



UNIVERSIDAD LAICA ELOY ALFARO DE MANABÍ EXTENSIÓN EL CARMEN

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

Creada Ley No 10 – Registro Oficial 313 de noviembre 13 de 1985

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGROPECUARIA**

IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR DIGITAL DE HUMEDAD, PARA USO EN CÁMARA TÉRMICA

AUTORA: Gema Julexy Zambano Murillo

TUTORA: Ing. Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, Mg.

El Carmen, agosto, 2026

	NOMBRE DEL DOCUMENTO: CERTIFICADO DE TUTOR(A)	CÓDIGO: PAT-04-F-004
	PROCEDIMIENTO: TITULACIÓN DE ESTUDIANTES DE GRADO BAJO LA UNIDAD DE INTEGRACIÓN CURRICULAR	REVISIÓN: 1
		Página 1 de 1

CERTIFICACIÓN

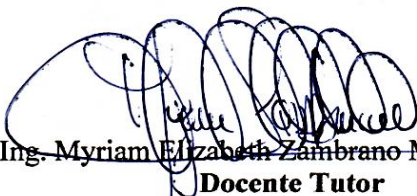
En calidad de docente tutor de la Extensión El Carmen de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, CERTIFICO:

Haber dirigido, revisado y aprobado preliminarmente el Trabajo de Integración Curricular bajo la autoría de la estudiante **Gema Julexy Zambano Murillo** legalmente matriculado en la carrera de Ingeniería Agropecuaria, período académico 2026 (1), cumpliendo el total de 384 horas, cuyo tema del proyecto es... **“Implementación de un medidor digital de humedad, para uso en cámara térmica”**

La presente investigación ha sido desarrollada en apego al cumplimiento de los requisitos académicos exigidos por el Reglamento de Régimen Académico y en concordancia con los lineamientos internos de la opción de titulación en mención, reuniendo y cumpliendo con los méritos académicos, científicos y formales, y la originalidad del mismo, requisitos suficientes para ser sometida a la evaluación del tribunal de titulación que designe la autoridad competente.

Particular que certifico para los fines consiguientes, salvo disposición de Ley en contrario.

El Carmen, 3 de agosto del 2026.


 Ing. Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, Mg.
Docente Tutor

Área: Agricultura, Silvicultura, Pesca y Veterinaria.

UNIVERSIDAD LAICA "ELOY ALFARO" DE MANABÍ
EXTENSIÓN EL CARMEN

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

TÍTULO:

**IMPLEMENTACIÓN DE UN MEDIDOR DIGITAL DE HUMEDAD, PARA USO EN
CÁMARA TÉRMICA**

AUTORA: Gema Julexy Zambano Murillo

TUTORA: Ing. Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, Mg.

**TRABAJO EXPERIMENTAL PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA AGROPECUARIA**

TRIBUNAL DE TITULACIÓN

MIEMBRO: Mg. Kleber Fernando Mejía Chanaluisa.



MIEMBRO: Mg. Nexar Vismar Cobeña Loor.



MIEMBRO: PhD. Jose Randy Cedeño Zambrano.



DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Yo, Gema Julexy Zambano Murillo, con cédula de ciudadanía 1313666503, estudiante de la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Extensión El Carmen de la Carrera Ingeniería Agropecuaria, declaro que soy autora de la tesis titulada “Implementación de un medidor digital de humedad, para uso en cámara térmica”, esta obra es original y no infringe derechos de propiedad intelectual. Asumo la responsabilidad total e su contenido y afirmo que los conceptos, ideas, textos y resultados que no son de mi autoría, están debidamente citados y referenciados.

Atentamente,

A handwritten signature in blue ink, reading "Gema Zambano", is written over a horizontal line.

Gema Julexy Zambano Murillo

CI: 1313666503

DEDICATORIA

Dedico este trabajo, en primer lugar, a Dios, por ser mi fortaleza, mi guía y mi refugio en cada etapa de este camino. Gracias por darme la sabiduría, la fe y la fuerza para superar cada desafío y permitirme alcanzar esta meta.

A mis dos hijos, quienes han sido el motor de mi vida y la mayor inspiración para no rendirme jamás; cada esfuerzo realizado ha sido pensando en brindarles un mejor futuro. A mi pareja, Pedro Moreira, por su amor, paciencia y apoyo incondicional durante este proceso, por creer en mí y acompañarme en cada paso hasta alcanzar este sueño.

