delimitó las parcelas para identificar claramente las 16 unidades experimentales (UE).

4.9.3.4 Incorporación de materia orgánica y riego Pre Plantación

Se colocaron 160 kg de guano de camélido compostado en el fondo de los camellones, se cubrió con tierra y se cerraron los camellones. Una vez finalizada la labor, se llevó a cabo un riego de pre-plantación para facilitar el lixiviado de las sales.

4.9.3.5 Plantación

La plantación se llevó a cabo manualmente, dos semanas después del inicio de los riegos de pre-plantación. Primero, se abrieron cavidades mediante hoyado, donde se colocaron 6 esquejes de 25 cm de longitud en cada hoyo a

una profundidad de 10 cm, con una separación de 0,20 m entre ellos y organizados en doble hilera. Luego, se cubrieron con la tierra extraída (se utilizó la misma tierra, ya que se debió asegurarse un bajo contenido de sales y evitar el estrés en el enraizamiento de los esquejes), compactándola bien para evitar la formación de bolsas de aire (Principal razón de la mortalidad de esquejes). Antes de plantar, los esquejes se sumergieron por 5 minutos en una solución de enraizado que contenía Root-Hor (auxinas, ácido indolbutírico y ácidos nucleicos) al 0,5% y Trichohar (Trichoderma harzianum) a razón de 50 g para 10 litros de agua para que actuara como antagonista de otros hongos durante la etapa de enraizamiento.

4.9.3.6 Riego

El riego del cultivo se realizó mediante goteo, aplicándolo diariamente durante 15 minutos. En los primeros 14 días, el riego fue de 30 minutos y, posteriormente, se estableció a 15 minutos diarios hasta el día de la cosecha, la descarga de cada gotero fue a razón de 2,1 L / h. Haciendo un total de 270,14 m^3.

4.9.3.7 Aplicación del Nano Fertilizante “FlorControl”

El uso del nano-fertilizante “FlorControl”, se realizó en aplicaciones quincenales desde los 45 días después de la plantación hasta el día de la

cosecha, en las tres dosis planteadas en la presente investigación.

4.9.3.8 Fertilización

La fertilización del cultivo se realizó en un área de 460,8 m² considerando los resultados del análisis químico del suelo, el cual mostró textura franco arenosa, pH 7,24, contenido muy bajo de materia orgánica (0,20 %), elevada conductividad eléctrica (11,95 dS/m), disponibilidad alta de potasio (620 ppm) y saturación total de bases. Con base en estos parámetros, se determinó que los nutrientes críticos durante el ciclo del cultivo fueron el nitrógeno y el fósforo, mientras que el potasio, calcio y magnesio se encontraron en niveles suficientes, por lo que no se aplicaron fuentes adicionales de estos elementos a fin de evitar incrementos innecesarios en la salinidad del suelo.

El requerimiento total de nitrógeno para el ciclo de cuatro meses fue de 100 kg N/ha, lo que correspondió a 4,37 kg de nitrógeno para el área experimental. Esta cantidad se aportó mediante la aplicación de 12,85 kg de nitrato de amonio (34 % N), los cuales se distribuyeron mediante fertirriego en fracciones semanales. En cuanto al fósforo, el suelo contenía 34 kg P/ha, por lo que se complementó hasta una disponibilidad total de 40 kg P/ha. La diferencia equivalente a 0,26 kg de fósforo se aportó mediante 1,15 kg de fosfato monoamónico (MAP), también aplicado de manera fraccionada a través del fertirriego. No se aplicaron fertilizantes potásicos debido a la alta disponibilidad

de K en el suelo, ni fuentes de Ca o Mg, debido a su suficiencia y a la necesidad de evitar incrementos en la conductividad eléctrica.

La distribución de nutrientes se realizó según las fases fenológicas del cultivo. Durante la etapa de establecimiento y enraizamiento (semanas 1 a 4), se aplicó el 25 % del nitrógeno total y el 40 % del fósforo complementario, con el objetivo de favorecer la formación de raíces y la emisión de brotes. En la fase de crecimiento vegetativo activo (semanas 5 a 9), se aportó el 45 % del nitrógeno y otro 40 % del fósforo, periodo en el cual la planta incrementó su actividad fotosintética y la expansión foliar. Finalmente, en la etapa de prefloración (semanas 10 a 14), se aplicó el 30 % restante del nitrógeno y el 20 % final del fósforo, permitiendo sostener el desarrollo estructural sin estimular un crecimiento vegetativo excesivo que afectara la madurez fisiológica.

El fertirriego se ejecutó siguiendo un procedimiento uniforme durante todo el ciclo. Para cada aplicación semanal se prepararon soluciones de 100 litros de agua en las que se disolvieron las cantidades correspondientes de nitrato de amonio y fosfato monoamónico asignadas para esa semana. El sistema de riego se activó y, transcurridos 5 minutos de iniciado el flujo, se inyectó la solución nutrimental a través del inyector Venturi durante 10 minutos con el fin de asegurar una distribución homogénea en las líneas de riego. Finalizado este tiempo, el riego continuó hasta completar el volumen programado, permitiendo

el arrastre completo de la solución hacia la zona radicular sin acumulación de sales en superficie. El uso de soluciones de 100 L facilitó un manejo preciso de la dosis y evitó la aplicación concentrada de nutrientes en un solo punto del sistema.

El fraccionamiento semanal del aporte nutricional permitió mantener una disponibilidad constante de nitrógeno y fósforo en el perfil explorado por las raíces, reduciendo pérdidas por lixiviación y mejorando la eficiencia de absorción. Además, esta estrategia evitó incrementos súbitos en la salinidad del suelo, lo que fue fundamental considerando la alta conductividad eléctrica inicial. El programa de fertilización ejecutado tuvo en cuenta tanto la oferta nutrimental natural del suelo como la capacidad real de absorción del cultivo, asegurando un suministro balanceado y adecuado durante todo el ciclo.

4.9.3.9 Sanidad Vegetal del Cultivo

El manejo fitosanitario del cultivo se realizó de manera preventiva mediante la aplicación de productos biológicos cada quince días, administrados con una mochila eléctrica de 15 litros. El uso de este equipo permitió mantener una presión y un caudal constantes, asegurando una distribución uniforme de las soluciones sobre el follaje y evitando variaciones en la dosis aplicada entre plantas. Todas las preparaciones se realizaron con agua limpia para preservar la viabilidad de los microorganismos benéficos contenidos en los productos

utilizados.

Las aplicaciones incluyeron un insecticida biológico y dos fungicidas biológicos. El insecticida empleado fue BioSpore 6.4% PM, a base de Bacillus thuringiensis var. kurstaki, específico para el control de larvas de lepidópteros. Según su ficha técnica, la dosis empleada fue de 2 gramos por litro de agua, por lo que para una mochila de 15 litros se disolvieron 30 gramos del producto en cada aplicación quincenal. Esta mezcla se preparó inmediatamente antes de cada aplicación para garantizar la actividad del ingrediente biológico y se mantuvo en agitación constante durante su aplicación.

Para el control preventivo de enfermedades se utilizaron los fungicidas biológicos CustomBio B5 y TrichoHar WP. CustomBio B5 contiene una mezcla de cinco especies de Bacillus con actividad antifúngica y promotora de crecimiento. En cada aplicación se empleó la dosis indicada en su ficha técnica: 2 gramos por litro, equivalente a 30 gramos por mochila de 15 litros. De manera complementaria, se aplicó TrichoHar WP, formulado con Trichoderma harzianum, en la dosis recomendada de 2 gramos por litro, lo que representó 30 gramos por mochila de 15 litros. Ambos productos se aplicaron juntos únicamente cuando sus fichas técnicas confirmaron compatibilidad, manteniendo siempre el pH del agua dentro del rango óptimo para microorganismos benéficos.

Adicionalmente, se aplicó un tratamiento mensual con el producto Trilogy 70, formulado a base de aceite clarificado de neem, utilizado como control extra de insectos, ácaros y enfermedades superficiales. La dosis aplicada fue la indicada en su ficha técnica: 3 mL por litro, lo que representó 45 mL por mochila de 15 litros. Esta aplicación se realizó de manera independiente y nunca se mezcló con los productos biológicos, debido a que el aceite de neem podría afectar la viabilidad de los microorganismos presentes en BioSpore, CustomBio B5 y TrichoHar WP. Por esta razón, el neem se aplicó en días separados y con un tiempo suficiente para evitar interacciones negativas.

Todas las aplicaciones se efectuaron en horas de la tarde, evitando temperaturas elevadas y reduciendo la desnaturalización de los microorganismos biológicos. La frecuencia quincenal de los biológicos, junto con el refuerzo mensual del neem, permitió mantener un programa fitosanitario preventivo adecuado durante todo el ciclo del cultivo. Como resultado de este manejo, no se reportaron apariciones significativas de plagas ni enfermedades en el campo experimental, lo que confirmó la efectividad del programa implementado.

4.9.3.10 Cosecha

La cosecha (corte) se llevó a cabo 16 semanas después de la plantación, cuando el orégano en el campo experimental alcanzó un 20% de floración. Antes

de realizar el corte se retiraron las cintas de riego de los camellones, para evitar dañarlas durante el proceso de corte, estas fueron enrolladas y colocadas al inicio del camellón en donde no estorben el trabajo. Las 16 unidades experimentales fueron cosechadas el mismo día durante las primeras horas de la mañana. Las plantas en evaluación fueron cortadas con una segadora y agrupadas en atados, manteniendo cada uno separado por unidad experimental. Los atados se colocaron en un espacio sombreado hasta completar la recolección de todas las unidades, y luego se procedió a pesar en fresco cada atado.

