

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

EFECTO DE TRES DOSIS FÉRRICAS EN EL PORCENTAJE DE
ACEITES ESENCIALES DE *Origanum* spp. MORFOTIPO
CHINITO EN LA YARADA LOS PALOS, TACNA-2024

TESIS

PRESENTADA POR:

GABRIELA MARIANA HERRERA VELARDE

Para optar el Título Profesional de:
INGENIERO AGRÓNOMO

TACNA – PERÚ

2026

UNIVERSIDAD NACIONAL JORGE BASADRE GROHMANN

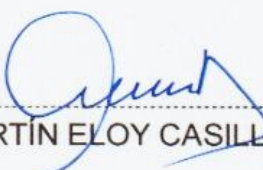
Facultad de Ciencias Agropecuarias

Escuela Profesional de Agronomía

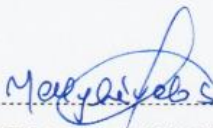
**EFFECTO DE TRES DOSIS FÉRRICAS EN EL PORCENTAJE DE ACEITES
ESENCIALES DE *Origanum* spp. MORFOTIPO CHINITO EN LA YARADA LOS
PALOS, TACNA-2024**

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 23 DE DICIEMBRE DEL 2025, POR
EL JURADO CALIFICADOR INTEGRADO POR:

PRESIDENTE:


DR. MARTÍN ELOY CASILLA GARCÍA

SECRETARIO:


DRA. NELLY ARÉVALO SOLSOL

VOCAL:


DR. OSCAR OCTAVIO FERNANDEZ CUTIRE

CERTIFICADO DE SIMILITUD

Ítem	Detalle
Documento evaluado	Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo
Título del trabajo	EFFECTO DE TRES DOSIS FÉRRICAS EN EL PORCENTAJE DE ACEITES ESENCIALES DE <i>Origanum</i> spp. MORFOTIPO CHINITO EN LA YARADA LOS PALOS, TACNA-2024
Autor	Gabriela Mariana Herrera Velarde
Docente Asesor	Dr. Oscar Octavio Fernández Cutire
Resolución de acreditación del Asesor	Resolución de Facultad N°8744-2024-FCAG
Software utilizado	Turnitin
Configuración del software detector de similitud	• Exclusión de bibliografía
	• Excluir citas textuales (entrecorillado)
	• Exclusión de cadenas sintácticas (15 palabras)
Porcentaje de similitud, según informe del software utilizado	6%
Observaciones	Sin observaciones
Calificación de originalidad	Similitud baja, cumple criterios de originalidad permitidos
Fecha de emisión del certificado	20 de febrero del 2026

ASESOR:


Dr. OSCAR OCTAVIO FERNÁNDEZ CUTIRE
DNI: 00472839

AUTOR:


GABRIELA MARIANA HERRERA VELARDE
DNI: 72212385

DEDICATORIA

A mi familia, por ser mi principal soporte en este camino académico.

A mi madre, Carmen Rosa, por su constancia, comprensión y apoyo incondicional en cada etapa de mi formación. A mis hermanas, Ana Paula y Flavia, por acompañarme, animarme y estar presentes tanto en lo académico como en lo personal.

A mi papá, cuyo respaldo y confianza también han contribuido a que hoy alcance esta meta.

A todos ellos, gracias por creer en mí y por acompañarme mientras construyo mi futuro profesional.

AGRADECIMIENTO

A toda mi familia por siempre estar alentándome en todo mi desarrollo y crecimiento profesional.

A todo el equipo del Laboratorio de Fisiología Vegetal por su acompañamiento y apoyo durante el desarrollo de esta investigación.

Al Dr. Óscar Fernández, por su orientación científica y constante disposición para compartir sus conocimientos.

De igual manera, se expresa el agradecimiento a la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann por el financiamiento y por haber brindado las condiciones necesarias para la ejecución del presente trabajo de investigación, contribuyendo al fortalecimiento de la formación profesional. Asimismo, se reconoce el apoyo otorgado a través del proyecto de investigación “Caracterización del orégano a través de descriptores morfológicos y de marcadores moleculares en la región Tacna”, aprobado mediante la Resolución del Consejo Universitario N.º 22672-2025-UN/JBG, que permitió el uso del equipo extractor de aceites esenciales.

Finalmente agradezco al Ing. José Luis Espinoza responsable de la empresa Procampo en Tacna, por haberme brindado el producto utilizado y así también poder realizar este trabajo.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	1
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
EL PROBLEMA.....	2
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Formulación del Problema.....	3
1.2.1 Problema General.....	3
1.2.2 Problema Específico.....	3
1.3 Justificación.....	3
CAPÍTULO II.....	5
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	5
2.1 Objetivos.....	5
2.1.1 Objetivo General.....	5
2.1.2 Objetivo Específico.....	5
2.2 Hipótesis.....	5
2.2.1 Hipótesis General.....	5
2.2.2 Hipótesis específica.....	6
2.2.3 Variables.....	6
2.2.3.1 Variable Independiente:.....	6
2.2.3.2 Variable Dependiente.....	6

CAPÍTULO III.....	7
MARCO REFERENCIAL	7
3.1 Marco Teórico	7
3.1.1 Taxonomía y clasificación científica de <i>Origanum vulgare</i> L.....	7
3.1.2 Morfología botánica de <i>Origanum sp.</i>.....	7
3.1.2.1 Sistema radicular	7
3.1.2.2 Tallo.....	8
3.1.2.3 Hojas	8
3.1.2.4 Inflorescencia	9
3.1.2.5 Cáliz.....	9
3.1.2.6 Corola.....	9
3.1.2.7 Estambres y ovario	10
3.1.3 Ciclo fenológico de <i>Origanum spp.</i>.....	10
3.1.3.1 Fase de brotación:	10
3.1.3.2 Fase de crecimiento vegetativo:	10
3.1.3.3 Inducción y formación de botones florales:	10
3.1.3.4 Fase de floración:.....	10
3.1.3.5 Fase de maduración fisiológica:	11
3.1.4 Manejo Poscosecha y secado de material vegetal.....	11
3.1.4.1 Secado	11
3.1.5 Condiciones edafoclimáticas	11
3.1.5.1 Clima	11
3.1.5.2 Temperatura	12
3.1.5.3 Suelo	12

3.1.5.4	Materia orgánica.....	12
3.1.5.5	Fertilización	13
3.1.5.6	Micronutrientes	13
3.1.5.7	Macronutrientes	13
3.1.5.8	Riego	13
3.1.6	Metabolismo secundario en plantas aromáticas de la familia <i>Lamiaceae</i>	14
3.1.6.1	Compuestos nitrogenados	14
3.1.6.2	Compuestos fenólicos	15
3.1.6.3	Compuestos terpenoides	16
3.1.7	Aceites esenciales: naturaleza, biosíntesis y función biológica.....	17
3.1.7.1	Definición química y características fisicoquímicas.....	17
3.1.7.2	Función ecológica y adaptativa de los aceites esenciales en plantas.....	18
3.1.7.3	Factores que influyen en el contenido del aceite esencial..	18
3.1.7.3.1	Factores genéticos	19
3.1.7.3.2	Factores ambientales	19
3.1.7.3.3	Factores nutricionales y fisiológicos.....	19
3.1.8	Aceite esencial de <i>Origanum spp.</i>	23
3.1.8.1	Composición química predominante (carvacrol, timol, γ - terpineno p-cimeno, entre otros).....	23
3.1.9	Extracción de aceites esenciales.....	23
3.1.9.1	Extracción por arrastre de vapor	23
3.2	Antecedentes de aplicación de hierro en cultivos productores de aceites esenciales	24

CAPÍTULO IV	26
MATERIALES Y MÉTODOS	26
4.1 Tipo de Investigación	26
4.2 Nivel de la Investigación	26
4.3 Ubicación del Laboratorio	26
4.3.1 Ubicación Geográfica	26
4.4 Ubicación del Campo Experimental	27
4.4.1 Ubicación Geográfica	27
4.5 Materiales	31
4.5.1 Material Biológico	31
4.5.2 Material experimental.....	31
4.6 Tratamientos de estudio	33
4.7 Diseño experimental	34
4.8 Metodología.....	34
4.8.1 Ejecución en Campo Experimental.....	34
4.8.1.1 Variable	34
4.8.1.2 Preparación campo experimental	35
4.8.1.3 Desalinización de suelo (lavado)	35
4.8.1.4 Plantado	36
4.8.1.5 Fertilización	36
4.8.1.6 Control de plagas	36
4.8.1.7 Riego	37
4.8.1.8 Cosecha - Corte.....	38
4.8.1.9 Secado	38
4.8.2 Ejecución en Laboratorio	38

4.8.2.1	Extracción de aceite esencial	39
4.8.2.1.1	Instalación del extractor de aceites esenciales escala laboratorio de la marca FIGMAY	39
4.8.2.1.2	Encendido del extractor de aceites esenciales escala laboratorio de la marca FIGMAY	40
4.8.2.1.3	Proceso de obtención de aceite con el extractor de aceites esenciales escala laboratorio de la marca FIGMAY	40
4.8.2.1.4	Apagado del extractor de aceites esenciales escala laboratorio de la marca FIGMAY	41
4.8.2.1.5	Recolección del aceite esencial extraído.....	41
4.8.2.1.6	Rendimiento del aceite esencial	41
4.9	Variables Respuesta.....	42
4.9.1	Producción de material seco	42
4.9.2	Porcentaje de Aceite esencial	42
4.10	Análisis de datos.....	43
RESULTADOS Y DISCUSIÓN		44
5.1	Resultados	44
5.1.1	Porcentaje de materia seca según tratamiento (%).....	44
5.1.2	Porcentaje de aceite esencial según tratamiento (%)	48
CONCLUSIONES		52
RECOMENDACIONES.....		53
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		55

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Resultados del análisis de la muestra de suelo.....	28
Tabla 2. Resultados del análisis de muestra de agua	30
Tabla 3. Composición química y características de OPTIMUS-Fe.....	32
Tabla 4. Propiedades físicas y químicas de OPTIMUS-Fe.....	33
Tabla 5. Análisis de varianza de peso de material seco en el de orégano, Tacna 2024.....	44
Tabla 6. Prueba de significación Tukey de porcentaje de materia seca.....	45
Tabla 7. Análisis de varianza de porcentaje de aceite esencial (%) en el cultivo de orégano, Tacna 2024.....	48
Tabla 8. Prueba de significación Tukey del porcentaje de aceite esencial...	49

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de unidades experimentales de acuerdo a tratamientos	35
Figura 2. Porcentaje de materia seca de orégano según tratamiento.....	45
Figura 3. Porcentaje de materia seca de orégano según tratamiento y prueba de significancia de Tukey.....	46
Figura 4. Porcentaje de aceite esencial de orégano según tratamiento.....	51
Figura 5. Porcentaje de aceite esencial de orégano según tratamiento y prueba de significancia de Tukey.	51

RESUMEN

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de tres dosis férricas en el porcentaje de aceite esencial de *Origanum* spp. morfotipo “chinito”, cultivado en La Yarada Los Palos, Tacna. El experimento se desarrolló bajo un Diseño de Bloques Completamente al Azar, con cuatro tratamientos: T0 (0 kg/ha), T1 (3 kg/ha), T2 (6,5 kg/ha) y T3 (10 kg/ha de hierro). Se evaluaron el porcentaje de materia seca y el porcentaje de aceite esencial, obtenido mediante un extractor FIGMAY. Los datos fueron analizados mediante ANVA y la prueba de Tukey. Los resultados evidenciaron que la aplicación de hierro genera variaciones en el porcentaje de aceite esencial, destacando el Tratamiento N.º 1 (3 kg/ha), lo que demuestra que las dosis férricas influyen diferencialmente en la producción de aceite esencial y permiten optimizar el manejo nutricional del cultivo de orégano en la región Tacna.