Con especial cariño, dedico este logro a mi querido hermano, Franklin Zamora, cuya memoria fue mi fortaleza e inspiración para no rendirme. Tus palabras de aliento, tu confianza en mí y el apoyo que siempre me brindaste, incluso en los momentos más difíciles, hicieron posible este sueño. Esta tesis representa el cumplimiento de una promesa y un homenaje a tu vida. Aunque hoy no estés físicamente conmigo, sé que desde el cielo celebras este triunfo. Gracias por creer siempre en mí, este logro también te pertenece. Te llevaré por siempre en mi corazón.

A mi madre, Carmen Murillo, y a mi hermana, Diana Zambrano, por su amor incondicional, sus consejos, comprensión y apoyo constante. Gracias por creer siempre en mí y por ser un pilar fundamental para alcanzar esta meta.

Gema Julexy Zambano Murillo

AGRADECIMIENTO

La culminación de esta tesis ha sido posible gracias al apoyo de muchas personas que contribuyeron y me acompañaron durante este proceso, a quienes expreso mi más sincero agradecimiento.

En primer lugar, agradezco de manera especial a mi tutora, Myriam Elizabeth Zambrano Mendoza, por su excelente guía, dedicación, paciencia y compromiso a lo largo de este trabajo. Sus conocimientos, orientación y constante apoyo fueron fundamentales para el desarrollo y culminación de esta investigación.

Asimismo, expreso mi gratitud a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Extensión El Carmen, por brindarme la oportunidad de formarme profesionalmente y ofrecerme una educación de calidad.

Finalmente, agradezco a mi familia por su apoyo incondicional, comprensión y palabras de aliento durante todos estos años de formación.

A todos ustedes, mi más profundo agradecimiento.

Gema Julexy Zambano Murillo

TABLA DE CONTENIDO

PORTADA	I
CERTIFICACIÓN.....	¡Error! Marcador no definido.
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL	¡Error! Marcador no definido.
DECLARACIÓN DE AUTORÍA	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIA.....	V
AGRADECIMIENTO	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS	X
ÍNDICE DE ANEXOS	XI
RESUMEN	XII
ABSTRACT	XIII
CAPÍTULO I.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	3
1. MARCO TEORICO	3
1.1 Antecedentes investigativos	3
1.2 Marco teórico.....	5
1.2.1 Cultivo de rábano	5
1.2.2. Descripción botánica del rábano	6
1.2.3. Requerimientos del cultivo del rábano	8
1.2.4. Extracción de nutrientes del rábano.....	9
1.2.5. Producción de hortalizas en cámara térmica	10
1.2.6. Producción de hortalizas en umbráculo.....	11
CAPÍTULO II.....	13
2.1. Ubicación.....	13
2.2. Variable	13
2.3. Unidad experimental.....	13
2.4. Tratamientos	13
2.4.1. Características de las unidades experimentales	14
2.5. Análisis estadístico	14
2.6. Diseño experimental	14
2.7. Datos tomados	15

2.8. Manejo del ensayo	15
CAPÍTULO III	17
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES	17
3.1. Número de hojas.....	17
3.2. Diámetro de bulbo	18
3.3. Peso de bulbo.....	19
3.4. Porcentaje de Humedad	20
3.5. Correlación entre el porcentaje de humedad y las variables evaluadas.....	21
CAPÍTULO IV	23
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	23
4.1 Conclusiones.....	23
4.2 Recomendaciones	24
BIBLIOGRAFÍA	25
ANEXOS.....	30

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tratamientos evaluados en la investigación.	14
Tabla 2. Características de la unidad experimental.	14
Tabla 3. Esquema de diseño experimental empleado.	15
Tabla 4. Porcentaje de humedad ambiental relativa promedio, en el cantón El Carmen, en los meses de junio y julio donde se desarrolló el experimento.	20
Tabla 5. Porcentaje de humedad del suelo promedio, en el cantón El Carmen, en los meses de junio y julio donde se desarrolló el experimento.	20
Tabla 6. Correlación entre la humedad ambiental y el peso promedio del rábano por tratamiento, en el cantón El Carmen.	21
Tabla 7. Correlación entre la humedad del suelo y el peso promedio del rábano por tratamiento, en el cantón El Carmen.	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Promedio de número de hojas por tratamiento.	17
Figura 2. Promedio de diámetro de bulbo por tratamiento.....	18
Figura 3. Promedio de peso de bulbo por tratamiento.....	19