4.9.3.11 Secado de Orégano

Para el proceso de secado, las plantas fueron llevadas a un área sombreada (Secador techado) después de ser pesadas. Allí los atados terminaron su proceso de secado y el resto se colocó en filas, asegurándose de que no quedasen compactadas para evitar la proliferación de hongos y el aumento de la temperatura en las plantas cortadas durante el secado.

4.9.3.12 Trillado

Cuando las hojas se desprendían fácilmente de los tallos, se procedió a la tarea del trillado. Este proceso se realizó con mucho cuidado para evitar que se mezclen muestras diferentes y prevenir la pérdida de material debido al viento,

esta labor se realizó con la ayuda de un palo de eucalipto de 2 metros de largo para golpear el orégano seco. Antes del trillado, se pesaron las plantas secas, y tras el proceso, se pesaron las hojas secas.

4.9.3.13 Extracción de aceite

La extracción de aceite se realizó por arrastre de vapor, que genera vapor mediante un sistema de calentamiento con vela de cuarzo, se realizó con un **Extractor de aceites esenciales (Escala Laboratorio) de la marca argentina FIGMAY**. La caldera utilizó agua destilada, mientras que el sistema de enfriamiento utilizó agua potable. Las extracciones se realizaron en tandas de 300 g por muestra que es la cantidad máxima que puede contener el extractor. Para evitar contaminaciones o cambios en los resultados, se realizó una limpieza exhaustiva del equipo entre extracciones, que duraron aproximadamente 40 minutos por cada muestra. Se limpió el sistema de enfriamiento, las canastas de muestra de orégano, el sistema de recolección de aceite, el sistema de nivel constante, la caldera que contuvo el agua destilada y los conductos que las unen.

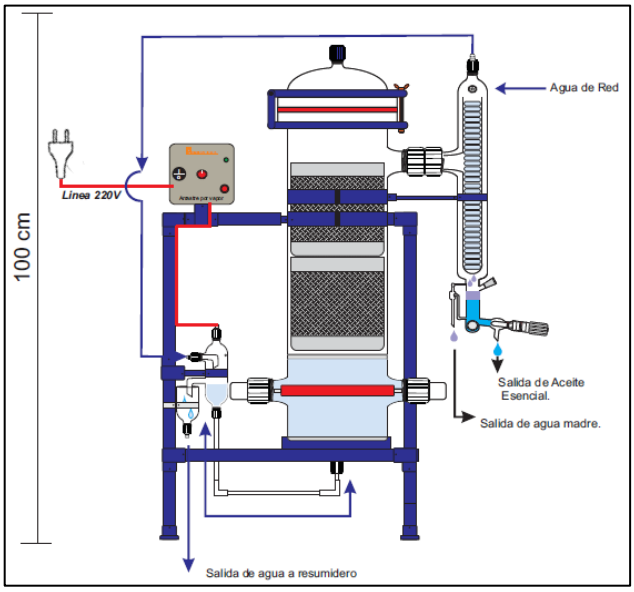


Figura 3

Diagrama del extractor de aceites (Escala laboratorio) de la marca FIGMAY

4.9.3.14 Labores de post cosecha

Después de realizar el corte del orégano, se colocaron las cintas de riego en los camellones. Durante el primer riego posterior al corte, es importante limpiar las cintas: en el exterior, utilizando un paño o un trozo de malla para retirar restos de sarro y polvo acumulados en los goteros, y en el interior, aplicando ácido fosfórico desde la matriz del sistema de riego en días diferentes.

4.10 Análisis de datos

Se utilizó el método de análisis de varianza (ANOVA) a un nivel de significancia de α = 0,05. Se utilizó la prueba de significancia de Tukey, con un nivel de significancia de α = 0,05, para comparar las medias entre los tratamientos, es preciso señalar que todos los datos usados para la investigación pertenecen al primer corte de orégano del campo instalado.

CAPÍTULO V

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Peso Fresco Total

El análisis de varianza evidenció diferencias significativas entre tratamientos para la variable peso fresco total ($p < 0,05$), lo que confirma que las distintas dosis del nano-fertilizante generaron respuestas diferenciadas en el crecimiento vegetativo del orégano chinito. Este resultado demuestra que la nutrición foliar aplicada tuvo un efecto real sobre la acumulación de biomasa fresca del cultivo.

Tabla 3

Análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso fresco total

F.V.	gl	SC	CM	F Calculado	p-valor	Signif.
Tratamiento	3	10 288	3 429	5,01	0,00241	**
Error	156	106 783	685	-	-	-
Total	159	117 071				

** p < 0.01 = diferencias altamente significativas

La prueba de comparación múltiple de Tukey mostró que el tratamiento T1 (30 g/200 l) presentó el mayor promedio de peso fresco total, diferenciándose estadísticamente del testigo (T0) y de las dosis superiores (T2 y T3). Por su

parte, los tratamientos T0, T2 y T3 no evidenciaron diferencias significativas entre sí, lo que indica que el incremento de la dosis no produjo un aumento proporcional en la respuesta del cultivo.

Tabla 4

Peso fresco total (g) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante

Tratamiento	Dosis	Peso Fresco Total (g)
T1	30 g / 200 Litros	170,85 **a**
T2	50 g / 200 Litros	154,00 **b**
T3	100 g / 200 Litros	152,03 **b**
T0	0 g / 200 Litros	151,38 **b**
Promedio		157,06
C.V (%)		16,66

Nota: Medias con diferente letra presentan diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$).

La Figura 4 permite visualizar claramente este comportamiento, observándose que el tratamiento T1 presenta la mayor altura de barra y una letra estadística distinta, mientras que los demás tratamientos se agrupan en un mismo nivel. Esta representación gráfica refuerza la superioridad de la dosis moderada frente a las demás evaluadas.

Este patrón de respuesta concuerda con lo reportado por Malaka et al.

(2022), quienes señalan que una nutrición equilibrada incrementa la biomasa en especies aromáticas. Asimismo, Du et al. (2018) reportaron que dosis moderadas de micronutrientes nanoparticulados estimulan el crecimiento en orégano, mientras que concentraciones elevadas pueden generar respuestas fisiológicas negativas. Por ello, la dosis de 30 g/200 l habría permitido un balance nutricional adecuado que optimizó la actividad fotosintética y la acumulación de biomasa fresca.

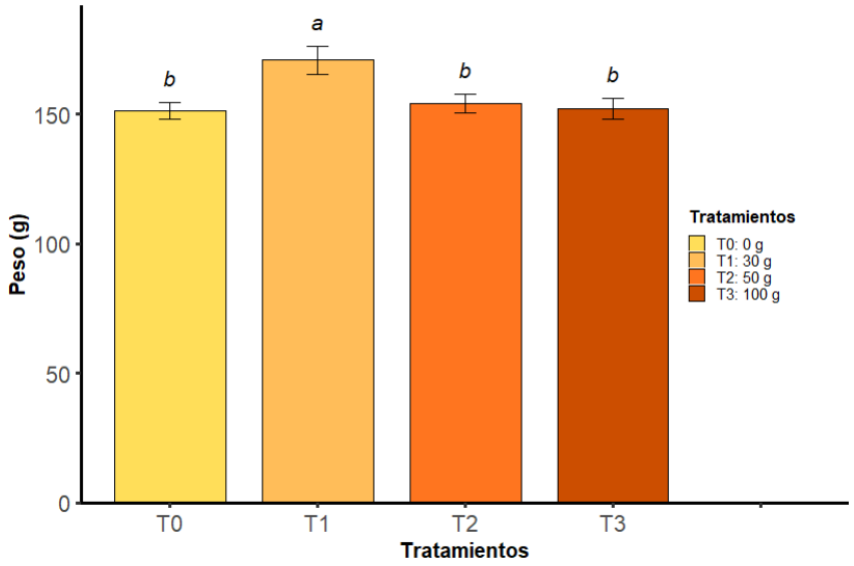


Figura 4

Peso fresco total (g) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante

5.2 Porcentaje de Peso Seco total

El análisis de varianza mostró un efecto altamente significativo de los tratamientos sobre el porcentaje de peso seco total (F = 4,40; p = 0,00528), evidenciando que las dosis del nano-fertilizante influyeron directamente en la acumulación de biomasa estructural del cultivo. Este resultado indica que no solo hubo cambios en contenido de agua, sino en producción real de tejido vegetal.

Tabla 5

Análisis de varianza (ANOVA) para la variable Porcentaje de peso seco total

F.V.	gl	SC	CM	F Calculado	p-valor	Signif.
Tratamiento	3	54,10	18,02	4,40	0,00528	**
Error	156	638,30	4,09	-	-	-
Total	159	692,40				

** p < 0,01 = diferencias altamente significativas

La prueba de Tukey indicó que el tratamiento T2 (50 g/200 l) alcanzó el mayor valor promedio (26,04 %), diferenciándose significativamente del testigo (24,47 %). Los tratamientos T1 y T3 presentaron valores intermedios y no mostraron diferencias estadísticas claras con los extremos, lo que refleja una respuesta gradual ante la variación de dosis.

Tabla 6

Porcentaje de peso seco total (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante

Tratamiento	Dosis	Porcentaje de Peso Seco Total (%)
T2	50 g / 200 Litros	26,04 **a**
T1	30 g / 200 Litros	25,58 **ab**
T3	100 g / 200 Litros	25,08 **ab**
T0	0 g / 200 Litros	24,47 **b**
Promedio		25,29
C.V (%)		7,99

Nota: Medias con diferente letra presentan diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$)

En la Figura 5 se aprecia esta tendencia, observándose una ligera superioridad del tratamiento T2 sobre los demás. La representación gráfica confirma que la dosis intermedia favoreció la acumulación de materia seca, mientras que las dosis más bajas o más altas no lograron el mismo nivel de eficiencia fisiológica.