Palabras clave: *Origanum* spp., hierro, aceite esencial, orégano, nutrición vegetal.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effect of three iron doses on the essential oil percentage of *Origanum* spp. “Chinito” morphotype cultivated in La Yarada Los Palos, Tacna. The experiment was conducted under a Completely Randomized Block Design with four treatments: T0 (0 kg/ha), T1 (3 kg/ha), T2 (6,5 kg/ha), and T3 (10 kg/ha of iron). The evaluated variables were dry matter percentage and essential oil percentage, obtained using a FIGMAY essential oil extractor. Data were analyzed through analysis of variance and Tukey’s test. The results showed that iron application caused variations in essential oil content compared to the control, highlighting Treatment No. 1 (3 kg/ha). These findings indicate that iron doses differentially influence essential oil production and contribute to improving nutritional management strategies for oregano cultivation in Tacna.

Keywords: *Origanum* spp., iron, essential oil, oregano, plant nutrition.

INTRODUCCIÓN

El orégano (*Origanum* spp.) es una de las especies aromáticas de mayor importancia económica en la región Tacna, destacando el morfotipo “Chinito”, ampliamente cultivado en el distrito de La Yarada Los Palos por su adaptación a condiciones áridas. El manejo nutricional del cultivo es un factor determinante para optimizar el rendimiento y la calidad del aceite esencial, principal componente de su valor comercial.

El hierro (Fe) cumple funciones esenciales en el metabolismo vegetal, al participar en procesos como la fotosíntesis, la respiración y la síntesis de metabolitos secundarios. En plantas aromáticas, una adecuada disponibilidad de hierro puede influir en el desarrollo de tricomas glandulares y, en consecuencia, en la producción de aceites esenciales. Sin embargo, en suelos arenosos con bajo contenido de materia orgánica, característicos de La Yarada Los Palos, la disponibilidad de este micronutriente suele ser limitada, lo que hace necesario evaluar su aporte mediante fertilización.

Pese a la importancia del cultivo en la zona, existe escasa información experimental sobre el efecto del hierro en la producción de aceite esencial de orégano bajo condiciones locales. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar el efecto de tres dosis de hierro sobre el porcentaje de aceite esencial en *Origanum* spp. morfotipo “Chinito”, con la finalidad de generar información que contribuya a un manejo nutricional eficiente del cultivo en zonas áridas de Tacna.

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del Problema

El impacto de los microelementos juega un rol muy importante dentro de las plantas, se requieren en cantidades pequeñas a comparación de los macronutrientes, pero estos son esenciales e insustituibles.

El hierro es uno de los micronutrientes fundamentales para el crecimiento y pleno desarrollo de plantas, siendo crucial para diferentes procesos: como fotosíntesis, síntesis de clorofila, asimilación de azufre y nitrógeno y desempeño de diferentes enzimas (Przybyla-Toscano et al., 2021).

Su disposición tiende a afectar la producción y calidad de los cultivos como también de sus productos derivados, en este caso los aceites esenciales de *Origanum* spp. (Briat et al., 2015).

No obstante, el hierro se encuentra de forma deficiente debido a que está presente en los suelos de forma óxido/hidróxido muy poco soluble, principalmente con pH de neutros a alcalinos (Colombo et al., 2018).

La falta de información acerca de cómo este elemento afecta directamente a los derivados (aceites esenciales) de las plantas motiva a proponer un estudio como las aplicaciones de hierro influyen en el porcentaje de aceite esencial de *Origanum* spp. tacneño.

1.2 Formulación del Problema

1.2.1 Problema General

¿Las aplicaciones del fertilizante foliar férrico (EDDHA-FE) influyen en el porcentaje de aceite esencial de *Origanum* spp.?

1.2.2 Problema Específico

¿Qué dosis es la más recomendable para un mayor porcentaje de aceite esencial de *Origanum* spp.?

1.3 Justificación

El orégano es una de las plantas más conocidas por su valorada aromaticidad, en donde destaca fundamentalmente su contenido de aceites; estos contienen propiedades antioxidantes, antimicrobianas y antiinflamatorias. La región Tacna encabeza la producción de este cultivo a nivel nacional, por lo tanto, es de significancia económica y agroindustrial.

No obstante, la producción y calidad de los aceites esenciales del orégano pueden llegar a ser afectados por la nutrición mineral. El hierro, un micronutriente que participa en diferentes procesos vitales de la planta, por eso la deficiencia de este perjudica la eficiencia fotosintética, provocando clorosis, esto impacta de forma negativa en la producción y calidad del aceite.

Esta investigación fue pertinente debido que no solo permitió una comprensión más sencilla del requerimiento nutricional de *Origanum* spp. para los agricultores, también se logró aportar a la mejora de la cantidad de aceites esenciales a producir, trayendo mejoras en el manejo agronómico del cultivo

de orégano en condiciones del sector de la Yarada los Palos, así como también para la región Tacna.

CAPÍTULO II

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1 Objetivos

2.1.1 Objetivo General

Evaluar el porcentaje de aceites esenciales de *Origanum* spp. bajo influencia de 3 dosis de fertilizante férrico (EDDHA-FE).

2.1.2 Objetivo Específico

Determinar que dosis es la más recomendable para un mayor porcentaje de aceites esenciales de *Origanum* spp.

2.2 Hipótesis

2.2.1 Hipótesis General

Las aplicaciones de diferentes dosis férricas influyen con significancia el porcentaje de aceites esenciales de *Origanum* spp. cultivado en la ciudad de Tacna.

2.2.2 Hipótesis específica

La óptima dosis férrica, dentro de las cuatro evaluadas más el testigo, aumenta de forma significativa el porcentaje de aceite esencial de *Origanum* spp. a comparación de las otras dosis.

2.2.3 Variables

2.2.3.1 Variable Independiente:

Dosis férricas

2.2.3.2 Variable Dependiente

Porcentaje de aceite esencial (%)

CAPÍTULO III

MARCO REFERENCIAL

3.1 Marco Teórico

3.1.1 Taxonomía y clasificación científica de *Origanum vulgare* L.

Reino: Plantae

División: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Lamiales

Familia: Lamiaceae

Género: *Origanum*

Especie: *Origanum vulgare* L.

Nombre común: Orégano chinito

3.1.2 Morfología botánica de *Origanum sp.*

3.1.2.1 Sistema radicular

Las partes subterráneas de todas las especies de *Origanum* spp. son entre más o menos leñosas. Varias especies del mediterráneo cuentan con raíces muy leñosas (Ietswaart, 1980).

3.1.2.2 Tallo

Se presentan de forma erecta o ascendente, formando corredores largos superficiales. Los segmentos erectos o no leñosos suelen medir 1-2 mm de diámetro o presentan hasta 5 mm de diámetro. La planta presenta varios tallos (hasta decenas). La longitud de tallo en algunas especies se presenta de 10-30 cm y en la gran parte de las especies es de 30-60 cm de longitud. En corte transversal los tallos pueden ser redondos o levemente cuadrados. La longitud media de los entrenudos es de 2,5 cm, pero varía de 1-4 cm (Ietswaart, 1980).

3.1.2.3 Hojas

Origanum sp. presenta hojas subsésiles en diferentes especies y en muchas otras hojas pecioladas, situadas en nudos inferiores. Las longitudes varían de 2 a 40 mm y la anchura de 2-30 mm (Ietswaart, 1980).

3.1.2.3.1 Tricomas glandulares

Los tricomas son glándulas externas que producen y almacenan compuestos volátiles que forman aceites esenciales, lo que les da a las hojas esa fragancia distintiva. Muchas especies de la familia Lamiaceae son aromáticas debido a que tienen tricomas glandulares en las superficies de hojas y tallos (Kolalite, 1998).

3.1.2.3.2 Cavidades lisígenas

Estas cavidades se reconocen como estructuras secretoras originadas por la autólisis de células glandulares internas, este proceso es asociado a la muerte programada (PCD). Durante el

mencionado proceso las paredes celulares se rompen y el contenido citoplasmático es liberado en donde después de, se forma un espacio intercelular que acumula metabolitos, siendo principalmente aceites esenciales y compuestos terpénicos. Este proceso se da en géneros como *Origanum*, *Thymus* y *Rosmarinus*, las cavidades se encuentran en su mayoría de casos en el mesófilo foliar y estructuras epidérmicas, y son el reservorio principal de compuestos como carvarol, timol y p-cinemo (Zhou et al., 2014).

3.1.2.4 Inflorescencia

Al inicio del tallo hay una púa, es decir, en base al número de ramas es que se producen inflorescencias paniculadas. Las espigas pueden medir desde 2x2 mm hasta 45x25mm. Las brácteas varían de 2-40 en el número dentro de una espiga, presentan forma redonda u obada (Ietswaart, 1980).

3.1.2.5 Cáliz

Dentro del género *Origanum* el cáliz es variable, pero presentan tan solo una característica común: el contorno de este es recto (Ietswaart, 1980).

3.1.2.6 Corola

La corola más común del género *Origanum* spp. es recta, bilabiada, con una longitud de 3 a 14 mm, con los labios en ángulo amplio con respecto al tubo (Ietswaart, 1980).

3.1.2.7 Estambres y ovario

Los estambres pueden presentar longitudes subiguales o bastante desiguales. Llegan a resaltar más allá o ligeramente de los labios de la corola. Su longitud varía desde 0,5 mm a 14 mm y suelen ser glabros. Al igual que los estambre, el estilo sobresale de la misma forma, llegando a medir 22 mm de longitud. El estigma cuenta con dos lóbulos de tamaño levemente desiguales, pero con un promedio de 0,5 mm de largo (Ietswaart, 1980).

3.1.3 Ciclo fenológico de *Origanum* spp.

3.1.3.1 Fase de brotación:

Aparición de brotes vegetativos posterior al plantado de esquejes o después del corte de una plantación antigua.

3.1.3.2 Fase de crecimiento vegetativo:

Crecimiento de las plantas, cubiertas de bastantes hojas y aparición de nuevas ramillas.

3.1.3.3 Inducción y formación de botones florales:

Aparición de botones florales iniciales.

3.1.3.4 Fase de floración:

Aparición de las flores iniciales. Aquí se determina el momento de cosecha o corte.

3.1.3.5 Fase de maduración fisiológica:

Se da después de la floración, hojas de la base amarillas y empiezan a caerse (Ministerio de Agricultura y Riego, 2011).

3.1.4 Manejo Poscosecha y secado de material vegetal

3.1.4.1 Secado

El secado de orégano debe ser muy cuidadoso, las plantas cortadas se dejan expuestas al sol para la pérdida de humedad por 5-6 horas, después el material es pasado a un lugar (galpón o tinglado) cerrado para que el deshidratado natural se complete.