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Promedios diarios de Humedad ambiental (%) en los meses de junio y julio.	30
Anexo 2. Promedios diarios de Humedad del suelo (%) en los meses de junio y julio.	31
Anexo 3. Análisis de varianza de la variable número de hojas.	33
Anexo 4. Análisis de varianza de la variable diámetro de bulbo.	33
Anexo 5. Análisis de varianza de la variable peso de bulbo.	33
Anexo 6. Banco fotográfico del manejo del ensayo.....	34

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló con el objetivo de implementar un medidor digital de humedad para evaluar la influencia de la humedad en las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de rábano, para uso en cámara térmica, en la granja experimental Río Suma de la “Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí” extensión El Carmen, ubicada en la provincia de Manabí, Ecuador. Para ello se implementó un Diseño Completo al Azar DCA, donde se evaluaron tres tratamientos: T1 (Umbráculo), T2 (Campo abierto) y T3 (Cámara térmica). Las variables evaluadas fueron: diámetro de bulbo (mm), número de hojas, peso de fruto (g) y humedad relativa y del suelo. Los resultados demostraron que, en cámara térmica, la relación entre humedad y las variables de crecimiento y rendimiento del rábano es débil y negativa, pues presentó el desempeño más limitado en crecimiento foliar y en rendimiento (peso de bulbo). En umbráculo, la humedad del suelo no explica de manera directa el rendimiento del cultivo. En campo abierto, el rendimiento y crecimiento del rábano no dependieron de altos niveles de humedad del suelo. Al comparar los tres sistemas de cultivo se evidencia que la cámara térmica, que mantuvo el mayor nivel de humedad del suelo (46,04%), fue el tratamiento con menor rendimiento en las tres variables evaluadas, mientras que campo abierto, con la menor humedad del suelo (19,71%), obtuvo los mejores resultados en número de hojas y diámetro de bulbo. El umbráculo, con humedad intermedia (29,39%), igualó a campo abierto en peso de bulbo pese a presentar el menor diámetro.

Palabras clave: Humedad ambiental, Humedad del suelo, Correlación.

ABSTRACT

This research was conducted with the objective of implementing a digital moisture meter to evaluate the influence of humidity on the growth and yield variables of the radish crop (*Raphanus sativus* L.), for use in a thermal chamber, at the Río Suma experimental farm of the "Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí" El Carmen extension, located in the province of Manabí, Ecuador. To this end, a Completely Randomized Design (CRD) was implemented, in which three treatments were evaluated: T1 (Shade house), T2 (Open field), and T3 (Thermal chamber). The variables evaluated were: bulb diameter (mm), number of leaves, fruit weight (g), and relative humidity and soil moisture. The results showed that, in the thermal chamber, the relationship between humidity and the growth and yield variables of radish is weak and negative, as it presented the most limited performance in foliar growth and yield (bulb weight). In the shade house, soil moisture does not directly explain crop yield. In the open field, radish yield and growth did not depend on high levels of soil moisture. When comparing the three cropping systems, it is evident that the thermal chamber, which maintained the highest soil moisture level (46.04%), was the treatment with the lowest yield in the three variables evaluated, while the open field, with the lowest soil moisture (19.71%), obtained the best results in number of leaves and bulb diameter. The shade house, with intermediate moisture (29.39%), matched the open field in bulb weight despite having the smallest diameter.

Keywords: *Raphanus sativus*, Environmental humidity, Soil moisture, Correlation.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La creciente demanda de producción de vegetales a nivel global ha generado la necesidad de optimizar los recursos y encontrar alternativas sostenibles para la agricultura. (Oblitas, 2019) señala que esta situación responde al incremento acelerado de la población mundial, la cual se estima que alcance los 9 000 millones de habitantes para el año 2050, lo que representa un crecimiento del 50% desde el año 2007. Este escenario ha derivado en un elevado costo financiero y ambiental, caracterizado por el uso desmedido de fertilizantes sintéticos, lo que impulsa la búsqueda de opciones más viables y sostenibles para los cultivos.