La mayor acumulación de materia seca obtenida con T2 puede explicarse por una mayor eficiencia fotosintética y mejor conversión de fotoasimilados en biomasa estructural. Shahhat et al. (2024) indican que la disponibilidad equilibrada de micronutrientes mejora la síntesis de clorofila y la actividad

metabólica en especies de Lamiaceae. De forma similar, Yadegari (2014) reportó incrementos significativos en materia seca con aplicaciones foliares balanceadas de micronutrientes, lo que respalda fisiológicamente los resultados obtenidos en este estudio.

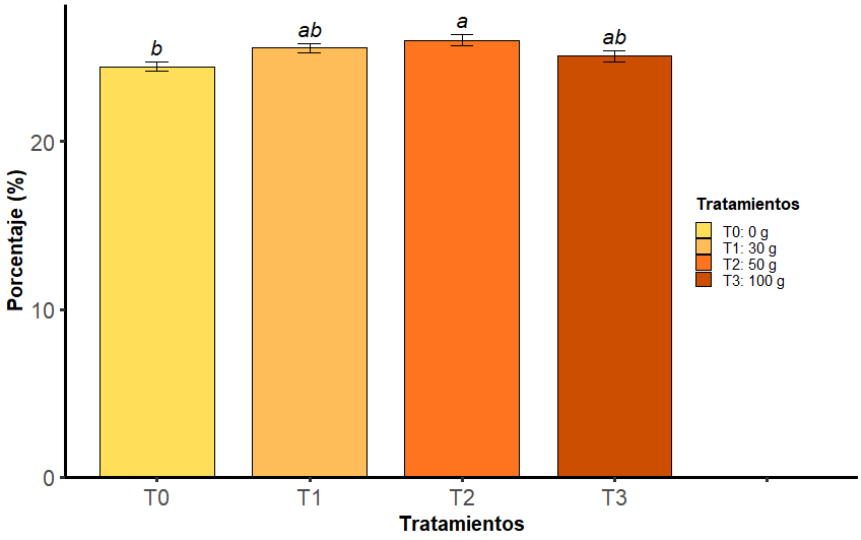


Figura 5

Porcentaje de peso seco total (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante

5.3 Porcentaje Comercial Seco

El análisis de varianza aplicado a la variable porcentaje comercial seco indicó que no existen diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos al nivel de significancia del 5% ($p > 0,05$). No obstante, el valor

obtenido en el análisis mostró una ligera tendencia al efecto del tratamiento ($p < 0,10$), lo que sugiere que, aunque las diferencias no fueron suficientes para ser consideradas significativas, sí se observa una variación leve entre las respuestas de los tratamientos evaluados.

Tabla 7

Análisis de varianza (ANOVA) para la variable porcentaje comercial seco

F.V.	gl	SC	CM	F Calculado	p-valor	Signif.
Tratamiento	3	124	41,32	2,148	0,0964	.
Error	156	3 001	19,24	-	-	-
Total	159	3 125				

. $p < 0,10$ = tendencia estadística

La prueba de comparación múltiple de Tukey confirmó que todas las medias pertenecen al mismo grupo estadístico, es decir, que los tratamientos T0, T1, T2 y T3 no difieren significativamente entre sí en cuanto al porcentaje comercial seco. Esto indica que, bajo las condiciones del presente estudio, las dosis del nano-fertilizante no modificaron de manera estadísticamente comprobable la proporción de hoja comercial respecto al total de biomasa seca obtenida.

Tabla 8

Porcentaje comercial seco (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante

Tratamiento	Dosis	Porcentaje comercial seco (%)
T0	0 g / 200 Litros	57,58 **a**
T1	30 g / 200 Litros	57,23 **a**
T2	50 g / 200 Litros	57,13 **a**
T3	100 g / 200 Litros	59,31 **a**
Promedio		57,81
C.V (%)		7,587

Nota: Medias con diferente letra presentan diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$)

En la Figura 6 se observa que los valores promedio de porcentaje comercial seco presentan variaciones leves entre tratamientos, aunque estas diferencias son pequeñas y no representan contrastes estadísticos claros. La representación gráfica permite apreciar que todos los tratamientos muestran comportamientos relativamente similares, lo que coincide con los resultados obtenidos en el análisis estadístico.

Aunque no se detectaron diferencias estadísticas significativas, la ligera variación observada podría estar asociada a respuestas fisiológicas sutiles del cultivo frente a la disponibilidad de micronutrientes. Diversos autores señalan

que la nutrición foliar puede influir en la relación hoja:tallo y en la arquitectura del dosel en especies aromáticas, aunque estos efectos no siempre se expresan con suficiente magnitud como para generar diferencias estadísticas claras en todos los parámetros productivos (Malaka et al., 2022; Shahhat et al., 2024). En este contexto, los resultados sugieren que el porcentaje comercial seco del orégano chinito presentó una respuesta relativamente estable frente a las dosis evaluadas, lo cual puede interpretarse como una característica propia del cultivo bajo las condiciones edafoclimáticas del área de estudio.

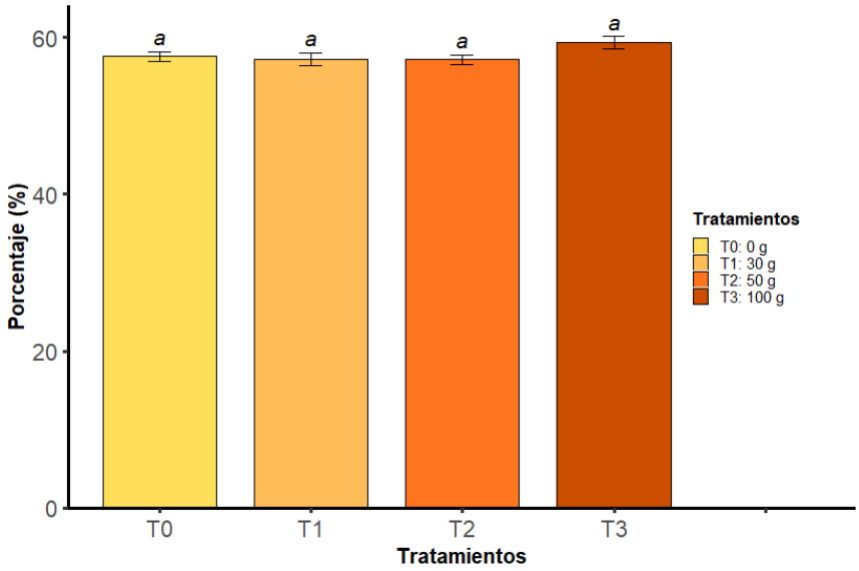


Figura 6

Porcentaje comercial seco (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante

5.4 Porcentaje de Aceite

El análisis de varianza aplicado al porcentaje de aceite esencial evidenció diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0,05$), lo que demuestra que la dosis del nano-fertilizante influyó directamente en la síntesis de metabolitos secundarios del cultivo. Este resultado confirma que la nutrición foliar afecta no solo la cantidad, sino también la calidad del producto.

Tabla 9

Análisis de varianza (ANOVA) para la variable porcentaje de aceite

F.V.	gl	SC	CM	F Calculado	p-valor	Signif.
Tratamiento	3	0,221	0,07373	961,7	<0,001	***
Error	20	0,002	0,00008	-	-	-
Total	23	0,223				

*** $p < 0.001$ = diferencias muy altamente significativas

La prueba de Tukey indicó que el tratamiento T1 (30 g/200 l) obtuvo el mayor porcentaje de aceite esencial, diferenciándose estadísticamente del testigo y de las dosis superiores. Esto evidencia que el aumento de la dosis no conduce necesariamente a una mayor producción de aceite, sino que existe un nivel óptimo de respuesta.

Tabla 10

Porcentaje de aceite (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante

Tratamiento	Dosis	Porcentaje de aceite (%)
T1	30 g / 200 Litros	0,82 **a**
T2	50 g / 200 Litros	0,80 **b**
T3	100 g / 200 Litros	0,71 **c**
T0	0 g / 200 Litros	0,58 **d**
Promedio		0,73
C.V (%)		1,20

Nota: Medias con diferente letra presentan diferencias estadísticas significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ($p < 0,05$)

En la Figura 7 se aprecia claramente esta tendencia, observándose una mayor altura de barra en el tratamiento T1, mientras que las dosis superiores muestran una reducción en el porcentaje de aceite. La representación gráfica refuerza la existencia de un efecto óptimo asociado a la dosis moderada.

La biosíntesis de aceites esenciales depende estrechamente del equilibrio nutricional y de la actividad enzimática, en la cual participan micronutrientes como hierro, zinc, manganeso y cobre. Shahhat et al. (2024) reportan que la aplicación foliar de estos elementos incrementa la producción de aceites esenciales en especies de Lamiaceae. No obstante, Du et al. (2018) señalan que

concentraciones elevadas de micronutrientes pueden generar estrés fisiológico y reducir la producción de metabolitos secundarios, lo que explica la menor respuesta observada en las dosis más altas del presente estudio.