3.1.5 Condiciones edafoclimáticas

3.1.5.1 Clima

Skoufogianni et al. (2019) indican que el cultivo de orégano tiene una adaptación buena de climas templados a semiáridos, las condiciones óptimas desarrollo son bajo condiciones con alta luminosidad y cuando las temporadas son cálidas esto favorece al crecimiento vegetativo como a la síntesis de aceites esenciales. También mencionan que el cultivo tolera rangos de tiempo de sequía, ya que cuentan con un sistema radical profundo, pero el someterlo a un estrés hídrico prolongado llega a reducir la biomasa aérea.

Por otro lado, Napoli et al. (2020) resaltan que *Origanum* spp. es capaz de soportar una amplia variación térmica, pero el desarrollo más eficiente de la planta se da en ambientes moderadamente secos y cálidos. Destacan que el calor aumenta la concentración existente de monoterpenos , ya sean

carvacrol y timol, mientras que condiciones climáticas muy húmedas o frías llegan a reducir la calidad del aceite esencial y la productividad.

3.1.5.2 Temperatura

Napoli et al. (2020) refieren que el rango establecido como óptimo para el crecimiento de *Origanum* spp. varía entre 18 y 27 °C, estas condiciones son favorables para el desarrollo de metabolitos secundarios, así como de hojas. Temperaturas muy elevadas cercanas a los 30°C llegarían a aumentar la proporción de carvacrol en el aceite esencial, por otro lado, temperaturas bajas podrían reducir la producción total de biomasa.

3.1.5.3 Suelo

El cultivo de orégano se desarrolla de forma adecuada en suelos de franco-arenosos a franco-arcillosos, suelos bien drenados con pH entre 6,0 y 8.0. Suelos muy pesados o con demasiada retención de humedad llegan a limitar el desarrollo óptimo, reduciendo la concentración de aceite esencial (Skoufogianni et al., 2019).

3.1.5.4 Materia orgánica

Klimiené et al. (2021), precisan que el desarrollo del orégano se da de mejor forma en suelos con buen contenido de materia orgánica, ya que llega a mejorar la porosidad y estructura del suelo, así como también favorece al crecimiento radicular, estas son condiciones necesarias para un cultivo que es sensible frente a condiciones de compactación o encharcamiento del suelo. Según Murillo-Amador et al. (2015), la MO aumenta la disponibilidad de nutrientes, así como también la retención de agua, lo que ayuda alcanzar

cultivos más uniformes, sobre todo en zonas con climas secos donde es frecuente este cultivo.

3.1.5.5 Fertilización

Origanum spp. tiene requerimientos en niveles moderados de macronutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio. El sistema radicular debe ser eficiente para permitir una absorción de nutrientes de forma balanceada, esto contribuye a un buen desarrollo de biomasa (Juárez-Rosete et al., 2019).

3.1.5.6 Micronutrientes

El Fe, Zn y Mn son participantes de rutas biosintéticas esenciales para promover la producción de aceites esenciales. El déficit de hierro reduce la formación de monoterpenos, es decir, reduce la actividad enzimática (Stefanakis et al., 2024).

3.1.5.7 Macronutrientes

El nitrógeno es el macronutriente que afecta más el rendimiento, por otro lado, el fósforo y potasio ayudan al fortalecimiento de síntesis energética, tolerancia al estrés y fortalecimiento de raíces. Para un crecimiento equilibrado y para una mayor acumulación de compuestos aromáticos los niveles de NPK deben ser los adecuados (Ninou et al., 2021).

3.1.5.8 Riego

El cultivo de orégano demanda riegos moderados, esto sin un exceso de humedad que pueda generar estrés por anoxia y reducir la concentración

de aceite esenciales. La calidad del agua con la que se hacen los riegos llega a influenciar, como lo pueden ser: los niveles moderados de sales que estimulan ciertos monoterpenos, pero que en concentraciones altas son perjudiciales (Virga et al., 2020).

3.1.6 Metabolismo secundario en plantas aromáticas de la familia *Lamiaceae*

Las plantas como organismos autótrofos, aparte del metabolismo primario que está presente en los seres vivos, tienen un metabolismo secundario que les ayuda a producir y almacenar compuestos de naturaleza química variada. Los metabolitos secundarios son compuestos derivados del metabolismo primario, estos son distribuidos en distintos grupos taxonómicos, presentando propiedades biológicas o ecológicas y son característicos por los diferentes usos que se le da, ya sea como medicamento, herbicidas, colorantes, perfumes, entre otros (Ahmed et al., 2017).

El rol característico de estos metabolitos son la defensa frente al ataque ya sea de infecciones microbianas o virales como de herbívoros, también son funcionales para la atracción de insectos polinizadores y como agentes de competencia planta a planta (Azcón & Talón, 2013).

3.1.6.1 Compuestos nitrogenados

De acuerdo con (Sajc et al., 2000) en (Pérez-Alonso & Jiménez, 2011) estos compuestos abarcan esencialmente a alcaloides y glucósidos cianogénicos. Los alcaloides cuentan con algo de 4000 estructuras ya conocidas, son de forma fisiológica activa en seres humanos e importantes en la farmacología. No obstante, conforme a (Bennett & Wallsgrove, 1994) en

(Pérez-Alonso & Jiménez, 2011) los glucósidos cianogénicos, son considerados los metabolitos secundarios más relacionados en funciones de defensa.

3.1.6.2 Compuestos fenólicos

Una característica de los tejidos vegetales es la existencia de fenoles. Los fenoles presentan estructura aromática ya sea con un o diversos grupos hidroxilo, libres o sustituidos. Su compuesto de base es el fenol, pero el compuesto que está presente en mayor parte son polifenoles, son conocidos más de 8 mil de estos, en donde se incluyen: quinonas fenólicas, ligninas, taninos, cumarinas, estilbenos, estructuras monoméricas y diméricas y flavonoides (Azcón & Talón, 2013).

3.1.6.2.1 Fenoles menores

Son los fenoles presentan menores proporciones dentro del listado químico de un aceite esencial o extracto vegetal (Martín, 2018).

3.1.6.2.2 Carvacrol y timol en *Origanum spp.*

3.1.6.2.2.1 Carvacrol

Identificado como un monoterpeno fenólico presente en el aceite esencial de orégano, es el responsable en gran medida de su aroma característico y muchas de las propiedades biológicas con las que cuenta, ya sean antimicrobianas o antioxidantes (Leyva et al., 2017).

3.1.6.2.2 Timol

Este es un compuesto fenólico volátil presente en los aceites esenciales de orégano y también en otras especies aromáticas. Su estructura química es cercana o similar al carvacrol, también comparte propiedades antimicrobianas y antioxidantes, principalmente contribuye al sabor y aroma característico del aceite esencial (Escobar et al., 2020).

3.1.6.3 Compuestos terpenoides

Son un grupo variado de compuestos secundarios vegetales, están presente en la gran parte de las plantas. Y están consistidos comúnmente por unidades de 5 isoprenos de carbono ensamblados entre sí de muchísimas formas (Perveen, 2018).

Tienden a ser insolubles en agua. Son sintetizados partiendo de metabolitos primarios a través de dos rutas: por ácido mevalónico, activa en el citosol, en donde 3 moléculas de acetil-CoA se condensan para la formación de ácido mevalónico que reacciona hasta formar isopentenil difosfato (IPP), o la ruta metileritritol fosfato (MEP) que se da en cloroplastos y produce IPP (Ávalos & Pérez-Urria, 2011).

3.1.6.3.1 Ruta metabólica MVA (vía del mevalonato)

En plantas la ruta metabólica MVA que se da en el citosol produciendo precursores de isoprenoides (IPP/DMAPP), en donde estos después ayudan a la formación de compuestos volátiles (monoterpenos, sesquiterpenos), que están presentes en los aceites esenciales (Cheng et al., 2025).

Como ejemplar, en el artículo *Advances in the Biosynthesis of Plant Terpenoids*, refiere que los terpenoides en plantas son derivados de IPP¹/DMAPP², que a su vez son producidos por la vía MVA como la vía alternativa MEP, y que también las regulaciones existentes en la ruta MVA llegan a afectar la abundancia de los terpenos volátiles(Cheng et al., 2025).

3.1.6.3.2 Ruta metabólica MEP (vía metileritritol fosfato)

La vía metileritritol –fosfato, también nombrada vía no-mevalonato, esta ruta es metabólica localizada en los plastidios de las células de las plantas en donde sintetizan precursores isoprenoides (IPP y DMAPP), todo esto a partir de piruvato y gliceraldehído -3-fosfato, los cuales son usados para la producción de monoterpenos, carotenoides, fitohormonas y otros compuestos esenciales (Phillips et al., 2008).

3.1.7 Aceites esenciales: naturaleza, biosíntesis y función biológica

3.1.7.1 Definición química y características fisicoquímicas

Los aceites esenciales son mezclas volátiles de terpenos, su biosíntesis es dependiente de las rutas MVA (citoplasmático) y MEP (plasmídica). Estos aceites son líquidos volátiles, con densidades y es soluble en varios componentes orgánicos; punto de ebullición y olor característico; son termo-sensibles (la temperatura y el

¹ Isopentenil pirofosfato, compuesto orgánico que funciona como intermediario clave en la biosíntesis de los terpenos y esteroides.

² Pirofosfato de dimetilalilo

método de extracción influyen en el rendimiento y composición) (Walasek-Janusz et al., 2024).

3.1.7.2 Función ecológica y adaptativa de los aceites esenciales en plantas

Defensa directa: sus compuestos volátiles pueden ser tóxicos o repulsivos para herbívoros y patógenos. Por ejemplo: el carvacrol y timol tienen actividades antimicrobianas directas (Leyva et al., 2017).

3.1.7.3 Factores que influyen en el contenido del aceite esencial

Los aceites esenciales suelen constituir desde el 0,1 % hasta el 1% de todo el peso seco de la planta. Estos líquidos tienen poca solubilidad en agua, pero si son solubles en alcoholes y disolventes orgánicos. Su composición química se resume en mezclas complejas, en donde de forma casi exclusiva los terpenos son sus constituyentes y en baja medida encontramos a aromáticos derivados del fenilpropano: anetol, aldehído anísico, safrol, eugenol, aldehído cinámico, entre otros (López, 2004).

La composición y contenido del aceite esencial son determinantes en la calidad del orégano y distintos factores como factores genéticos, condiciones climáticas y la disponibilidad de nutrientes son cruciales, debido a que influyen en la planta (Azizi et al., 2009).

3.1.7.3.1 Factores genéticos

Estos determinan la capacidad natural en que una planta produce aceites esenciales y las cantidades de los compuestos que lo conforman. Las diferentes especies o variedades cuentan con un conjunto de genes que controla las enzimas encargadas de todo el proceso de síntesis de los aceites esenciales. Por lo tanto, las diferencias en el material genético hacen que unas plantas produzcan y acumulen más aceites esenciales a comparación de otras o que también varíe su composición química (Napoli et al., 2020).

3.1.7.3.2 Factores ambientales

Dentro de los parámetros que influyen están el clima (temperatura, luz y fotoperiodo), altitud y agua (estrés hídrico) influyen la composición y acumulación de Aceites Esenciales. En muestras en campo los factores ambientales pueden interactuar con la fertilización y la fenología (Dudai, 2005).

3.1.7.3.3 Factores nutricionales y fisiológicos

Las condiciones agrícolas, sobretodo la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, tienen un papel muy importante en el desarrollo y las características bioquímicas de las plantas aromáticas. Por esto es que se aplican distintos nutrientes al suelo para fertilizarlo en beneficio de las plantas y para la obtención de cosechas buenas. La

fertilización desempeña un rol crucial en la síntesis de aceites esenciales, así como también en la determinación de sus componentes y en el porcentaje de aceite final (Dudai, 2005).