En el contexto ecuatoriano, el cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) ha cobrado especial relevancia en los últimos años. Según investigaciones del INEC citadas por (Chavez, 2023), actualmente se siembran aproximadamente 14 455 hectáreas de este cultivo en el país, con una concentración significativa en las provincias del norte, tales como Imbabura, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo. Este incremento en la superficie cultivada refleja la importancia del rábano dentro de la producción hortícola nacional, lo que justifica la necesidad de estudiar las variables ambientales que inciden en su rendimiento.

En cultivos de ciclo corto como el rábano (*Raphanus sativus* L.), la germinación y el crecimiento inicial son etapas altamente sensibles a la disponibilidad de nutrientes y a las condiciones ambientales, lo cual convierte a esta especie en un indicador adecuado para evaluar el efecto de la humedad relativa sobre su desarrollo (Farías et al., 2025). En este sentido, la humedad tanto la del suelo como la del ambiente se constituye como el factor más crítico para este cultivo, cuyo ciclo vegetativo dura aproximadamente de 30 a 40 días, por lo que cualquier variación en este parámetro puede afectar significativamente su productividad.

Investigaciones previas han demostrado la influencia de la humedad en el crecimiento de diversas especies hortícolas. (May et al., 2011) evaluaron el efecto de

distintos niveles de humedad aprovechable en el crecimiento de plantas de *Capsicum chinense* Jacq., encontrando que la altura de las plantas fue significativamente mayor en el tratamiento con 60% de humedad aprovechable en comparación con el de 30%. Asimismo, el diámetro del tallo y la producción de biomasa seca presentaron valores superiores en el tratamiento con mayor humedad aprovechable, lo que evidencia la relevancia de controlar con precisión este factor para optimizar el desarrollo vegetal.

En este contexto, el presente trabajo tiene como propósito implementar un medidor digital de humedad para su uso en una cámara térmica, con el fin de monitorear y controlar de manera precisa la humedad relativa durante los ensayos de crecimiento del rábano. La integración de esta herramienta tecnológica permitirá generar datos objetivos y confiables que contribuyan a comprender mejor la relación entre la humedad ambiental y el desarrollo del cultivo, sentando así las bases para futuras investigaciones orientadas a la agricultura de precisión y al manejo sostenible de los recursos hídricos y ambientales.

Objetivos

Objetivo general

- Implementar un medidor digital de humedad para evaluar la influencia de la humedad en las variables de crecimiento y rendimiento del cultivo de rábano para uso en cámara térmica.

Objetivos específicos

- Determinar la relación de la humedad sobre variables de crecimiento y rendimiento del rábano en cámara térmica.
- Establecer la relación de humedad sobre variables de crecimiento y rendimiento del rábano en umbráculo.
- Definir la relación de humedad sobre variables de crecimiento y rendimiento del rábano en campo abierto.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEORICO

1.1 Antecedentes investigativos

Bustillos (2023), evaluó el rendimiento del cultivo de rábano (*Raphanus sativus*) frente a la aplicación de tres abonos orgánicos, para lo cual dispuso Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con cuatro tratamientos y tres repeticiones empleando el compost, el humus y el ácido húmico; sobre variables de crecimiento como son la altura de la planta, el ancho de hoja y el número de hojas y variables de producción. Los resultados demostraron que los ácidos húmicos provocaron una gran diferencia con los demás tratamientos dado que alcanzaron la mayor altura, con hojas más anchas mejorando el proceso metabólico de la planta, además de tener mayor número de hojas, así mismo obteniendo un bulbo superior a los demás abonos, con 145 g con follaje, 67,55 g sin follaje, 6,28cm de diámetro de bulbo.

Gheno et al. (2023), con el objetivo de conocer el efecto de dos abonos orgánicos en los cultivos de rábano y lechuga en condiciones de cielo abierto, evaluaron dos abonos orgánicos (sólido y líquido) en las dos hortalizas. Para ello emplearon un diseño completamente al azar evaluando tres tratamientos (testigo, sólido y líquido), cada uno con tres repeticiones. No se observaron diferencias estadísticas significativas en ninguna de las variables evaluadas, sin embargo, numéricamente en el rábano, el abono líquido observó mejores promedios en rendimiento fresco y seco de fruto, diámetro longitudinal y altura en la última fecha de muestreo con 4,869 kg ha⁻¹, 257,09 kg ha⁻¹, 3,38 cm y 28,05 cm, respectivamente, aduciendo que estos resultados son debido a que los ciclos de estos cultivos son cortos y la asimilación de nutrientes que se encuentran en los abonos requieren de ciclos prolongados para ser aprovechado por la planta.