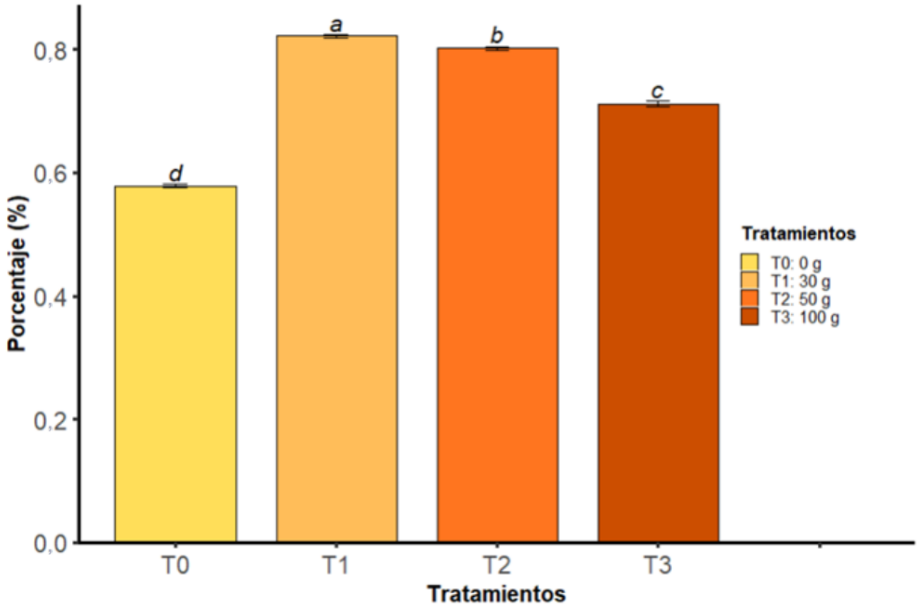


Figura 7

Porcentaje de aceite (%) de Orégano chinito (Origanum vulgare L.) con 3 dosis de un Nano-fertilizante

CONCLUSIONES

La aplicación del nano-fertilizante foliar FlorControl influyó significativamente en el comportamiento agronómico y fisiológico del cultivo de orégano chinito bajo las condiciones edafoclimáticas del distrito de La Yarada Los Palos. Los resultados del análisis estadístico evidenciaron diferencias entre tratamientos en las variables evaluadas, lo que confirma que la dosis de aplicación constituye un factor determinante en la respuesta del cultivo. Este hallazgo respalda la importancia de evaluar no solo la aplicación de productos innovadores, sino también la optimización de su concentración para maximizar su efectividad agronómica.

En relación con la variable peso fresco total, la dosis de 30 g/200 l (T1) fue la que presentó el mayor rendimiento, diferenciándose estadísticamente del testigo y de las dosis superiores. Este resultado demuestra que una dosis moderada del nano-fertilizante favorece el crecimiento vegetativo y la acumulación de biomasa fresca del cultivo, probablemente debido a un mejor equilibrio en la disponibilidad de micronutrientes. Asimismo, se evidenció que el incremento de la dosis por encima de este nivel no genera una respuesta proporcional en el crecimiento, lo que sugiere la existencia de un umbral

fisiológico óptimo para la respuesta del orégano chinito a la fertilización foliar.

Para la variable porcentaje de peso seco total, la dosis de 50 g/200 l (T2) alcanzó el mayor valor promedio y se diferenció significativamente del tratamiento testigo. Este resultado indica que dicha dosis favoreció una mayor eficiencia fisiológica del cultivo, reflejada en una mayor acumulación de biomasa estructural real. La materia seca representa un indicador clave del rendimiento productivo, ya que refleja la conversión efectiva de fotoasimilados en tejido vegetal, por lo que este resultado sugiere que una nutrición foliar equilibrada contribuye a mejorar los procesos metabólicos y la eficiencia fotosintética del cultivo.

En la variable porcentaje comercial seco no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos ($p > 0,05$), aunque se observó una ligera tendencia al efecto de la dosis ($p < 0,10$). Esto indica que, bajo las condiciones del estudio, la proporción comercial se mantuvo relativamente igual frente a las dosis evaluadas del nano-fertilizante.

Respecto al porcentaje de aceite esencial, la dosis de 30 g/200 l (T1) obtuvo el mayor valor, diferenciándose estadísticamente de los demás tratamientos. Este comportamiento confirma que la producción de los aceites esenciales, responde a un rango óptimo de nutrición y no necesariamente a

mayores concentraciones de fertilizante. Asimismo, evidencia que dosis excesivas pueden generar desbalances fisiológicos que limitan la síntesis de estos compuestos, lo cual resulta clave para comprender el manejo adecuado de productos foliares en cultivos aromáticos.

RECOMENDACIONES

Se recomienda utilizar la dosis de 30 g/200 l de nano-fertilizante foliar para la producción de orégano chinito en las condiciones de La Yarada Los Palos, debido a que esta concentración mostró los efectos más favorables sobre el peso fresco total y el rendimiento comercial.

Para fines productivos y de valorización comercial, se sugiere evaluar la dosis de 50 g/200 l en cultivos destinados prioritariamente a la obtención de biomasa seca (hoja seca), dado que esta concentración logró los valores más altos de materia seca en hoja y porcentaje de peso seco total.

Se recomienda evitar el uso de dosis superiores a 100 g/200 l, puesto que no generaron incrementos significativos en las variables evaluadas y podrían implicar un uso innecesario de insumos.

Para una mejor comprensión del efecto del nano-fertilizante, se propone realizar estudios adicionales que incluyan variables fisiológicas (clorofila foliar, conductancia estomática, eficiencia fotosintética) y componentes de calidad (perfil químico del aceite esencial), lo que permitiría caracterizar con mayor precisión su modo de acción.

Finalmente, se sugiere ampliar la investigación a diferentes épocas de siembra, condiciones edafoclimáticas y etapas fenológicas, así como incluir análisis económicos del costo-beneficio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdel-Aziz, H. M., Hasaneen, M. N., & Omer, A. M. (2016). Nano chitosan-NPK fertilizer enhances the growth and productivity of wheat plants grown in sandy soil. *Spanish Journal of Agricultural Research*, *14*, 902.

Arabaci, T., Çelenk, S., Özcan, T., Martin, E., Yazici, T., Açar, M., Üzel, D., & Dirmenci, T. (2021). Homoploid hybrids of Origanum (Lamiaceae) in Turkey: Morphological and molecular evidence for a new hybrid. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, *155*(3), 470-482. https://doi.org/10.1080/11263504.2020.1762777

Arabacı, T., Yazıcı, T., Özcan, T., & Dirmenci, T. (2019). Physicochemical soil properties of genus Origanum (Lamiaceae) L. grown in Turkey. *Biological Diversity and Conservation*, *12*(3), 14-18. https://doi.org/10.5505/biodicon.2019.98853

Asri, F. Ö. (2023). The effects of organic and conventional fertilization on oregano (Origanum onites L.) yield and quality factors. *Folia Horticulturae*, *35*(1), 209-219. https://doi.org/10.2478/fhort-2023-0016

Auffan, M., Rose, J., Bottero, J.-Y., Lowry, G. V., Jolivet, J.-P., & Wiesner, M. R. (2009). Towards a definition of inorganic nanoparticles from an

environmental, health and safety perspective. *Nature Nanotechnology*, *4*(10), 634-641. https://doi.org/10.1038/nnano.2009.242

Balasubramanian Malaikozhundan, B. M., Baskaralingam Vaseeharan, B. V., Sekar Vijayakumar, S. V., & Thangaraj, M. P. (2017). *Bacillus thuringiensis coated zinc oxide nanoparticle and its biopesticidal effects on the pulse beetle, Callosobruchus maculatus.* https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20183348795

Barreyro, R., Ringuelet, J., & Agricola, S. (2005). Nitrogen fertilization and yield in oregan (Origanum xapplii). *Ciencia e investigación agraria*, *32*(1), 34-38. https://doi.org/10.7764/rcia.v32i1.305

Chen, J., Peng, H., Wang, X., Shao, F., Yuan, Z., & Han, H. (2014). Graphene oxide exhibits broad-spectrum antimicrobial activity against bacterial phytopathogens and fungal conidia by intertwining and membrane perturbation. *Nanoscale*, *6*(3), 1879-1889.

Chen, J., Sun, L., Cheng, Y., Lu, Z., Shao, K., Li, T., Hu, C., & Han, H. (2016). Graphene Oxide-Silver Nanocomposite: Novel Agricultural Antifungal Agent against *Fusarium graminearum* for Crop Disease Prevention. *ACS Applied Materials & Interfaces*, *8*(36), 24057-24070. https://doi.org/10.1021/acsami.6b05730

Choudhary, R. C., Kumaraswamy, R. V., Kumari, S., Sharma, S. S., Pal, A., Raliya, R., Biswas, P., & Saharan, V. (2017). Cu-chitosan nanoparticle boost defense responses and plant growth in maize (Zea mays L.). *Scientific reports*, *7*(1), 9754.