3.1.7.3.3.1 Hierro (Fe) como micronutriente esencial en plantas

3.1.7.3.3.1.1 Generalidades

El hierro es uno de los micronutrientes esenciales para el desarrollo y crecimiento óptimo de las plantas. En muchos casos el contenido de hierro en el suelo es alto, pero la biodisponibilidad se encuentra limitada, esto pasa en su mayoría de casos en suelos con características calcáreas o alcalinas donde el hierro a menudo existe como hidróxido férrico insoluble debido al pH alto y bicarbonato (Grillet et al., 2014).

El hierro (Fe) es considerado un elemento esencial para todos los seres vivos, debido al papel importante que cumple en las funciones celulares, ya sea en la síntesis de ADN, respiración y destoxificación de radicales libres. En el ambiente es encontrado principalmente en forma de Fe^{3+} componiendo parte de sales e hidróxidos de muy baja solubilidad, estas formas químicas no hacen posible su uso por algunos seres vivos (Aguado-Santacruz et al., 2012).

Un trastorno frecuente en plantas es la deficiencia de hierro, sobre todo en aquellas que crecen en suelos alcalinos. De

tal forma las especies que presentan deficiencia pueden ser incapaces de sostener la homeostasis de dicho elemento, esto por la baja concentración soluble en el suelo (Grillet et al., 2014).

3.1.7.3.3.1.2 *Propiedades químicas del hierro en sistemas agrícolas*

3.1.7.3.3.1.2.1 Funciones bioquímicas del hierro en la fotosíntesis

El hierro tiene un papel fundamental en el metabolismo de las plantas, su existencia estructural como constituidor de la ferredoxina en el fotosistema I de la etapa luminosa en la fotosíntesis, es decir, la ferredoxina está a cargo de almacenar toda la energía luminosa que fue capturada por los cloroplastos (P700). Su productividad es más evidente a medida que la luminosidad es más baja (mañanas y tardes). Lo esencial no es que el sol salga, lo crucial es que las plantas absorban la energía luminosa para la producción de ATP y NAD (energía luminosa que fue transformada en energía química).

Alrededor del 75 % del hierro celular está vinculado con los cloroplastos, demostrando el principal papel que este elemento hace en la fotosíntesis. El hierro es esencial para la síntesis de clorofila. Cuando proporcionamos hierro a las plantas en distintas concentraciones se evidencia una

correlación directa entre la cantidad de hierro y la de clorofila (Mata, s. f.).

El proceso de la fotosíntesis es un proceso muy importante que puede llegar a afectar la producción de compuestos volátiles dentro de las plantas, debido a que este mismo proceso influye en las rutas biosintéticas y la regulación genética (Dudareva et al., 2006).

3.1.7.3.3.1.2.2 Hierro y su relación con el metabolismo secundario

El hierro como micronutriente es crucial en los procesos metabólicos que permiten la producción de metabolitos secundarios. Como primer punto este micronutriente tiene el papel de cofactor de enzimas de oxidación-reducción, en donde intervienen en rutas biosintéticas sofisticadas, tales como las que originan fenilpropanoides, terpenoides y alcaloides. Cuando la disposición de hierro es adecuada, las enzimas llegan a funcionar normalmente, así favoreciendo el flujo metabólico adecuado para la realización de la síntesis de dichos compuestos especializados (Jelali et al., 2022).

3.1.7.3.3.1.2.3 Exceso de hierro como factor de estrés metabólico e inhibición de metabolitos secundarios.

La deficiencia como el exceso de hierro influyen en el balance redox celular y pueden conllevar a un estrés oxidativo,

repercutiendo directamente en la síntesis de metabolitos secundarios.

Los procesos metabólicos y la integridad de membranas son alterados por la intoxicación de hierro, lo que a la vez modifica la acumulación de metabolitos secundarios (Lapaz et al., 2022).

3.1.8 Aceite esencial de *Origanum spp.*

3.1.8.1 Composición química predominante (carvacrol, timol, γ -terpineno p-cimeno, entre otros)

El aceite de orégano contiene cuatro grupos principales de químicos que contribuyen a su potente poder curativo. Fenoles, como carvacrol y thymol, actúan como antisépticos y antioxidantes, mientras los terpenos, que son pineno y terpineno, tienen propiedades antisépticas, 6 antivirales, antiinflamatorias y anestésicas. Linalool y bonreol son 2 cadenas de alcoholes que tienen propiedades antivirales y antisépticas (Bozin et al., 2006).

3.1.9 Extracción de aceites esenciales

3.1.9.1 Extracción por arrastre de vapor

Este tipo de extracción abarca un proceso de separación a través del uso de vapor de agua, aquí se vaporizarán los componentes que son volátiles de la materia vegetal.

El proceso abarca en que un flujo de vapor pase a través de la materia vegetal, de tal forma que los aceites serán arrastrados. Luego, los mismos vapores son enfriados y condensados, ocasionando el destilado líquido que es formado por 2 fases no mezclables: fase acuosa y fase orgánica (aceite esencial). Estas fases pueden ser separadas a través de la diferencia de densidades que existen entre ellas.

La destilación con agua y vapor consiste en que el mismo vapor es generado dentro del recipiente en donde está la materia vegetal y el agua, pero no están en un directo contacto. La materia de donde se extraerá el aceite se encuentra en rejillas o cestas y debajo o en la parte inferior de las rejillas se encuentra el agua hasta un cierto nivel de tal forma que no tienen contacto (Guenther, 1948).

3.2 Antecedentes de aplicación de hierro en cultivos productores de aceites esenciales

Según Nasiri et al. (2010) los efectos que tiene la aplicación de micronutrientes como el hierro y zinc tienen un efecto en el rendimiento y producción de aceite esencial de manzanilla. Los tratamientos foliares de hierro y zinc se aplicaron en etapas de elongación del tallo, floración y en ambas etapas, en donde al finalizar los resultados mostraron un aumento en el rendimiento de flores y % de aceite esencial al compararlos con el testigo (sin tratamiento). El momento de aplicación también fue significativo en el rendimiento de flores secas y % de aceite esencial, llegando a concluir que la

mejor aplicación en ambas etapas de elongación de tallo y floración fue la mejor.

Según El-Sonbaty et al. (2022) el uso de nanopartículas de óxido de hierro (Fe-NO) mejora de forma considerable el rendimiento de geranios con aroma a rosas y el rendimiento de los aceites esenciales en el primer y segundo corte. El Fe llega a aumentar los pigmentos fotosintéticos, carbohidratos totales, nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, manganeso, fenoles, flavonoides y antocianinas. Este hallazgo respalda cuan efectivo es el tratamiento con Fe para mejorar el crecimiento y rendimiento.

Según Said-Al et al. (2010) las plantas de albahaca dulce (*Ocimum basilicum* L.) bajo estrés salino muestran disminuciones en altura de planta, número de plantas, rendimiento de materia seca, así como % de aceite esencial en este tipo de suelos, en cambio, en estos mismos suelos pero bajo influencia o adición de micronutrientes de hierro más zinc muestran un efecto activo y de aumento en características como el % de aceite esencial así como en sus componentes.

CAPÍTULO IV

MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Tipo de Investigación

Investigación aplicada

4.2 Nivel de la Investigación

Investigación experimental

4.3 Ubicación del Laboratorio

La sede del Laboratorio de Fisiología Vegetal está situada en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann.

4.3.1 Ubicación Geográfica

Latitud sur: 18°01'09,76".

Latitud oeste: 70°15'07,67".

Altitud: 548 msnm.

4.4 Ubicación del Campo Experimental

El campo experimental está ubicado en la parcela 96 – Pozo 3 de asociación agroindustrial “4 Suyos” perteneciente en el Distrito La Yarada Los Palos del Departamento de Tacna.

4.4.1 Ubicación Geográfica

Latitud sur: $18^{\circ}13'12,70''$.

Latitud oeste: $70^{\circ}28'15,60''$.

Altitud: 49 msnm.

4.4.2 Situación edáfica

El análisis de suelo fue realizado en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria La Molina, el 20 de diciembre de 2024, teniendo como resultado el siguiente:

Tabla 1*Resultados del análisis de la muestra de suelo*

Parámetro	Resultado
Conductividad eléctrica (CE 1:1, dS/m)	6,99
Análisis mecánico	
Arena (%)	87
Limo (%)	10
Arcilla (%)	3
Textura	Arenosa (A.)
pH (1:1)	7,75
CaCO₃ (%)	0,00
Materia orgánica (%)	0,13
Fósforo (P, ppm)	5,38
Potasio (K, ppm)	880
Cationes cambiables	
Capacidad de intercambio catiónico (CIC, meq/100 g)	9,64
Calcio (Ca ²⁺ , meq/100 g)	6,91
Magnesio (Mg ²⁺ , meq/100 g)	0,82
Potasio intercambiable (K ⁺ , meq/100 g)	1,51
Sodio (Na ⁺ , meq/100 g)	0,40
Al ³⁺ + H ⁺ (meq/100 g)	0,00
Suma de cationes (meq/100 g)	9,64

Parámetro	Resultado
Suma de bases (meq/100 g)	9,64
Saturación de bases (%)	100
Fe disponible (ppm)	4,12

Nota. De resultados del análisis de muestra de agua, por Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes-UNALM,2024.

El análisis de suelo mostrado evidencia una composición de 87% de arena, 10% de limo y 3% de arcilla, lo que clasifica al suelo con textura arenosa, lo que es favorable para el drenaje , esta es una adecuada condición para el crecimiento de orégano que llega desarrollarse bien en suelos sueltos y con buena aireación (Wenneck et al., 2023). La conductividad eléctrica de 6,99 dS/M indica un alto nivel de salinidad, esta característica es predominante en suelos de zonas de la Yarada los Palos, esto puede afectar la absorción de agua, así como de nutrientes. El pH es de 7,77, siendo ligeramente alcalino según los resultados dados por el Laboratorio de suelos.

Por otro lado, el contenido de materia orgánica es muy baja (0,13 %), siendo una limitante para el cultivo, ya que de acuerdo a estudios las plantas de orégano son exigentes en MO para la mejora del proceso fotosintéticos, conductancia estomática y la eficiencia en el uso de agua (Wenneck et al., 2023).

4.4.3 Situación hídrica

El análisis de suelo fue realizado en el Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria

La Molina, el 05 de diciembre de 2024, teniendo como resultado el siguiente:

Tabla 2:

Resultados del análisis de muestra de agua

Parámetro	Resultado
pH	7,50
C.E. dS/m	1,48
Calcio meq/l	8,60
Magnesio meq/l	2,58
Potasio meq/l	0,47
Sodio meq/l	3,74
SUMA DE CATIONES	15,40
Nitratos meq/l	0,10
Carbonatos meq/l	0,00
Bicarbonatos meq/l	2,24
Sulfatos meq/l	5,67
Cloruros meq/l	6,02
SUMA DE ANIONES	14,02
Sodio %	24,29
RAS	1,58
Boro	0,35
Clasificación	C3-S1
Cobre ppm	N.D.

Parámetro	Resultado
Zinc ppm	N.D.
Manganeso ppm	N.D.
Hierro ppm	0,011

Nota. De resultados del análisis de muestra de agua, por Laboratorio de Análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes-UNALM,2024.