Chugchilan y Quishpe (2024) con el objetivo de evaluar la producción y calidad del rábano mediante la aplicación de diferentes abonos orgánicos, utilizaron un diseño de bloques completamente al azar con 4 tratamientos y 5 repeticiones. El mejor tratamiento en las variables de crecimiento fue el humus de lombriz, en altura de planta obtuvo 17,84

cm, en número de hojas 6,76 por planta, diámetro del tubérculo 3,47 cm, peso 56,35 g, reportando una producción de 15 000 kg/ha, seguido por compost con 12 918 kg y turba con 12 029 kg con una rentabilidad del 78%.

Barreto, et al. (2024), con el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de enmiendas nutricionales sobre el desarrollo del cultivo de rábano, aplicaron un diseño completamente al azar con cinco tratamientos y cuatro repeticiones: T1) Testigo T2) Estiércol bovino T3) Humus de lombriz, T4) Estiércol de gallina y T5) NPK. Las variables evaluadas fueron; altura de la planta, diámetro de la raíz, rendimiento por hectárea y beneficio económico. Las plantas tratadas con gallinaza, NPK y bovina mostraron diferencia significativa entre tratamientos y presentaron mayor altura con 38,5cm, 36,4cm y 34,3cm, para el diámetro de raíz no presentaron diferencias significativas entre tratamientos; las parcelas tratadas con NPK y estiércol bovino presentaron mayores rendimientos, 20 460 kg/ha y 17 300 kg/ha, siendo iguales estadísticamente, sin embargo, las parcelas tratadas con humus de lombriz, gallinaza y estiércol bovino no presentaron diferencia con relación al testigo.

Mosquera et al. (2025) con el objetivo de evaluar bioinsumos en el cultivo de rábano (*Raphanus sativus*) para mejorar el crecimiento y rendimiento de esta hortaliza, llevaron a cabo varios tratamientos, que incluían diferentes dosis de compost, biol y microorganismos, aplicados en 10 parcelas experimentales, incluyendo un grupo testigo sin bioinsumos. Se registraron datos sobre la altura de las plantas, longitud y diámetro de las hojas, así como el peso y diámetro de los rábanos al momento de la cosecha. Los resultados revelaron que el tratamiento que combinaba 20 lb de compost, 500 ml de biol y 500 ml de microorganismos resultó ser el más efectivo, mostrando incrementos significativos en la altura, longitud y diámetro de las hojas. Además, el tratamiento número dos, con diferentes proporciones de bioinsumos, también mostró resultados favorables en términos de peso y diámetro del producto cosechado. En conclusión, la investigación destaca la viabilidad de los bioinsumos como alternativas sostenibles en la agricultura, promoviendo un crecimiento saludable de los rábanos y reduciendo la dependencia de productos químicos.

Farías et al. (2025) con el objetivo de determinar el efecto del fertilizante líquido casero de cáscara de plátano sobre la germinación y el crecimiento inicial del rábano

mediante un diseño completamente al azar con dos tratamientos: T0 (agua como testigo) y T1 (extracto líquido al 100%), emplearon veinte semillas distribuidas en dos grupos homogéneos, evaluándose porcentaje de germinación, altura de plántula y longitud de raíz durante 12 días. El extracto se obtuvo mediante maceración anaeróbica durante siete días. Los resultados mostraron que T1 incrementó la germinación en un 20% respecto al testigo, al tiempo que permitió un crecimiento significativamente mayor en altura y desarrollo radicular. Estos hallazgos evidencian que el fertilizante líquido de cáscara de plátano actúa como promotor de crecimiento en las etapas iniciales.