Corrêa, R. M., Pinto, J. E. B. P., Reis, E. S., Costa, L. C. B., Alves, P. B., Niculan, E. S., & Brant, R. S. (2010). Adubação orgânica na produção de biomassa de plantas, teor e qualidade de óleo essencial de orégano (Origanum vulgare L.) em cultivo protegido. *Revista Brasileira de Plantas Medicinais*, *12*(1), 80-89. https://doi.org/10.1590/S1516-05722010000100012

Dambolena, J. S., Zunino, M. P., Lucini, E. I., Olmedo, R., Banchio, E., Bima, P. J., & Zygadlo, J. A. (2010). Total Phenolic Content, Radical Scavenging Properties, and Essential Oil Composition of Origanum Species from Different Populations. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, *58*(2), 1115-1120. https://doi.org/10.1021/jf903203n

Dordas, C. (2009). Foliar application of calcium and magnesium improves growth, yield, and essential oil yield of oregano (Origanum vulgare ssp. Hirtum). *Industrial Crops and Products*. https://doi.org/10.1016/J.INDCROP.2008.11.004

Du, W., Tan, W., Yin, Y., Ji, R., Peralta-Videa, J. R., Guo, H., & Gardea-Torresdey, J. L. (2018). Differential effects of copper nanoparticles/microparticles in agronomic and physiological parameters of oregano (Origanum vulgare). *Science of The Total Environment*, *618*, 306-312. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.042

El Badawy, A. M., Silva, R. G., Morris, B., Scheckel, K. G., Suidan, M. T., & Tolaymat, T. M. (2011). Surface Charge-Dependent Toxicity of Silver Nanoparticles. *Environmental Science & Technology*, *45*(1), 283-287. https://doi.org/10.1021/es1034188

El-Alam, I., Zgheib, R., Iriti, M., El Beyrouthy, M., Hattouny, P., Verdin, A., Fontaine, J., Chahine, R., Lounès-Hadj Sahraoui, A., & Makhlouf, H. (2019). Origanum syriacum Essential Oil Chemical Polymorphism According to Soil Type. *Foods*, *8*(3), 90. https://doi.org/10.3390/foods8030090

El-khateeb, M., El-Attar, A., & Abo-Bakr, Z. A. M. (2020). *EFFECT OF NANO-MICROELEMENTS ON GROWTH, YIELD ANDESSENTIAL OIL PRODUCTION OF SWEET MARJORAM (ORIGANUM MAJORANA) PLANTS*. https://www.semanticscholar.org/paper/EFFECT-OF-NANO-MICROELEMENTS-ON-GROWTH%2C-YIELD-OIL-El-khateeb-El-Attar/2bdd73c2c46dc136bc1ca15526531408167befca

Elmer, W., De La Torre-Roche, R., Pagano, L., Majumdar, S., Zuverza-Mena, N., Dimkpa, C., Gardea-Torresdey, J., & White, J. C. (2018). Effect of Metalloid and Metal Oxide Nanoparticles on Fusarium Wilt of Watermelon. *Plant Disease*, *102*(7), 1394-1401. https://doi.org/10.1094/PDIS-10-17-1621-RE

Elmer, W. H., & White, J. C. (2016). The use of metallic oxide nanoparticles to enhance growth of tomatoes and eggplants in disease infested soil or soilless medium. *Environmental Science: Nano*, *3*(5), 1072-1079.

Fanourakis, D., Paschalidis, K., Tsaniklidis, G., Tzanakakis, V. A., Bilias, F., Samara, E., Liapaki, E., Jouini, M., Ipsilantis, I., Maloupa, E., Tsoktouridis, G., Matsi, T., & Krigas, N. (2021). Pilot Cultivation of the Local Endemic Cretan Marjoram Origanum microphyllum (Benth.) Vogel (Lamiaceae): Effect of Fertilizers on Growth and Herbal Quality Features. *Agronomy*, *12*(1), 94. https://doi.org/10.3390/agronomy12010094

Fernández-Pola, J. (1996). *Cultivo de plantas medicinales, aromáticas y condimenticias* (Primera reimpresión 2001). OMEGA.

Giannoulis, K. D., Kamvoukou, C.-A., Gougoulias, N., & Wogiatzi, E. (2020). Irrigation and nitrogen application affect Greek oregano (Origanum vulgare ssp. Hirtum) dry biomass, essential oil yield and composition.

Industrial Crops and Products, *150*, 112392. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112392

Gurunathan, S. (2015). Cytotoxicity of graphene oxide nanoparticles on plant growth promoting rhizobacteria. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, *32*, 282-291. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2015.08.027

Hatch, M. D., & Burnell, J. N. (1990). Carbonic Anhydrase Activity in Leaves and Its Role in the First Step of C4 Photosynthesis. *Plant Physiology*, *93*(2), 825-828. https://doi.org/10.1104/pp.93.2.825

Ietswaart, J. H. (1980). *A Taxonomic Revision of the Genus Origanum (Labiatae)*. Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-9156-9

Ijaz, H. (2009). *Characterization and Biological Activities of Essential Oils of Some Species of Lamiaceae*. https://www.semanticscholar.org/paper/Characterization-and-Biological-Activities-of-Oils-Ijaz/ce9502b404d12fb499e2228f4c4d685573a8d7d1

Jogaiah, S., Singh, H. B., Fraceto, L. F., & De Lima, R. (2020). *Advances in nano-fertilizers and nano-pesticides in agriculture: A smart delivery system for crop improvement*. Woodhead Publishing. https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=IWzqDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Advances+in+Nano-Fertilizers+and+Nano-

Pesticides+in+Agriculture&ots=J2JMlYgvYm&sig=q4QinadiZo-khV9kaOmgyb9XieM

Kaiser, B. N., Gridley, K. L., Ngaire Brady, J., Phillips, T., & Tyerman, S. D. (2005). The Role of Molybdenum in Agricultural Plant Production. *Annals of Botany*, *96*(5), 745-754. https://doi.org/10.1093/aob/mci226

Kanwal, N., Hanif, M. A., Khan, M. M., Ansari, T. M., & Khalil-ur-Rehman. (2016). Effect of Micronutrients on Vegetative Growth and Essential Oil Contents of Ocimum sanctum. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *19*(4), 980-988. https://doi.org/10.1080/0972060X.2016.1188735

Kokkini, S., Karousou, R., & Vokou, D. (1994). Pattern of geographic variations of Origanum vulgare trichomes and essential oil content in Greece. *Biochemical Systematics and Ecology*, *22*(5), 517-528. https://doi.org/10.1016/0305-1978(94)90046-9

Koo, Y., Wang, J., Zhang, Q., Zhu, H., Chehab, E. W., Colvin, V. L., Alvarez, P. J. J., & Braam, J. (2015). Fluorescence Reports Intact Quantum Dot Uptake into Roots and Translocation to Leaves of Arabidopsis thaliana and Subsequent Ingestion by Insect Herbivores. *Environmental Science & Technology*, *49*(1), 626-632. https://doi.org/10.1021/es5050562

Kosakowska, O., Węglarz, Z., & Bączek, K. (2019). Yield and quality of ‘Greek oregano’ (Origanum vulgare L. subsp. Hirtum) herb from organic

production system in temperate climate. *Industrial Crops and Products*, *141*, 111782. https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111782

Kumar, M., & Bhardwaj, D. (2020). *Plant Science Today*. https://www.semanticscholar.org/paper/Plant-Science-Today-Kumar-Bhardwaj/056dc3523b0ffe21e9374b47243d710905e2d15b

Lajayer, H. A., Savaghebi, G., Hadian, J., Hatami, M., & Pezhmanmehr, M. (2017). Comparison of copper and zinc effects on growth, micro- and macronutrients status and essential oil constituents in pennyroyal (Mentha pulegium L.). *Brazilian Journal of Botany*, *40*(2), 379-388. https://doi.org/10.1007/s40415-016-0353-0

Liang, Y., Yang, D., & Cui, J. (2017). A graphene oxide/silver nanoparticle composite as a novel agricultural antibacterial agent against Xanthomonas oryzae pv. Oryzae for crop disease management. *New Journal of Chemistry*, *41*(22), 13692-13699.

Limache Yufra, H. (2012). *Efecto del nitrógeno y fósforo en el rendimiento de hoja seca y aceite esencial en el orégano (Origanum vulgare L.) ecotipo peruano mejorado*. https://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/20.500.12510/1275

Malaka, M. J., Araya, N. A., Soundy, P., Du Plooy, C. P., Araya, H. T., Jansen Van Rensburg, W. S., Watkinson, E., Levember, E., Wadiwala, E., &

Amoo, S. O. (2022). Biomass, Essential Oil Yield, and Composition of Marjoram as Influenced by Interactions of Different Agronomic Practices under Controlled Conditions. *Plants*, *12*(1), 173. https://doi.org/10.3390/plants12010173

Malavolta, E. (2006). *Manual de nutrição mineral de plantas*. 631.

Marschner, P., Crowley, D., & Rengel, Z. (2011). Rhizosphere interactions between microorganisms and plants govern iron and phosphorus acquisition along the root axis – model and research methods. *Soil Biology and Biochemistry*, *43*(5), 883-894. https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.01.005

Martini, A. N., Papafotiou, M., Massas, I., & Chorianopoulou, N. (2023). Growing of the Cretan Therapeutic Herb Origanum Dictamnus in The Urban Fabric: The Effect of Substrate and Cultivation Site on Plant Growth and Potential Toxic Element Accumulation. *Plants*, *12*(2), 336. https://doi.org/10.3390/plants12020336

Panou-Philotheou, H., Koukourikou-Petridou, M., Bosabalidis, A., & Karataglis, S. (2002). Relations of endogenous and applied gibberellins to growth and accumulation of essential elements in oregano plants grown in copper rich soils. *Advances in horticultural science*, (2). https://doi.org/10.1400/14101

Prasad, T. N. V. K. V., Sudhakar, P., Sreenivasulu, Y., Latha, P., Munaswamy, V., Reddy, K. R., Sreeprasad, T. S., Sajanlal, P. R., & Pradeep, T. (2012). Effect of Nanoscale Zinc Oxide Particles on the Germination, Growth and Yield of Peanut. *Journal of Plant Nutrition*, *35*(6), 905-927. https://doi.org/10.1080/01904167.2012.663443

Shahhat, I. M., Elsheikh, S. Y. S., & Northern Border University. (2024). Accumulation of secondary metabolites in the family Lamiaceae as influenced by foliar micronutrients. *Boletin Latinoamericano y del Caribe de Plantas Medicinales y Aromaticas*, *23*(6), 823-838. https://doi.org/10.37360/blacpma.24.23.6.53

Shahram, S., & Mahdi, Z. (2011). Influence of growth regulators on growth and secondary metabolites of some medicinal plants from Lamiaceae family. *Advances in Environmental Biology*, 2296-2303.