4.5 Materiales

4.5.1 Material Biológico

Se utilizaron esquejes de orégano del morfotipo denominado empíricamente "Chinito". Se eligió esta variedad porque es la más comúnmente utilizada en los cultivos de la costa en la Región Tacna.

4.5.2 Material experimental

OPTIMUS-Fe es rico en hierro (Fe) quelatado con EDDHA, aquí predomina la isomería orto-orto, esto formulado para la aplicación en suelos con pH alto. En suelos con este tipo de características, algunos quelatos no llegan a mantener el hierro que es disponible por mucho tiempo. Al soltar el hierro este se une al calcio, formando así compuestos más estables. Luego, el hierro que queda libre reacciona con el hidróxido del suelo y se vuelve insoluble, por lo tanto, la planta ya no la puede absorber. (Laboratorio Control de Calidad de TRIADA, 2015).

EDDHA-Fe, presenta una constante de estabilidad (log k) de 33,9, esto indica, que el quelato formado, es considerablemente estable a condiciones

adversas del medio, como el pH alto (Laboratorio Control de Calidad de TRIADA, 2015).

En base a todo lo anterior, OPTIMUS-Fe, puede llegar a utilizarse con efectividad alta para brindar hierro disponible a las plantas, en suelos calcáreos de pH alto. (Laboratorio Control de Calidad de TRIADA, 2015).

Tabla 3:

Composición química y características de OPTIMUS-Fe

Elemento	Descripción
Fórmula y nombre químico	Ácido etilendiamino-N,N'-bis (2-hidroxi-fenil acético) complejo férrico-sódico (EDDHA-Fe Na).
Fórmula molecular	$C_{18}H_{16}N_2O_6NaFe$
Nombre común	Quelato de hierro (E.D.D.H.A.)
Agente quelatante	E.D.D.H.A.
Rango de estabilidad en pH	3 – 11
Composición	Complejo de ácido etilendiamino-N,N'-bis (2-hidroxi-fenil acético).
Hierro total (Fe)	60 g/kg (6% p/p)

Tabla 4:

Propiedades físicas y químicas de OPTIMUS-Fe

Propiedad	Descripción
Peso molecular	435,2 g/mol
Apariencia	Micro-gránulos rojizos oscuros
Solubilidad en agua (20 °C)	15,0 g/100 ml de agua
pH de solución al 10 %	7,9
Contenido de hierro (Fe)	6,0 % total (90 % orto-orto; 10 % otros isómeros de EDDHA-Fe)
Estabilidad	La sustancia es fotosensible; pierde eficiencia biológica si se expone a luz intensa por períodos prolongados.

4.6 Tratamientos de estudio

Los tratamientos aplicados fueron diferentes dosis del producto rico en hierro “OPTIMUS-Fe” que es un fertilizante que contiene hierro (Fe) quelatado con EDDHA, en la que predomina la isomería orto-orto, formulado para ser aplicado en suelos de pH alto.

T₀: 0 Kg/ha

T₁: 3 Kg/ha

T₂: 6,5 Kg/ha

T₃: 10 Kg/ha

Se hicieron en total 6 aplicaciones de las diferentes dosis férricas, las aplicaciones se realizaron en un rango de tiempo de 4 meses con aplicaciones cada 15 días después del primer mes.

4.7 Diseño experimental

Se empleó un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con análisis de Varianza ANOVA, con 4 tratamientos y 4 repeticiones, para su ejecución en campo. La recopilación y el análisis de datos se realizó con el programa estadístico RStudio.

4.8 Metodología

4.8.1 Ejecución en Campo Experimental

4.8.1.1 Variable

El momento de corte fue cuando las plantas de donde se sacaron los esquejes tuvieron una longitud de 30 cm, los esquejes se seleccionaron y cortaron a una longitud de 20 cm, para después ser sumergidos en Root-Hor (ácido alfa naftalenacético e indolbutírico) al 0,5 % que es un regulador de crecimiento de plantas, la sumersión se hizo durante 5 minutos.

4.8.1.2 Preparación campo experimental

El campo experimental estuvo constituido por 8 camellones de 50 m, que fueron divididos en 16 unidades experimentales, constituidas cada una de 2 segmentos de camellón de 12 m. Para la preparación de los camellones se suministró 40 kg de estiércol de vacuno y 2 kg de guano de isla, que darán el aporte de materia orgánica, para la formación de los camellones se usó de un tractor agrícola y el posterior perfilado de forma manual de los mismos.

Bloque I	Bloque II	Bloque III	Bloque IV
T0	T1	T3	T2
T2	T0	T1	T3
T3	T2	T0	T1
T1	T3	T2	T0

Figura 1:

Distribución de unidades experimentales de acuerdo a tratamientos.

4.8.1.3 Desalinización de suelo (lavado)

Por las características del suelo de la asociación agroindustrial 4 Suyos, se dio un periodo de desalinización de los camellones para desplazar el exceso de sales durante 2 semanas, adicionalmente se hizo un raspado de lomo del camellón hacia los costados, esto para retirar los afloramientos de sales y carbonatos.

4.8.1.4 Plantado

El plantado se llevó a cabo al día siguiente del raspado de los camellones, para lo cual se contrató personal especializado. Las labores que se realizaron el día del plantado son las siguientes: Corte de malquera (Esquejes de orégano), formación de camellones, plantado de esquejes, tendido de cintas y riego.

4.8.1.5 Fertilización

La fertilización de las plantas de orégano se hizo según la fórmula recomendada por la literatura existente (150-100-120), los fertilizados seleccionados que aportaron los requerimientos nutricionales fueron nitrato de amonio, fosfato monoamónico, nitrato de potasio, nitrato de calcio, sulfato de magnesio, sulfato de zinc, ácidos húmicos y aminoácidos.

4.8.1.6 Control de plagas

Durante el desarrollo del cultivo de orégano, el manejo fitosanitario se centró en el control integrado de las plagas y enfermedades presentes en el campo. Las principales plagas identificadas fueron larvas de lepidópteros no determinadas, las cuales provocaban el corte de brotes tiernos; estas fueron controladas mediante aplicaciones de un bioinsecticida a base de *Bacillus thuringiensis*, complementado con tratamientos quincenales de bioinsecticidas formulados con *Metarhizium anisopliae* y *Beauveria bassiana*, acorde con las estrategias

microbiológicas recomendadas para este cultivo. En cuanto a enfermedades, se observaron incidencias de *Fusarium* en suelo, además de oídio y roya, las cuales fueron manejadas mediante aplicaciones de *Trichoderma* spp. en el suelo y *Bacillus subtilis* a nivel foliar, manteniendo así un enfoque biológico y preventivo durante los cuatro meses previos a la cosecha, realizada antes del estado fenológico de botón floral. Aunque la presión de insectos fue baja debido a las condiciones invernales, las enfermedades fúngicas presentaron un comportamiento más agresivo, lo que justificó la continuidad y relevancia de las aplicaciones en el programa fitosanitario.

4.8.1.7 Riego

Debido a las características del suelo del campo experimental — predominantemente arenoso (87% arena), con baja materia orgánica, elevada conductividad eléctrica (C.E. 6,99 dS/m), altos niveles de sales solubles como Na^+ (67,17 meq/L) y Cl^- (138,36 meq/L), y un pH alcalino de 7,75— se implementó un manejo de riego orientado a evitar tanto el estrés hídrico como la concentración de sales en la zona radicular del cultivo de orégano. Para ello, se utilizó un sistema de riego por goteo con dos cintas por camellón, cada una con emisores cada 20 cm y un caudal de 1 L/h por alveolo. El riego se realizó diariamente durante 25 minutos, proporcionando un bulbo húmedo continuo y uniforme que permitió desplazar parcialmente las sales hacia estratos inferiores, favoreciendo el enraizamiento y evitando daños por salinidad en los brotes jóvenes. Este esquema de riego frecuente y de baja lámina fue fundamental para

mantener la humedad adecuada en un suelo de rápida infiltración y alta acumulación salina, condiciones en las que el orégano presenta sensibilidad moderada, especialmente durante el establecimiento inicial de los esquejes.

4.8.1.8 Cosecha - Corte

A los 4 meses se realizó el corte del orégano, previo a la formación de los botones florales o durante su formación para poder obtener un mayor porcentaje de aceite en las hojas. Son 4 plantas seleccionadas al azar que representarán cada una de las 16 unidades.

4.8.1.9 Secado

Una vez cortadas las plantas serán pesadas en fresco y se distribuirán en el secador teniendo muy en cuenta su separación para no generar errores al momento del secado. El orégano se secará bajo sombra en un deshidratador durante 5 días o hasta que las hojas alcancen un porcentaje de humedad del 10%. Se volverán a pesar las muestras una vez estén secas.

4.8.2 Ejecución en Laboratorio

Se recolectaron muestras de las 16 unidades del campo experimental (4 tratamientos y 4 repeticiones). Las plantas de orégano que se utilizaron para la extracción de aceite se deshidrataron bajo

sombra, en anaqueles especiales para la deshidratación de plantas aromáticas. Este sistema de secado es comúnmente usado en zonas altoandinas para obtener hojas más verdes y evitar la proliferación de moho durante el secado.

Posteriormente se pesaron 250 g de cada muestra seca para la extracción de aceite esencial con el Extractor de Aceites Esenciales (Escala Laboratorio) de la marca “FIGMAY”. El resultado de la extracción fue pesado y se recopilaron los datos para el procesamiento de los mismos

Se evaluó el porcentaje de aceite presente en las hojas de orégano deshidratado frente a 3 dosis férricas de un fertilizante rico en hierro quelatizado y un testigo conducido en campo y analizados en laboratorio.

4.8.2.1 Extracción de aceite esencial

4.8.2.1.1 Instalación del extractor de aceites esenciales escala laboratorio de la marca FIGMAY

Se conectaron las mangueras de ingreso y salida de agua (revisando que estén en los lugares correctos). Una vez que aseguramos que la llave de desagote está correctamente cerrada, se agregó 1.5 l de agua destilada en el extractor. Pasando a abrir el flujo de agua hasta que en el sistema de nivel constante mantenga el nivel de agua en contacto con las dos sondas (asegurando de que el flujo de agua sea el adecuado abriendo

o cerrando la llave). Se colocaron 250 gramos de muestra en las dos canastas en el orden y posición correcta, taparemos el extractor y se asegurará el correcto sellado con las mariposas. Ubicaremos correctamente la pera de decantación de 250 ml, aquí es donde se depositará el aceite e hidrolato. Debajo de la pera de decantación se puso un vaso precipitado de 500 ml en donde se depositó el hidrolato producto de la extracción de aceite esencial.

4.8.2.1.2 Encendido del extractor de aceites esenciales escala laboratorio de la marca FIGMAY

Se observó que el paso de corriente en el estabilizador sea fijo, conectamos el extractor al estabilizador, presionamos el botón “I” de encendido y se puso la potencia a 50 para proseguir a presionar el botón arranque (como prueba de que se hizo el correcto encendido se prendió la luz testigo). Pasando los 5 minutos a partir del arranque subimos la potencia a 100.

4.8.2.1.3 Proceso de obtención de aceite con el extractor de aceites esenciales escala laboratorio de la marca FIGMAY

Se observará atentamente el refrigerante esperando ver el inicio de la condensación de los vapores de la caldera, una vez que cae la primera gota en el mismo, se anotó la hora para dejar pasar 20 minutos de colección. Aquí ya se pudo ver la separación del aceite con el hidrolato por densidades. Debido a que se suele obtener hasta 400 ml de hidrolato por

extracción, se abrió la llave cada aproximadamente 5 minutos para dejar caer hidrolato en el vaso precipitado.