1.2 Marco teórico

1.2.1 Cultivo de rábano

El cultivo de rábano (*Raphanus sativus* L.) ha sido objeto de estudio en relación con diversas prácticas agronómicas que buscan optimizar su crecimiento y rendimiento. Una de las estrategias evaluadas es la aplicación de enmiendas orgánicas como el vermicompost y el vermiwash. Un estudio demostró que la combinación de vermicompost (1,5 kg por maceta) y vermiwash (1,5 L por maceta) aplicados al suelo produjo un incremento significativo en parámetros de crecimiento, incluyendo un aumento del 78,02% en la longitud del tallo, del 100,22% en el área foliar y del 74,96% en el rendimiento de tubérculos, en comparación con el grupo de control (Muthukannan, 2024). Además, esta combinación mejoró las propiedades fisicoquímicas del suelo y aumentó las concentraciones de glicina betaína, lo que sugiere un efecto beneficioso sobre el estrés hídrico de las plantas (Muthukannan, 2024).

Otra línea de investigación ha explorado el efecto del biochar de cáscara de arroz como enmienda del suelo. Los resultados indican que, aunque la aplicación de biochar por sí sola no influyó significativamente en el crecimiento del rábano a corto plazo, dosis de 10 y 25 t ha⁻¹ incrementaron el rendimiento de raíces en un 10% y 20%, respectivamente, en comparación con el control (Mon, 2024). El efecto más relevante se observó cuando el biochar se combinó con fertilizantes orgánicos e inorgánicos, ya que esta combinación mejoró la eficiencia en el uso del nitrógeno (NUE), la eficiencia de recuperación del fertilizante (REN) y la eficiencia agronómica (AE), además de retener el nitrógeno amoniacal en el suelo (Mon, 2024). Asimismo, la fertilización orgánica ha

mostrado ser una alternativa viable para reducir el uso de fertilizantes químicos. Un estudio que evaluó diferentes proporciones de reducción de fertilizante químico combinado con la aplicación de fertilizante orgánico (4500 kg ha⁻¹) encontró que una reducción del 20% del químico (T2) incrementó el rendimiento del rábano en un 12.92% y mejoró el contenido de vitamina C, azúcares solubles y sulforafano en las raíces (Jin, y otros, 2024). Este tratamiento también aumentó el contenido de nitrógeno y fósforo total en el suelo en un 7,69% y 14,29%, respectivamente, y mejoró la actividad de enzimas del suelo como la ureasa, sacarasa, fosfatasa alcalina y catalasa (Jin, y otros, 2024).

1.2.2. Descripción botánica del rábano

1.2.2.1. Raíz

La raíz del rábano es una raíz pivotante engrosada (*taproot*) que constituye el órgano de almacenamiento más importante de la planta (Kang et al., 2021). Este engrosamiento se produce por el crecimiento secundario impulsado por el cambium vascular, un proceso altamente complejo regulado por hormonas vegetales, factores de transcripción y diversas rutas metabólicas. La raíz de almacenamiento se forma a partir del engrosamiento del hipocótilo y la porción superior de la raíz (Meng et al., 2024). Morfológicamente, las raíces de rábano presentan una amplia diversidad fenotípica: varían en forma (pueden ser globosas, fusiformes, oblongas, alargadas, entre otras), sección longitudinal, longitud, diámetro, peso, textura de la superficie de la piel y color de la epidermis (blanco, rosa, rojo, negro, entre otros) [Kang et al., 2021; Kurina et al., 2021]. Esta variación morfológica es atribuible a la gran diversidad genética existente entre las diferentes accesiones y grupos ecológicos de la especie (Kurina et al., 2021). La raíz del rábano es rica en agua, carbohidratos, proteínas y metabolitos secundarios, lo que la convierte en un órgano sumidero de gran relevancia nutricional y económica (Kang et al., 2021).

1.2.2.2. Tallo

El tallo del rábano es erecto, puede ser simple o ramificado, y su altura varía entre 20 y 130 cm (The World Flora Online, 2026). Su superficie es generalmente glabra en la parte superior, pero puede presentar pelos rígidos (*hispida*) en la base (S. Castroviejo,

2025). En la etapa reproductiva, el tallo floral se alarga y produce inflorescencias en racimo. Esta estructura herbácea es típica de las especies de la familia Brassicaceae y es fundamental para el soporte de las hojas, flores y frutos durante el ciclo de vida de la planta.