Skoufogianni, E., Solomou, A. D., & Danalatos, N. G. (2019). Ecology, Cultivation and Utilization of the Aromatic Greek Oregano (Origanum vulgare L.): A Review. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, *47*(3). https://doi.org/10.15835/nbha47311296

Tripathi, P., Singh, R. P., Srivastava, S., Shivanna, B., Singh, A. K., Singh, S., & Khare, P. (2022). Quantifying the boron demand of Pelargonium graveolens for optimum biomass yield and quality of essential oil under

field conditions. *Journal of Plant Nutrition*, *45*(2), 218-231. https://doi.org/10.1080/01904167.2021.1943681

Trivino, M. G., & Johnson, C. B. (2000). Season has a Major Effect on the Essential oil Yield response to Nutrient Supply in Origanum Majorana. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, *75*(5), 520-527. https://doi.org/10.1080/14620316.2000.11511278

Unal, B., Güvensen, A., Dereboylu, A. E., & Ozturk, M. (2013). VARIATIONS IN THE PROLINE AND TOTAL PROTEIN CONTENTS IN ORIGANUM SIPYLEUM L. FROM DIFFERENT ALTITUDES OF SPIL MOUNTAIN, TURKEY. *Pakistan Journal of Botany*. https://www.semanticscholar.org/paper/VARIATIONS-IN-THE-PROLINE-AND-TOTAL-PROTEIN-IN-L.-Unal-G%C3%BCvensen/de2633e61e4db8c6f4feb73799fee074cd53bf29

Uysal Bayar, F., & Çinar, O. (2020). Kültür koşullarında yetiştirilen farklı origanum spp. Türlerinin bazı verim ve kalite parametreleri. *Derim*, *37*(1), 10-17. https://doi.org/10.16882/derim.2020.605745

White, J. G., & Zasoski, R. J. (1999). Mapping soil micronutrients. *Field Crops Research*, *60*(1), 11-26. https://doi.org/10.1016/S0378-4290(98)00130-0

Yadegari, M. (2014). Effect of foliar application of micronutrients on growth, yield andessential oil content of Thyme (Thymus vulgaris L.). *Crop*

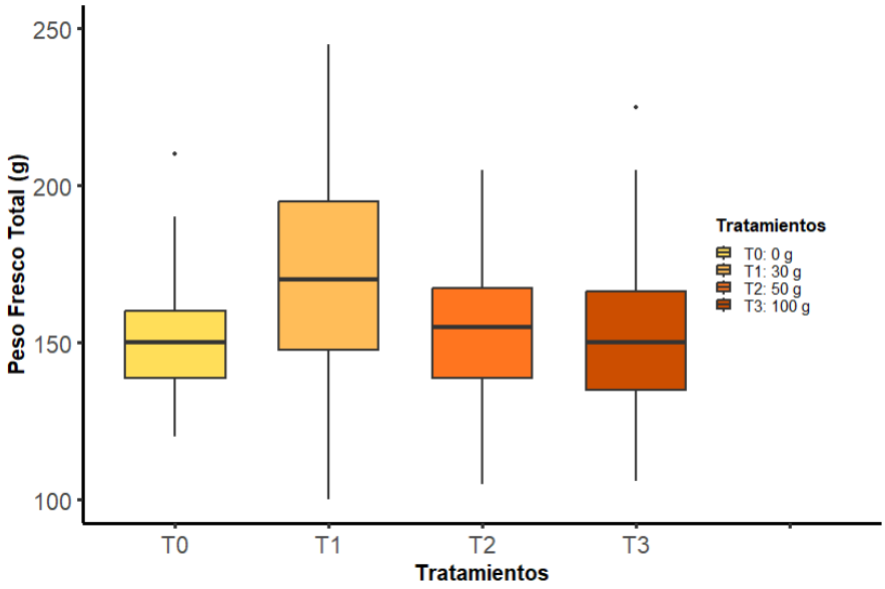
research. https://www.semanticscholar.org/paper/Effect-of-foliar-application-of-micronutrients-on-Yadegari/082f316a7273187fea680caed1862d2d212e745e

Yadegari, M. (2017). Effects of Zn, Fe, Mn and Cu Foliar Application on Essential Oils and Morpho-Physiological Traits of Lemon Balm (Melissa Officinalis). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, *20*(2), 485-495. https://doi.org/10.1080/0972060X.2017.1325010

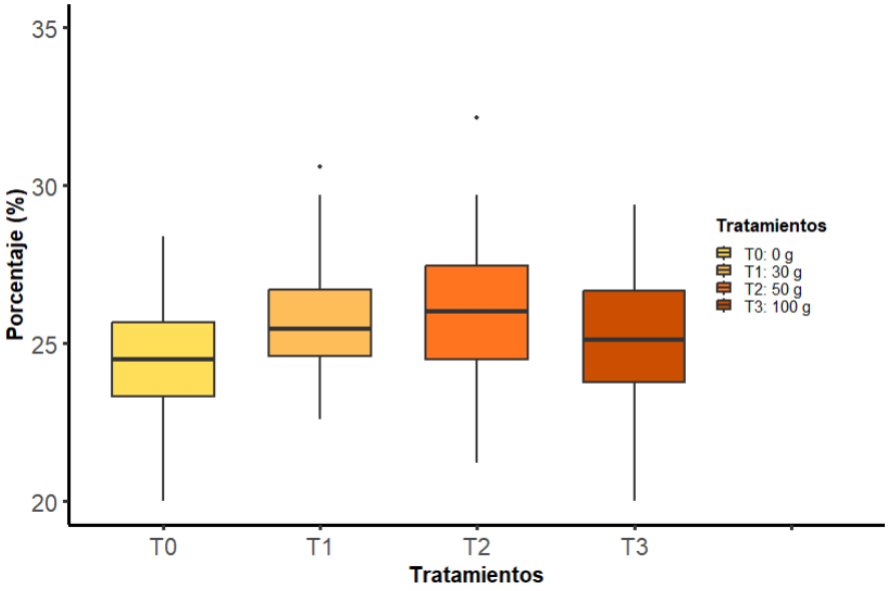
Yeritsyan, N., & Economakis, C. (2002). EFFECT OF NUTRIENT SOLUTION'S IRON CONCENTRATION ON GROWTH AND ESSENTIAL OIL CONTENT OF OREGANO PLANTS GROWN IN SOLUTION CULTURE. *Acta Horticulturae*, (576), 277-283. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.576.41

ANEXOS

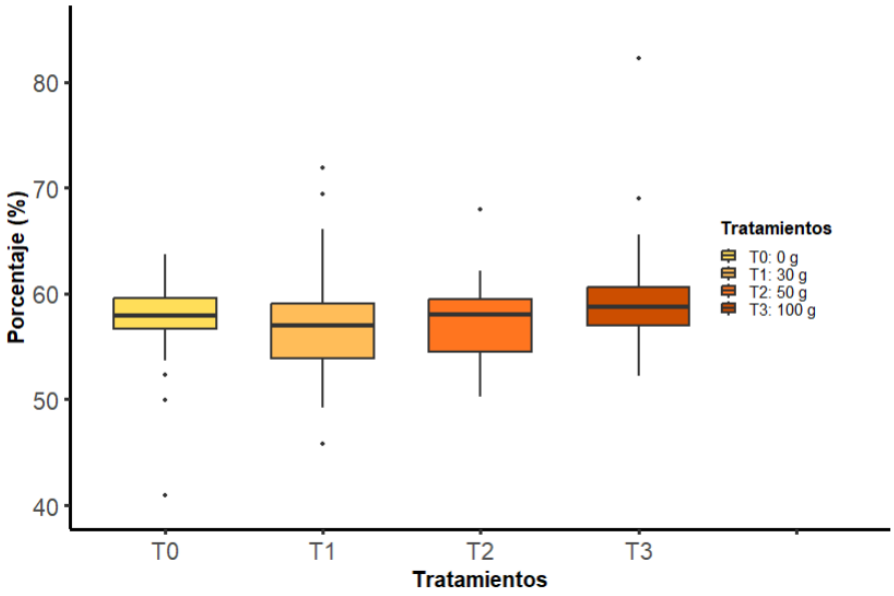
Anexo 1. *Diagrama de cajas de Peso Fresco Total con tres niveles de aplicación de Nano-Fertilizantes*