4.8.2.1.4 Apagado del extractor de aceites esenciales escala laboratorio de la marca FIGMAY

Una vez que pasen los 20 minutos de extracción se reguló la potencia a cero y presionamos el botón “O” de apagado. Como precaución no se detuvo el flujo de agua del sistema de enfriado por aproximadamente 10 minutos hasta que dejen de caer los restos del aceite del refrigerante a la pera de decantación.

4.8.2.1.5 Recolección del aceite esencial extraído

Pasados los 10 minutos de espera después del apagado del extractor, se separó el aceite del hidrolato, abriendo la llave de la pera y dejando pasar el hidrolato hasta el punto límite de aceite presente. Aparte se hizo el pesado de un envase en el cual se depositó el aceite. Una vez se ha depositado todo el aceite, se procedió a cerrar el envase, pesarlo, rotularlo y guardarlo en refrigeración.

4.8.2.1.6 Rendimiento del aceite esencial

Para hallar el rendimiento de aceite esencial en hojas de orégano, se recurrió a la siguiente fórmula:

$$R = \frac{V}{M} \times 100$$

Donde:

R: rendimiento (%)

V: volumen del aceite esencial (g)

M: masa del material vegetal (g)

(Pino et al., 2012)

4.9 Variables Respuesta

4.9.1 Producción de material seco

Para la producción de material seco se llevó las muestras de la anterior evaluación a un secador en sombra en donde se dejaron secar hasta que las plantas alcancen un % de humedad del 10% o cuando las hojas empiecen a desprenderse de los tallos.

4.9.2 Porcentaje de Aceite esencial

De manera manual, se separaron las flores y hojas de los tallos de las plantas. Posteriormente, el material vegetal fue sacudido o frotado entre sí hasta obtener únicamente el material seco, el cual fue colocado en las canastillas. Previamente a este procedimiento, se realizó el pesaje correspondiente de cada muestra.

Para el análisis, se consideró la cantidad de aceite esencial extraída a partir de cada muestra seca. El cálculo del porcentaje de aceite esencial se realizó mediante una regla de tres simple, donde el 100 % correspondió al peso total de la muestra seca colocada en las canastillas,

y el porcentaje final representó la relación entre el aceite extraído y el peso total de la muestra seca utilizada.

4.10 Análisis de datos

Se utilizó el método de análisis de varianza que tiene un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$. Se utilizó la prueba de significación de Tukey, ya que esta prueba nos brindó de forma clara y estadísticamente sólida que tratamiento de hierro es el mejor. Se trabajó con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$, para comparar las medias entre los tratamientos.

Todos los procedimientos estadísticos se procesaron usando el software Rstudio, el cual brindó herramientas confiables para el procesamiento de datos, así como el ajuste de los modelos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Resultados

5.1.1 Porcentaje de materia seca según tratamiento (%)

La tabla 5 presenta los valores del porcentaje de materia seca obtenidos como efecto de las aplicaciones de 3 dosis férricas y un tratamiento testigo (sin fertilizante). El análisis de varianza evidencia que no hay efecto significativo a los factores tratamiento ($F = 1,681$; $p = 0,179$), con un coeficiente de variación de 7,51% lo que relata una variabilidad experimental aceptable. En el caso de la prueba de Tukey y la comparación de medias no se detectó diferencias estadísticas, resultando en un grupo homogéneo para todos los tratamientos aplicados.

Tabla 5:

Análisis de varianza de peso de material seco en el cultivo de orégano, Tacna 2024

F.V.	gl	SC	CM	F	p-valor
Bloques	3	0,00080	0,0002655	0,578	0,631
Tratamientos	3	0,00232	0,0007720	1,681	0,179
Error	73	0,03353	0,0004593		
Total	79	0,0366			

Cv: 7,51 % (**): Altamente significativo ($p < 0,01$) (*): Significativo ($p < 0,05$)
 ns: No significativo

Tabla 6

Prueba de significación Tukey de porcentaje de materia seca.

Tratamiento	Medias (% de materia seca)	Significación del 0,05
T ₀	0,290	a
T ₁	0,289	a
T ₂	0,284	a
T ₃	0,276	a

Nota. Letras iguales no difieren significativamente entre medias, prueba de Tukey ($\alpha = 0,05$).

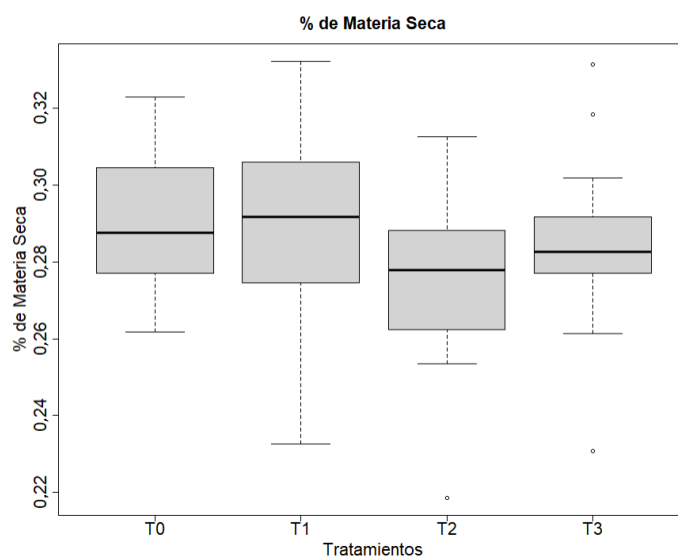


Figura 2

Porcentaje de materia seca de orégano según tratamiento

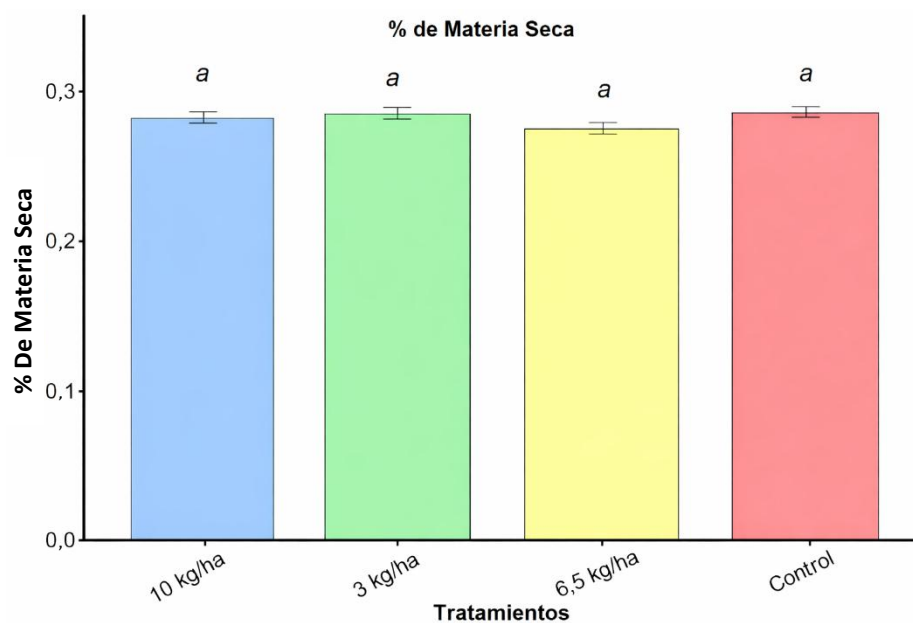


Figura 3

Porcentaje de materia seca de orégano según tratamiento y prueba de significancia de Tukey.

En los resultados se muestran los porcentajes de materia seca en plantas de orégano, estas expuestas o bajo aplicaciones de tres dosis férricas, como también un testigo sin aplicación (T_0). Mientras que el análisis de varianza demuestra que no hay diferencias significativas entre tratamientos ($F = 1,681$; $p = 0,179$), lo que refleja que las distintas dosis férricas aplicadas no alteraron significativamente la acumulación de materia seca en la planta.

A través de la prueba de Tukey (5% de significancia), resultó que todas las medias de porcentaje de materia seca ($T_0 = 0,290\%$, $T_1 = 0,289\%$, $T_2 = 0,284\%$, $T_3 = 0,276\%$) formaron solo un grupo homogéneo, esto confirma que

el efecto de los tratamientos con el fertilizante férrico no es significativo sobre la materia seca del orégano.

Los resultados obtenidos coinciden con estudios que muestran la respuesta en biomasa seca y contenido de materia seca puede no ser directamente proporcional a las aplicaciones de micronutrientes si no se optimiza la absorción y la distribución interna del elemento. Como ejemplo, *Origanum dubium* fue sometido a aplicaciones foliares de hierro y no resultó en aumentos drásticos de materia seca y dependió del tipo de fertilización usada (Tzortzakis et al., 2025).

A pesar de que el hierro es considerado un micronutriente esencial y es participante de procesos ya sean la respiración, la síntesis de clorofila y el transporte de electrones, su absorción y distribución en plantas está regulada (Ning et al., 2023). Gran parte del hierro absorbido puede llegar a quedar inmovilizado en la materia seca, esto bajo formas de almacenamiento, como la fitoferritina en tejidos vegetales, lo cual puede limitar los efectos visibles en biomasa cuando la aplicación no supera ciertos umbrales o no se acompaña de una mejora en la eficiencia de absorción (Benavides, 1999).

5.1.2 Porcentaje de aceite esencial según tratamiento (%)

Tabla 7

Análisis de varianza de porcentaje de aceite esencial (%) en el cultivo de orégano, Tacna 2024

F.V.	gl	SC	CM	Fc	p-valor
Bloques	3	0,00020	0,000067	0,108	0,955 ns
Tratamientos	3	0,04436	0,014786	23,744	7,87e-11 **
Error	73	0,04546	0,000623		
Total	79	0,09002			

Cv: 3,14 % (**): Altamente significativo ($p < 0,01$) (*): Significativo ($p < 0,05$)
ns: No significativo

En la Tabla 7, el análisis de varianza evidenció diferencias altamente significativas en el porcentaje de aceite esencial de orégano entre tratamientos ($F_c = 23,74$; $p = 7,87 \times 10^{-11}$), lo que confirma que la aplicación de las distintas dosis de hierro ejerció un efecto real sobre la producción de aceite esencial. Por otro lado, el efecto de bloques no fue significativo ($F = 0,108$; $p = 0,955$ ns), lo que indica que la variabilidad entre bloques fue homogénea y no afectó de manera importante al experimento. Además, el coeficiente de variación ($CV = 3,14$ %) refleja una buena precisión experimental, lo que respalda la confiabilidad de los datos obtenidos para el porcentaje de aceite esencial. En consecuencia, se valida que los cambios observados en el porcentaje de aceite esencial se deben principalmente a los tratamientos aplicados y no al azar experimental.

Al identificar diferencias altamente significativas en el ANOVA, se procedió a aplicar la prueba de comparación Tukey al 5%, esto para identificar cómo es que los tratamientos difieren entre sí.