1.2.2.3. Hojas

El rábano presenta hojas basales y hojas caulinares (del tallo) con marcadas diferencias morfológicas. Las hojas basales poseen un pecíolo de 1 a 30 cm de longitud; el limbo es de contorno oblongo, obovado, oblanceolado o espatulado, con dimensiones que varían de 2 a 60 cm de largo por 1 a 20 cm de ancho. La lámina foliar es lirada o pinnatisecta (dividida en segmentos laterales), aunque en ocasiones puede ser indivisa, con el margen dentado y el ápice obtuso o agudo. Presenta de 1 a 12 lóbulos laterales a cada lado del nervio medio, los cuales son de forma oblonga u ovada. Las hojas caulinares superiores son más simples, a menudo con un par de lóbulos basales o completamente indivisas, de forma orbicular a lanceolada y de menor tamaño (1 a 3 cm de largo). Esta variabilidad morfológica foliar es característica de la especie y ha sido documentada en diversas floras, incluyendo el estudio de diversidad genética, del cual se destaca la variación en el tamaño y la forma de la roseta y la lámina foliar entre diferentes accesiones (Kurina et al., 2021).

1.2.2.4. Flor

La inflorescencia del rábano es un racimo que puede alcanzar de 15 a 40 cm de longitud. Las flores son típicas de la familia Brassicaceae, con una estructura tetrámera. Los sépalos miden de 5.5 a 10 mm de largo por 1 a 2 mm de ancho, y pueden ser glabros o esparcidamente pubescentes. Los pétalos son generalmente de color púrpura o rosado, aunque también pueden ser blancos, y presentan venas frecuentemente más oscuras; sus dimensiones oscilan entre 15 y 25 mm de largo por 3 a 8 mm de ancho, con una uña de hasta 14 mm. El androceo está compuesto por seis estambres (tetradínamos: cuatro largos y dos cortos), con filamentos de 5 a 12 mm de longitud y anteras de 1.5 a 2 mm. Los pedicelos florales miden de 1 a 2 cm de largo y se engrosan en la fructificación.

Estudios de anatomía floral comparativa han señalado que *Raphanus*

sativus presenta características consideradas primitivas dentro de la familia, como el origen dependiente de los haces medianos de los sépalos a partir de la estela central (Mohamed et al., 2021).

1.2.2.5. Fruto

El fruto del rábano es una silicua, un tipo de fruto seco dehiscente característico de la familia Brassicaceae (Fu et al., 2022). La silicua del rábano se caracteriza por estar poco constreñida entre las semillas y presentar valvas esponjosas en la madurez (Yu et al., 2026).

En condiciones normales, la longitud de la silicua puede ser de aproximadamente 9 cm, aunque se han documentado mutantes con silicuas de hasta 20,5 cm de longitud. El fruto contiene un número variable de semillas; por ejemplo, se ha reportado que el tipo silvestre puede presentar alrededor de 4,5 óvulos por silicua, mientras que mutantes de silicua larga pueden alcanzar hasta 9,5 óvulos (Fu et al., 2022). La silicua es un órgano de gran importancia para la reproducción de la planta y para el mantenimiento de la biodiversidad, además de ser un carácter de interés en programas de mejoramiento genético orientados a incrementar el rendimiento de semilla. Los estudios transcriptómicos han comenzado a desvelar los mecanismos moleculares que regulan el desarrollo y la longitud de la silicua en rábano (Yu et al., 2026).

1.2.3. Requerimientos del cultivo del rábano

El rábano es un cultivo que se desarrolla en regiones de clima templado y presenta requerimientos edafoclimáticos específicos. Según Coello y Díaz (2022) el rábano se adapta a cualquier tipo de suelo, aunque prefiere suelos profundos, arcillosos y neutros, con un pH que debe oscilar entre 5,5 y 6,8, y no tolera la salinidad. En cuanto a la temperatura, el desarrollo vegetativo del cultivo se produce en un rango de 6 °C a 30 °C, siendo el óptimo entre 18 y 22 °C, mientras que la temperatura óptima para la germinación se sitúa entre 20 y 25 °C. En Ecuador, el cultivo de rábano se concentra en aproximadamente 14,455 hectáreas, principalmente en las provincias del norte como Imbabura, Tungurahua, Cotopaxi y Chimborazo.