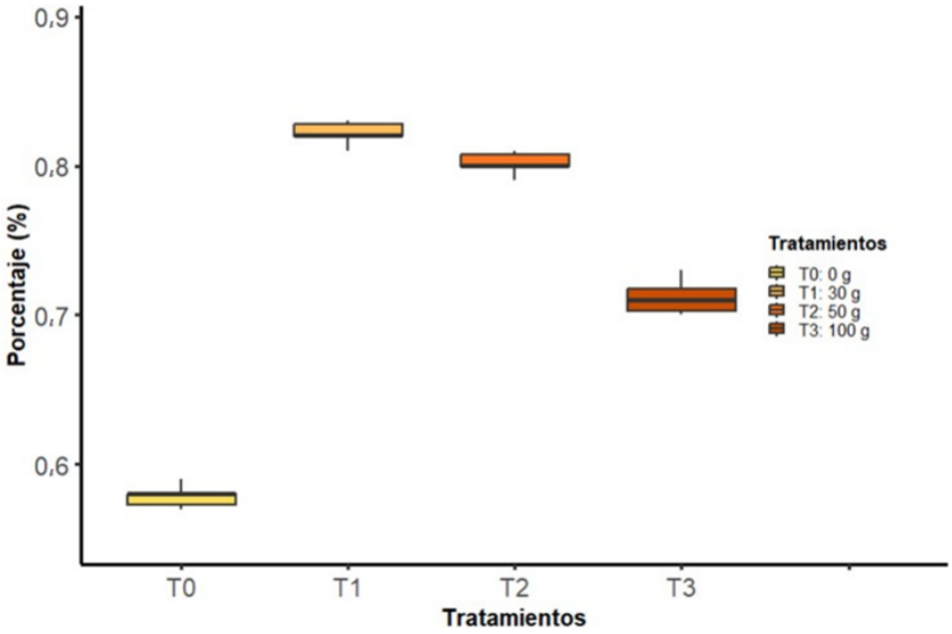
Anexo 2. *Diagrama de cajas de Porcentaje de Peso Seco Total con tres niveles de aplicación de Nano-Fertilizantes*



***Anexo 3**. Diagrama de cajas de Porcentaje comercial seco con tres niveles de aplicación de Nano-Fertilizantes*



***Anexo 4**. Diagrama de cajas de Porcentaje de Aceite con tres niveles de aplicación de Nano-Fertilizantes*



Anexo 5. *Base de datos de la investigación*

Peso Fresco Total		Porcentaje de Peso Seco Total			Porcentaje Comercial Seco		
	(g)		(g)	(%)		(g)	(%)
T0	175,00	T0	44,00	25,14	T0	26,43	60,07
T0	155,00	T0	42,00	27,10	T0	26,77	63,74
T0	145,00	T0	34,00	23,45	T0	21,12	62,12
T0	145,00	T0	33,00	22,76	T0	19,04	57,70
T0	125,00	T0	31,00	24,80	T0	18,37	59,26
T0	125,00	T0	27,00	21,60	T0	16,69	61,81
T0	120,00	T0	30,00	25,00	T0	16,70	55,67
T0	130,00	T0	31,00	23,85	T0	19,00	61,29
T0	140,00	T0	37,00	26,43	T0	21,50	58,11
T0	135,00	T0	35,00	25,93	T0	20,51	58,60
T0	175,00	T0	49,00	28,00	T0	27,12	55,35
T0	180,00	T0	49,00	27,22	T0	27,29	55,69
T0	180,00	T0	48,00	26,67	T0	27,47	57,23
T0	160,00	T0	38,00	23,75	T0	22,71	59,76
T0	125,00	T0	29,00	23,20	T0	16,77	57,83
T0	145,00	T0	39,00	26,90	T0	21,58	55,33
T0	155,00	T0	38,00	24,52	T0	22,38	58,89
T0	135,00	T0	33,00	24,44	T0	20,45	61,97
T0	175,00	T0	42,00	24,00	T0	25,47	60,64
T0	130,00	T0	35,00	26,92	T0	20,00	57,14
T0	155,00	T0	44,00	28,39	T0	25,41	57,75
T0	140,00	T0	34,00	24,29	T0	20,20	59,41
T0	130,00	T0	31,00	23,85	T0	17,03	54,94
T0	160,00	T0	40,00	25,00	T0	22,95	57,38
T0	160,00	T0	41,00	25,63	T0	21,45	52,32
T0	120,00	T0	28,00	23,33	T0	15,36	54,86
T0	150,00	T0	36,00	24,00	T0	20,87	57,97

Peso Fresco Total		Porcentaje de Peso Seco Total			Porcentaje Comercial Seco		
	(g)		(g)	(%)		(g)	(%)
T0	145,00	T0	32,00	22,07	T0	18,41	57,53
T0	150,00	T0	37,00	24,67	T0	21,48	58,05
T0	140,00	T0	31,00	22,14	T0	19,53	63,00
T0	190,00	T0	41,00	21,58	T0	23,39	57,05
T0	160,00	T0	39,00	24,38	T0	23,43	60,08
T0	210,00	T0	54,00	25,71	T0	22,11	40,94
T0	160,00	T0	36,00	22,50	T0	17,97	49,92
T0	155,00	T0	36,00	23,23	T0	20,92	58,11
T0	155,00	T0	31,00	20,00	T0	17,73	57,19
T0	170,00	T0	37,00	21,76	T0	21,51	58,14
T0	155,00	T0	38,00	24,52	T0	20,40	53,68
T0	145,00	T0	36,00	24,83	T0	20,61	57,25
T0	150,00	T0	38,00	25,33	T0	22,62	59,53
T1	155,00	T1	40,00	25,81	T1	23,51	58,78
T1	190,00	T1	48,00	25,26	T1	30,04	62,58
T1	205,00	T1	48,00	23,41	T1	28,34	59,04
T1	195,00	T1	51,00	26,15	T1	29,31	57,47
T1	230,00	T1	61,00	26,52	T1	30,03	49,23
T1	140,00	T1	35,00	25,00	T1	23,14	66,11
T1	195,00	T1	50,00	25,64	T1	31,43	62,86
T1	220,00	T1	59,00	26,82	T1	36,21	61,37
T1	170,00	T1	52,00	30,59	T1	30,74	59,12
T1	195,00	T1	55,00	28,21	T1	33,20	60,36
T1	240,00	T1	59,00	24,58	T1	31,19	52,86
T1	185,00	T1	46,00	24,86	T1	26,34	57,26
T1	200,00	T1	49,00	24,50	T1	26,29	53,65
T1	245,00	T1	61,00	24,90	T1	33,64	55,15
T1	150,00	T1	38,00	25,33	T1	20,12	52,95
T1	195,00	T1	51,00	26,15	T1	27,38	53,69
T1	195,00	T1	52,00	26,67	T1	36,10	69,42

Peso Fresco Total		Porcentaje de Peso Seco Total			Porcentaje Comercial Seco		
	(g)		(g)	(%)		(g)	(%)
T1	140,00	T1	38,00	27,14	T1	27,32	71,89
T1	100,00	T1	27,00	27,00	T1	15,20	56,30
T1	140,00	T1	35,00	25,00	T1	19,16	54,74
T1	170,00	T1	41,00	24,12	T1	24,76	60,39
T1	160,00	T1	43,00	26,88	T1	24,35	56,63
T1	155,00	T1	39,00	25,16	T1	21,95	56,28
T1	195,00	T1	48,00	24,62	T1	26,21	54,60
T1	130,00	T1	35,00	26,92	T1	20,09	57,40
T1	165,00	T1	49,00	29,70	T1	22,46	45,84
T1	165,00	T1	38,00	23,03	T1	21,37	56,24
T1	179,00	T1	41,00	22,91	T1	21,20	51,71
T1	140,00	T1	38,00	27,14	T1	20,46	53,84
T1	125,00	T1	32,00	25,60	T1	19,52	61,00
T1	140,00	T1	33,00	23,57	T1	17,38	52,67
T1	150,00	T1	34,00	22,67	T1	19,83	58,32
T1	190,00	T1	47,00	24,74	T1	27,22	57,91
T1	155,00	T1	35,00	22,58	T1	18,59	53,11
T1	160,00	T1	42,00	26,25	T1	23,33	55,55
T1	170,00	T1	43,00	25,29	T1	24,67	57,37
T1	115,00	T1	31,00	26,96	T1	18,14	58,52
T1	195,00	T1	50,00	25,64	T1	29,39	58,78
T1	180,00	T1	47,00	26,11	T1	25,32	53,87
T1	110,00	T1	26,00	23,64	T1	14,09	54,19
T2	155,00	T2	39,00	25,16	T2	20,12	51,59
T2	155,00	T2	40,00	25,81	T2	20,11	50,28
T2	160,00	T2	43,00	26,88	T2	29,21	67,93
T2	140,00	T2	39,00	27,86	T2	19,92	51,08
T2	160,00	T2	37,00	23,13	T2	20,31	54,89
T2	105,00	T2	27,00	25,71	T2	15,67	58,04
T2	155,00	T2	38,00	24,52	T2	19,98	52,58

Peso Fresco Total		Porcentaje de Peso Seco Total			Porcentaje Comercial Seco		
	(g)		(g)	(%)		(g)	(%)
T2	205,00	T2	54,00	26,34	T2	32,09	59,43
T2	125,00	T2	32,00	25,60	T2	19,87	62,09
T2	150,00	T2	41,00	27,33	T2	22,37	54,56
T2	140,00	T2	45,00	32,14	T2	24,02	53,38
T2	150,00	T2	42,00	28,00	T2	23,54	56,05
T2	175,00	T2	48,00	27,43	T2	28,23	58,81
T2	165,00	T2	46,00	27,88	T2	24,39	53,02
T2	120,00	T2	30,00	25,00	T2	18,65	62,17
T2	165,00	T2	35,00	21,21	T2	18,06	51,60
T2	135,00	T2	32,00	23,70	T2	18,09	56,53
T2	175,00	T2	40,00	22,86	T2	22,11	55,28
T2	160,00	T2	37,00	23,13	T2	21,58	58,32
T2	145,00	T2	37,00	25,52	T2	21,79	58,89
T2	140,00	T2	33,00	23,57	T2	19,25	58,33
T2	175,00	T2	52,00	29,71	T2	32,27	62,06
T2	135,00	T2	35,00	25,93	T2	18,98	54,23
T2	105,00	T2	28,00	26,67	T2	15,31	54,68
T2	150,00	T2	41,00	27,33	T2	22,54	54,98
T2	185,00	T2	54,00	29,19	T2	32,23	59,69
T2	130,00	T2	36,00	27,69	T2	21,07	58,53
T2	165,00	T2	43,00	26,06	T2	24,26	56,42
T2	175,00	T2	40,00	22,86	T2	23,83	59,58
T2	145,00	T2	36,00	24,83	T2	19,25	53,47
T2	165,00	T2	45,00	27,27	T2	27,33	60,73
T2	165,00	T2	45,00	27,27	T2	26,70	59,33
T2	175,00	T2	45,00	25,71	T2	26,13	58,07
T2	150,00	T2	35,00	23,33	T2	21,21	60,60
T2	195,00	T2	56,00	28,72	T2	33,47	59,77
T2	135,00	T2	32,00	23,70	T2	17,19	53,72
T2	180,00	T2	51,00	28,33	T2	29,79	58,41