Tabla 8

Prueba de significación Tukey del porcentaje de aceite esencial

Tratamiento	Medias (% de aceite esencial)	Significación del 0,05
T ₁	0,831	a
T ₂	0,789	b
T ₀	0,786	b
T ₃	0,767	c

De acuerdo a la prueba de Tukey, el tratamiento T₁(3kg/ha) obtuvo el mayor porcentaje de aceite esencial a comparación de los otros tratamientos aplicados. Por lo que en términos comparativos, el tratamiento 1 (T₁) incrementó el porcentaje de aceite esencial en un aproximado de 0,064% respecto al control (T₀). Los patrones obtenidos permiten hacer la interpretación de los efectos de las dosis de hierro desde una perspectiva fisiológica y bioquímica. Entonces este resultado puede explicarse de forma fisiológica, por lo siguiente: el micronutriente hierro realiza un papel esencial en la fotosíntesis y en la síntesis de metabolitos secundarios, ya que facilita la producción de ATP y NADPH para la biosíntesis (Samani et al., 2025).

Estudios ya realizados evidencian que una disponibilidad adecuada de hierro llega a promover ya sea la densidad de tricomas glandulares como la tasa fotosintética, conllevando al aumento de la producción de aceite esencial (Khanizadeh et al., 2024).

Por otro lado, dosis muy elevadas de hierro traen resultados contraproducentes: Por ejemplo, en *Origanum vulgare* conducido por hidroponía, las concentraciones altas de este micronutriente reducen la producción de aceite esencial, así como también del crecimiento de la planta (Yeritsyan & Economakis, 2002). Por lo tanto, los resultados experimentales como la evidencia científica respaldan la existencia de un punto óptimo de disponibilidad de hierro.

Por consiguiente, el comportamiento observado en los tratamientos, en donde la dosis intermedia fue la más efectiva, puede llegar a reflejar una respuesta dosis dependiente óptima, demostrando que una dosis o cantidad balanceada del hierro maximiza la síntesis de aceite esencial, esto sin generar efectos de estrés que limiten el rendimiento.

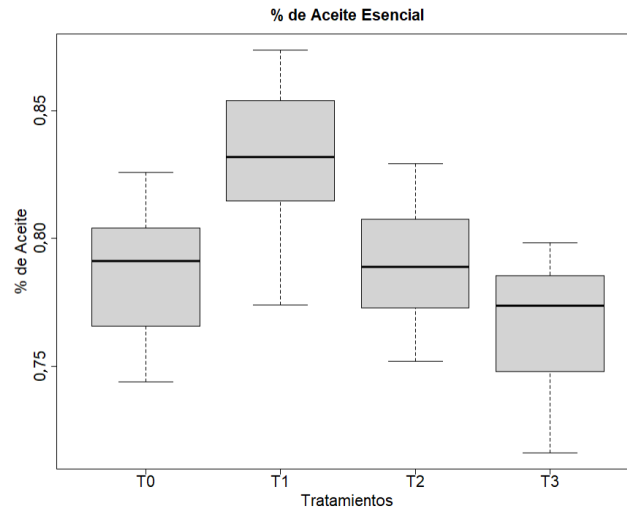


Figura 4
Porcentaje de aceite esencial de orégano según tratamiento

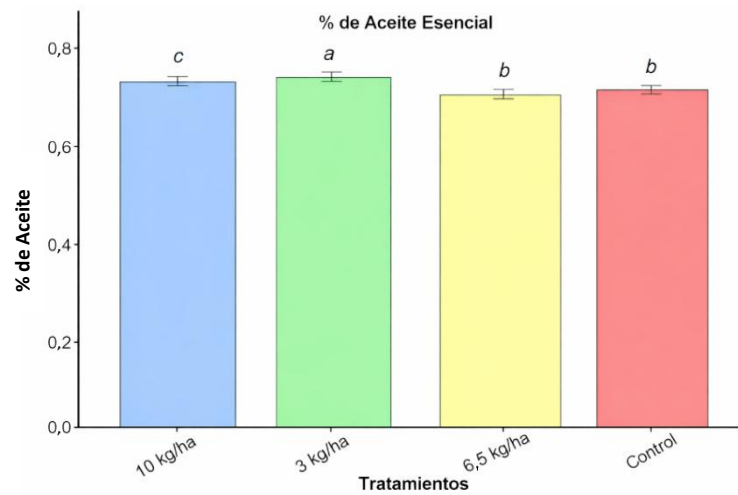


Figura 5
Porcentaje de aceite esencial de orégano según tratamiento y prueba de significancia de Tukey.

CONCLUSIONES

PRIMERA

La aplicación de fertilizante férrico (EDDHA-Fe) influyó en el porcentaje de aceite esencial de *Origanum* spp. morfotipo “Chinito”, evidenciándose respuestas diferenciadas del cultivo frente a las tres dosis evaluadas.

SEGUNDA

El T1 con una dosis de aplicación de 3kg/ha generó el porcentaje de aceite esencial mayor, superando al testigo (T0) como a las dosis más altas aplicadas. El comportamiento final indica que este morfotipo presenta una respuesta óptima a niveles adecuados o moderados de hierro, los cuales influyen y favorecen la síntesis de metabolitos secundarios. No obstante, a partir del T3 (6,5 kg/ha) se evidenció una disminución en el porcentaje de aceite esencial, mostrando que dosis de hierro elevadas inducen a toxicidad o estrés.

RECOMENDACIONES

PRIMERA

Se sugiere comparar la respuesta del cultivo de *Origanum* spp. a la aplicación de hierro en diferentes condiciones agroecológicas, como zonas costeras y valles interandinos, a fin de determinar la influencia del ambiente sobre el porcentaje de aceite esencial.

SEGUNDA

Se recomienda ampliar los estudios a otros morfotipos de *Origanum* spp. para comparar su respuesta al hierro en términos de porcentaje de aceite esencial, considerando que pueden existir diferencias fisiológicas y productivas entre materiales vegetales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguado-Santacruz, G. A., Moreno-Gómez, B., Jiménez-Francisco, B., García-Moya, E., & Preciado-Ortiz, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosidéforos en la asimilación de hierro por las plantas: Una síntesis. *Revista fitotecnica mexicana*, 35(1), 9-21.
- Ahmed, E., Arshad, M., Khan, M. Z., Amjad, M., Sadaf, H., Riaz, I., Sabir, S., Ahmad, N., & Saboon. (2017). Secondary metabolites and their multidimensional prospective in plant life. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*.
<https://www.semanticscholar.org/paper/Secondary-metabolites-and-their-multidimensional-in-Ahmed-Arshad/6dbcf12c9d63f4d4f9eb13a1eb902ea272a0007>
- Ávalos, A., & Pérez-Urria, E. (2011). Metabolismo secundario de plantas. *Reduca*, 2(3), 27.
- Azcón, J., & Talón, M. (2013). *Fundamentos de Fisiología Vegetal* (2da ed.). McGRAW-HILL Interamericana.
<https://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>

- Azizi, A., Yan, F., & Honermeier, B. (2009). Herbage yield, essential oil content and composition of three oregano (*Origanum vulgare* L.) populations as affected by soil moisture regimes and nitrogen supply. *Industrial Crops and Products*, 29(2), 554-561. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2008.11.001>
- Benavides, A. (1999). ABSORCION Y ASIMILACION DE HIERRO EN LAS PLANTAS.
- Bennett, R. N., & Wallsgrove, R. M. (1994). Secondary metabolites in plant defence mechanisms. *New Phytologist*, 127(4), 617-633. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb02968.x>
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Simin, N., & Anackov, G. (2006). Characterization of the Volatile Composition of Essential Oils of Some Lamiaceae Spices and the Antimicrobial and Antioxidant Activities of the Entire Oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1822-1828. <https://doi.org/10.1021/jf051922u>
- Briat, J.-F., Dubos, C., & Gaymard, F. (2015). Iron nutrition, biomass production, and plant product quality. *Trends in Plant Science*, 20(1), 33-40. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2014.07.005>

- Cheng, R., Yang, S., Wang, D., Qin, F., Wang, S., & Meng, S. (2025). Advances in the Biosynthesis of Plant Terpenoids: Models, Mechanisms, and Applications. *Plants*, 14(10), 1428. <https://doi.org/10.3390/plants14101428>
- Colombo, C., Iorio, E. di, Liu, Q., Jiang, Z., & Barrón, V. (2018, enero). Iron Oxide Nanoparticles in Soils: Environmental and Agronomic Importance [Text]. American Scientific Publishers. <https://doi.org/10.1166/jnn.2018.15294>
- Dudai, N. (2005). Factors affecting content and composition of essential oils in aromatic plants. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/284079597_Factors_affecting_content_and_composition_of_essential_oils_in_aromatic_plants
- Dudareva, N., Negre, F., Nagegowda, D., & Orlova, I. (2006). Plant Volatiles: Recent Advances and Future Perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 25, 417-440. <https://doi.org/10.1080/07352680600899973>
- El-Sonbaty, A. E., Farouk, S., Al-Yasi, H. M., Ali, E. F., Abdel-Kader, A. A. S., & El-Gamal, S. M. A. (2022). Enhancement of Rose Scented Geranium Plant Growth, Secondary Metabolites, and Essential Oil Components through Foliar Applications of Iron (Nano, Sulfur and Chelate) in Alkaline

- Soils. Agronomy, 12(9), 2164.
<https://doi.org/10.3390/agronomy12092164>
- Escobar, A., Pérez, M., Romanelli, G., & Blustein, G. (2020). Thymol bioactivity: A review focusing on practical applications. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(12), 9243-9269.
<https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2020.11.009>
- Grillet, L., Ouerdane, L., Flis, P., Hoang, M. T. T., Isaure, M.-P., Lobinski, R., Curie, C., & Mari, S. (2014). Ascorbate Efflux as a New Strategy for Iron Reduction and Transport in Plants*. *Journal of Biological Chemistry*, 289(5), 2515-2525. <https://doi.org/10.1074/jbc.M113.514828>
- Guenther, E. (with Osmania University & Digital Library Of India). (1948). *The Essential Oils Vol II*. D.Van Nostrand Company Inc.
<http://archive.org/details/essentialoilsvol030201mbp>
- Ietswaart, J. H. (1980). A taxonomic revision of the Genus *Origanum* (Labiatae) (Vol. 4). <https://repository.naturalis.nl/pub/508224/>
- Jelali, N., Wasli, H., Youssef, R. B., Hessini, K., & Cardoso, S. M. (2022). Iron Deficiency Modulates Secondary Metabolites Biosynthesis and Antioxidant Potential in *Sulla carnosa* L. Primed with Salicylic Acid.

Applied Sciences, 12(20), 10351.