Peso Fresco Total		Porcentaje de Peso Seco Total			Porcentaje Comercial Seco		
	(g)		(g)	(%)		(g)	(%)
T2	195,00	T2	51,00	26,15	T2	30,29	59,39
T2	120,00	T2	33,00	27,50	T2	20,17	61,12
T2	135,00	T2	33,00	24,44	T2	18,35	55,61
T3	140,00	T3	35,00	25,00	T3	20,17	57,63
T3	130,00	T3	35,00	26,92	T3	21,29	60,83
T3	140,00	T3	40,00	28,57	T3	23,00	57,50
T3	170,00	T3	39,00	22,94	T3	21,49	55,10
T3	130,00	T3	36,00	27,69	T3	20,03	55,64
T3	160,00	T3	39,00	24,38	T3	22,93	58,79
T3	160,00	T3	36,00	22,50	T3	19,00	52,78
T3	145,00	T3	34,00	23,45	T3	19,95	58,68
T3	180,00	T3	43,00	23,89	T3	23,92	55,63
T3	160,00	T3	38,00	23,75	T3	22,48	59,16
T3	205,00	T3	52,00	25,37	T3	29,73	57,17
T3	170,00	T3	43,00	25,29	T3	22,45	52,21
T3	175,00	T3	43,00	24,57	T3	25,47	59,23
T3	225,00	T3	52,00	23,11	T3	28,90	55,58
T3	150,00	T3	32,00	21,33	T3	18,63	58,22
T3	150,00	T3	31,00	20,67	T3	17,44	56,26
T3	160,00	T3	38,00	23,75	T3	21,43	56,39
T3	135,00	T3	33,00	24,44	T3	19,80	60,00
T3	115,00	T3	29,00	25,22	T3	17,05	58,79
T3	110,00	T3	22,00	20,00	T3	18,09	82,23
T3	190,00	T3	48,00	25,26	T3	25,76	53,67
T3	135,00	T3	33,00	24,44	T3	20,21	61,24
T3	170,00	T3	41,00	24,12	T3	23,95	58,41
T3	140,00	T3	34,00	24,29	T3	19,11	56,21
T3	145,00	T3	37,00	25,52	T3	21,47	58,03
T3	106,00	T3	28,00	26,42	T3	16,92	60,43
T3	120,00	T3	32,00	26,67	T3	21,00	65,63

Peso Fresco Total		Porcentaje de Peso Seco Total			Porcentaje Comercial Seco		
	(g)		(g)	(%)		(g)	(%)
T3	170,00	T3	41,00	24,12	T3	24,53	59,83
T3	185,00	T3	43,00	23,24	T3	26,03	60,53
T3	160,00	T3	47,00	29,38	T3	27,36	58,21
T3	165,00	T3	46,00	27,88	T3	28,29	61,50
T3	150,00	T3	39,00	26,00	T3	23,23	59,56
T3	155,00	T3	41,00	26,45	T3	25,00	60,98
T3	120,00	T3	34,00	28,33	T3	20,72	60,94
T3	135,00	T3	38,00	28,15	T3	23,63	62,18
T3	160,00	T3	36,00	22,50	T3	21,30	59,17
T3	140,00	T3	39,00	27,86	T3	23,14	59,33
T3	130,00	T3	36,00	27,69	T3	24,83	68,97
T3	150,00	T3	40,00	26,67	T3	23,25	58,13
T3	145,00	T3	37,00	25,52	T3	22,78	61,57

Porcentaje de Aceite	
	(%)
T0	0,57
T0	0,57
T0	0,58
T0	0,59
T0	0,58
T0	0,58
T1	0,81
T1	0,82
T1	0,82
T1	0,83
T1	0,83
T1	0,82
T2	0,79
T2	0,80
T2	0,80
T2	0,81
T2	0,81
T2	0,80
T3	0,70
T3	0,70
T3	0,71
T3	0,72
T3	0,73
T3	0,71

Anexo 6. *Preparación de camellones*



Se muestra el resultado de la formación de los camellones previamente elaborados con un tractor agrícola.

Anexo 7. *Incorporación de materia orgánica pre compostada*



Aplicación de materia orgánica previamente compostada sobre los camellones antes del plantado.

Anexo 8. *Tapado y perfilado de camellones*



Cierre y perfilado final de los camellones, dejándolos uniformes y consistentes

Anexo 9. *Raspado de afloramiento de sales y rectificado de camellones*



Limpieza superficial de sales visibles y corrección de la forma de los camellones.

Anexo 10. *Preparación de esquejes y uso de enraizador*



Selección de esquejes y aplicación de un enraizante antes del plantado.

Anexo 11. *Plantado de esquejes*



Plantación manual de los esquejes en los camellones previamente preparados.

Anexo 12. *Seguimiento del desarrollo y crecimiento del cultivo a los 21 días del plantado*




Monitoreo de las plantas después de 21 días para observar el progreso inicial y el enraizamiento.

Anexo 13. *Replantado*




Reemplazo de plantas que no prendieron mediante la colocación de nuevos esquejes.

Anexo 14. *Preparación y aplicación del Nano fertilizante "FlorControl"*





Aplicación foliar del nano fertilizante sobre las plantas para mejorar su desarrollo.

Anexo 15. *Seguimiento del crecimiento a los 90 días*



Observación del estado y tamaño de las plantas después de 90 días de cultivo.

Anexo 16. *Cosecha a los 120 días del plantado*



Corte y recolección del material vegetal al cumplirse 120 días del plantado.

Anexo 17. *Evaluación de peso fresco total*



Pesaje del rendimiento fresco obtenido luego de la cosecha.

Anexo 18. *Colgado de muestras para la evaluación de porcentaje de peso seco total*



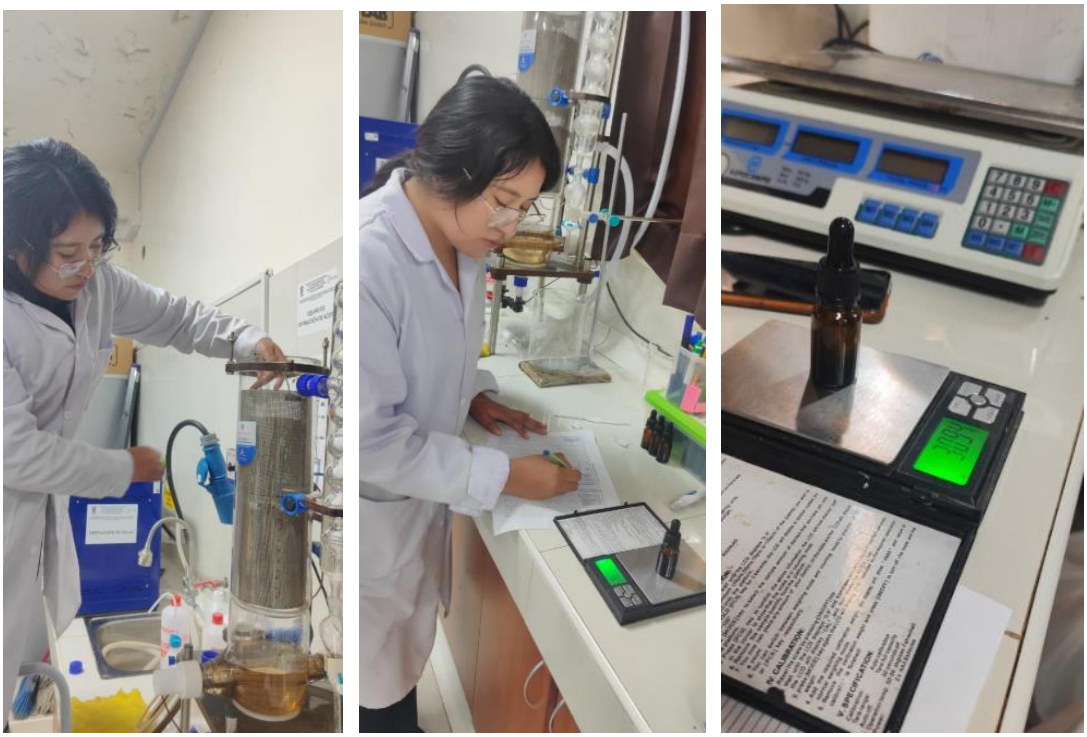
Proceso de secado mediante colgado de las muestras para determinar peso seco.

Anexo 19. *Tendido de muestras para secado y posterior extracción de aceite*



Disposición de las muestras secas y preparación para la extracción del aceite esencial.

Anexo 20. *Extracción de aceite esencial*



Proceso de destilación o extracción para obtener el aceite esencial del material vegetal.