<https://doi.org/10.3390/app122010351>

Juárez-Rosete, C. R., Aguilar-Castillo, J. A., Aburto-González, C. A., & Alejo-Santiago, G. (2019). Biomass production, nutritional requirement of nitrogen, phosphorus and potassium, and concentration of the nutrient solution in oregano. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 25(1), 17-28.
<https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.02.006>

Khanizadeh, P., Mumivand, H., Morshedloo, M. R., & Maggi, F. (2024). Application of Fe₂O₃ nanoparticles improves the growth, antioxidant power, flavonoid content, and essential oil yield and composition of *Dracocephalum kotschyi* Boiss. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1475284.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1475284>

Klimienė, A., Klimas, R., Shutava, H., & Razmuvienė, L. (2021). Dependence of the Concentration of Bioactive Compounds in *Origanum vulgare* on Chemical Properties of the Soil. *Plants*, 10(4), 750.
<https://doi.org/10.3390/plants10040750>

Kolalite, M. R. (1998). Comparative analysis of ultrastructure of glandular trichomes in two *Nepeta cataria* chemotypes (*N. cataria* and *N. catena*

- var. Citriodora). Nordic Journal of Botany, 18(5), 589-598.
<https://doi.org/10.1111/j.1756-1051.1998.tb01542.x>
- Laboratorio Control de Calidad de TRIADA. (2015). HOJA TECNICA OPTIMUS-Fe. <https://procampo.com.pe/wp-content/uploads/2021/05/OPTIMUS-FE-X-1-KG.pdf>
- Lapaz, A. D. M., Yoshida, C. H. P., Gorni, P. H., Freitas-Silva, L. D., Araújo, T. D. O., & Ribeiro, C. (2022). Iron toxicity: Effects on the plants and detoxification strategies. Acta Botanica Brasilica, 36, e2021abb0131.
<https://doi.org/10.1590/0102-33062021abb0131>
- Leyva, N., Gutiérrez, E. P., Vazquez, G., & Heredia, J. B. (2017). Essential Oils of Oregano: Biological Activity beyond Their Antimicrobial Properties. Molecules: A Journal of Synthetic Chemistry and Natural Product Chemistry, 22(6), 989. <https://doi.org/10.3390/molecules22060989>
- López, M. T. (2004). Los aceites esenciales: Aplicaciones farmacológicas, cosméticas y alimentarias: 23(7). Offarm: Farmacia y Sociedad.
- Martín, D. A. (2018). Los Compuestos Fenólicos, Un Acercamiento A Su Biosíntesis, Síntesis Y Actividad Biológica. Revista de Investigación Agraria y Ambiental, 9(1), 81-104.
<https://doi.org/10.22490/21456453.1968>

- Mata, G. E. (s. f.). IMPORTANCIA DEL HIERRO (Fe) EN LA AGRICULTURA. Ministerio de Agricultura y Riego. (2011). Manual de Observaciones Fenológicas (p. 99). Ministerio de Agricultura y Riego. <http://repositorio.midagri.gob.pe:80/jspui/handle/20.500.13036/65>
- Murillo-Amador, B., Morales-Prado, L. E., Troyo-Diéguez, E., Córdoba-Matson, M. V., Hernández-Montiel, L. G., Rueda-Puente, E. O., & Nieto-Garibay, A. (2015). Changing environmental conditions and applying organic fertilizers in *Origanum vulgare* L. *Frontiers in Plant Science*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpls.2015.00549>
- Napoli, E., Giovino, A., Carrubba, A., How Yuen Siong, V., Rinoldo, C., Nina, O., & Ruberto, G. (2020). Variations of Essential Oil Constituents in Oregano (*Origanum vulgare* subsp. *Viridulum* (= *O. heracleoticum*) over Cultivation Cycles. *Plants*, 9(9), 1174. <https://doi.org/10.3390/plants9091174>
- Nasiri, Y., Zehtab-Salmasi, S., Nasrollahzadeh, S., Najafi, N., & Ghassemi-Golezani, K. (2010). Effects of foliar application of micronutrients (Fe and Zn) on flower yield and essential oil of chamomile (*Matricaria chamomilla* L.). *Journal of Medicinal Plants Research*, 4, 1733-1737.

- Ning, X., Lin, M., Huang, G., Mao, J., Gao, Z., & Wang, X. (2023). Research progress on iron absorption, transport, and molecular regulation strategy in plants. *Frontiers in Plant Science*, 14, 1190768. <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1190768>
- Ninou, E., Cook, C. M., Papathanasiou, F., Aschonitis, V., Avdikos, I., Tsivelikas, A. L., Stefanou, S., Ralli, P., & Mylonas, I. (2021). Nitrogen Effects on the Essential Oil and Biomass Production of Field Grown Greek Oregano (*Origanum vulgare* subsp. *Hirtum*) Populations. *Agronomy*, 11(9), 1722. <https://doi.org/10.3390/agronomy11091722>
- Pérez-Alonso, N., & Jiménez, E. (2011). Producción de metabolitos secundarios de plantas mediante el cultivo in vitro. *Biotecnología Vegetal*, 11(4). <https://revista.ibp.co.cu/index.php/BV/article/view/255>
- Perveen, S. (2018). Introductory Chapter: Terpenes and Terpenoids. <https://doi.org/10.5772/intechopen.79683>
- Phillips, M., Leon, P., Boronat, A., & Rodriguezconcepcion, M. (2008). The plastidial MEP pathway: Unified nomenclature and resources. *Trends in Plant Science*, 13(12), 619-623. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2008.09.003>

- Pino, O., Sánchez, Y., Rojas, M. M., Abreu, Y., & Correa, T. M. (2012). Composición química y actividad antibacteriana del aceite esencial de *Pimpinella anisum* L. *Revista de Protección Vegetal*, 27(3), 181-187.
- Przybyla-Toscano, J., Boussardon, C., Law, S. R., Rouhier, N., & Keech, O. (2021). Gene atlas of iron-containing proteins in *Arabidopsis thaliana*. *The Plant Journal*, 106(1), 258-274. <https://doi.org/10.1111/tpj.15154>
- Said-Al, H., Said-Al Ahl, H., & Mahmoud, A. (2010). Effect of zinc and/or iron foliar application on growth and essential oil of sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) under salt stress. *Ozean Journal of Applied Sciences*, 3.
- Sajc, L., Grubisic, D., & Vunjak-Novakovic, G. (2000). Bioreactors for plant engineering: An outlook for further research. *Biochemical Engineering Journal*, 4(2), 89-99. [https://doi.org/10.1016/S1369-703X\(99\)00035-2](https://doi.org/10.1016/S1369-703X(99)00035-2)
- Samani, F. N., Ghavam, M., Tavili, A., & Mirzaei, R. (2025). The effect of foliar spraying of silver and iron nanoparticles as fertilizers on the quantity, quality, and antimicrobial properties of *Melissa officinalis* L. essential oil. *PLOS One*, 20(6), e0323296. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0323296>
- 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>
- Stefanakis, M. K., Giannakoula, A. E., Ouzounidou, G., Papaioannou, C., Lianopoulou, V., & Philotheou-Panou, E. (2024). The Effect of Salinity and Drought on the Essential Oil Yield and Quality of Various Plant Species of the Lamiaceae Family (*Mentha spicata* L., *Origanum dictamnus* L., *Origanum onites* L.). *Horticulturae*, 10(3), 265. <https://doi.org/10.3390/horticulturae10030265>
- Tzortzakis, N., Hajisolomou, E., Zaravelli, N., & Chrysargyris, A. (2025). Foliar Application of Iron and Zinc Affected Aromatic Plants Grown Under Conventional and Organic Agriculture Differently. *Horticulturae*, 11(8), 967. <https://doi.org/10.3390/horticulturae11080967>
- Virga, G., Sabatino, L., Licata, M., Tuttolomondo, T., Leto, C., & La Bella, S. (2020). Effects of Irrigation with Different Sources of Water on Growth, Yield and Essential Oil Compounds in Oregano. *Plants*, 9(11), 1618. <https://doi.org/10.3390/plants9111618>
- Walasek-Janusz, M., Grzegorzczak, A., Malm, A., Nurzyńska-Wierdak, R., & Zalewski, D. (2024). Chemical Composition, and Antioxidant and

Antimicrobial Activity of Oregano Essential Oil. *Molecules*, 29(2), 435.

<https://doi.org/10.3390/molecules29020435>

Wenneck, G. S., Saath, R., Moro, A. L., Carvalho, G. P. D. S., Santi, D. C., & Rezende, R. (2023). Physiological responses of oregano under different water management and application of fermented bokashi compost. *Acta Scientiarum. Agronomy*, 45, e60807.

<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v45i1.60807>

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>

Zhou, Y.-F., Mao, S.-L., Li, S.-F., Ni, X.-L., Li, B., & Liu, W.-Z. (2014). Programmed cell death: A mechanism for the lysigenous formation of secretory cavities in leaves of *Dictamnus dasycarpus*. *Plant Science*, 225, 147-160. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2014.06.007>

ANEXOS

Anexo 1

Resultados en el porcentaje de aceite esencial según cada tratamiento

Tratamiento	Bloque	% de aceite
T0	B1	0,7440
T0	B1	0,7875
T0	B1	0,7680
T0	B1	0,7350
T0	B1	0,8150
T0	B2	0,7945
T0	B2	0,8270
T0	B2	0,7930
T0	B2	0,7650
T0	B2	0,7580
T0	B3	0,8300
T0	B3	0,8540
T0	B3	0,8840
T0	B3	0,8290
T0	B3	0,8600
T0	B4	0,9020
T0	B4	0,8530
T0	B4	0,9100
T0	B4	0,9125
T0	B4	0,9350
T1	B1	0,9150
T1	B1	0,9260
T1	B1	0,8875

Tratamiento	Bloque	% de aceite
T1	B1	0,8500
T1	B1	0,9185
T1	B2	0,9580
T1	B2	0,9640
T1	B2	0,9600
T1	B2	0,9440
T1	B3	0,9075
T1	B3	0,9235
T1	B3	0,9550
T1	B3	0,8775
T1	B3	0,8755
T1	B4	0,8970
T1	B4	0,9190
T1	B4	0,8876
T1	B4	0,8500
T1	B4	0,7525
T2	B1	0,7385
T2	B1	0,7460
T2	B1	0,7500
T2	B1	0,7550
T2	B1	0,7450
T2	B2	0,7275
T2	B2	0,7155
T2	B2	0,7720
T2	B2	0,7495
T2	B2	0,7750
T2	B3	0,7495
T2	B3	0,7750
T2	B3	0,7490

Tratamiento	Bloque	% de aceite
T2	B3	0,7600
T2	B3	0,7565
T2	B4	0,7560
T2	B4	0,7490
T2	B4	0,7395
T2	B4	0,7500
T2	B4	0,8900
T3	B1	0,7750
T3	B1	0,7925
T3	B1	0,7650
T3	B1	0,8300
T3	B2	0,7780
T3	B2	0,7265
T3	B2	0,7645
T3	B2	0,7700
T3	B2	0,7700
T3	B3	0,7780
T3	B3	0,7620
T3	B3	0,7265
T3	B3	0,8700
T3	B3	0,7900
T3	B4	0,7650
T3	B4	0,7730
T3	B4	0,8050
T3	B4	0,7700
T3	B4	0,7700

ANEXOS

Anexo 2

Preparación del terreno



Anexo 3

Recorte de esquejes para el plantado



ANEXOS

Anexo 4

Esquejes de orégano morfotipo Chinito plantados



Anexo 5:

Presencia de plantas sin follaje



Anexo 6:

Construcción del secador de orégano



ANEXOS

Anexo 7

Campo de orégano morfolito Chinito instalado y con plantas desarrolladas



Anexo 8

Pesado del fertilizante



Anexo 9

Aplicaciones de las dosis férricas en las plantas de orégano



ANEXOS

Anexo 10:

Evaluación del campo experimental



Anexo 11

Cosecha de las plantas de orégano



ANEXOS

Anexo 12

Secado de plantas de orégano



Anexo 13

Pesado de las muestras para extracción de aceite esencial



Anexo 14

Funcionamiento de extractor de aceites FIGMAY



ANEXOS

Anexo 15

*Presencia de aceite esencial e hidrolato
obtenidos a partir de una extracción*



Anexo 16

Identificación del campo experimental con el título de la tesis