La temperatura es un factor crítico que influye en la germinación y el crecimiento inicial del rábano. Un estudio de laboratorio evaluó la sensibilidad de seis cultivares de rábano a temperaturas constantes que oscilaron entre 20 °C y 41 °C, determinando que no se detectó germinación a 41 °C, mientras que la emergencia y el crecimiento de plántulas no se observaron a 38 °C o superiores (Kaya, 2023).

En relación con los requerimientos hídricos y nutricionales, investigaciones recientes han evaluado la eficiencia en el uso del agua (WUE) en genotipos de rábano forrajero sometidos a diferentes regímenes de riego. Ncisana et al. (2024), encontraron que el régimen hídrico afectó significativamente la WUE, con valores más altos (4.71 kg ha⁻¹ mm⁻¹) bajo estrés hídrico moderado. El rendimiento de tubérculos fue mayor en condiciones de riego óptimo y estrés moderado, con el genotipo ENDURANCE alcanzando 59 t ha⁻¹ y 48 t ha⁻¹, respectivamente (Ncisana, y otros, 2024). Sin embargo, el estrés hídrico moderado redujo la concentración de micronutrientes como hierro, zinc, β-caroteno y vitamina C.

Por otro lado, la fertilización combinada con biochar y nitrógeno ha mostrado efectos positivos en las características del suelo y el rendimiento del rábano (Pathak, et al., 2022). Asimismo, la aplicación de fertilizantes orgánicos combinada con una reducción de fertilizantes químicos ha demostrado ser una estrategia efectiva para mejorar el rendimiento y la calidad del rábano, al tiempo que optimiza el ambiente del suelo (Ji et al., 2024).

1.2.4. Extracción de nutrientes del rábano

La comprensión de los requerimientos nutricionales y la extracción de nutrientes por parte del cultivo de rábano es fundamental para diseñar estrategias de fertilización eficientes y sostenibles. Zhang et al. (2019), desarrollaron un estudio a gran escala utilizando el modelo QUEFTS (Quantitative Evaluation of the Fertility of Tropical Soils) para estimar los requerimientos de nutrientes del rábano en China, basándose en experimentos de campo realizados entre 2000 y 2017. El modelo simuló que los requerimientos balanceados de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) para producir 1000 kg de raíz carnosa son de 2.15, 0.45 y 2.58 kg, respectivamente.

En cuanto a la extracción o remoción de nutrientes por la raíz cosechada, el modelo estimó que para producir 1000 kg de raíz carnosa se remueven 1.34 kg de N, 0.30 kg de P y 1.93 kg de K, lo que representa aproximadamente el 62%, 67% y 75% del total de estos nutrientes absorbidos por la planta, respectivamente. Estos hallazgos resaltan la importancia de la raíz como el principal órgano de almacenamiento de nutrientes y, por lo tanto, el factor determinante en la extracción de nutrientes del suelo (Zhan et al., 2019).

Sakamoto et al. (2021), investigaron el efecto de la deficiencia de nutrientes en el crecimiento y la composición del rábano hidropónico, modificando el momento de la eliminación de nutrientes de la solución. Los resultados mostraron que las plantas que experimentaron deficiencia de nutrientes durante los primeros siete días de un período de 14 días (tratamiento WN) redujeron significativamente el crecimiento de la raíz pivotante. Por el contrario, las plantas que crecieron con nutrientes completos durante los primeros siete días y luego fueron sometidas a deficiencia durante los últimos siete días (tratamiento NW) presentaron un crecimiento de la raíz pivotante similar al de las plantas que recibieron nutrientes completos durante todo el período. Además, se observó que la deficiencia de nutrientes redujo el contenido de nitrato en las raíces, pero también disminuyó el contenido de fenoles totales y aumentó el de ácido ascórbico y azúcares.

1.2.5. Producción de hortalizas en cámara térmica

La producción de hortalizas en ambientes controlados, como las cámaras térmicas o sistemas de agricultura en ambiente controlado (CEA), ha ganado relevancia como una alternativa para garantizar la producción de alimentos frente a los desafíos del cambio climático y la limitación de tierras cultivables. Estos sistemas permiten un control preciso de factores como la temperatura, la humedad relativa y el dióxido de carbono, además de facilitar el suministro uniforme de nutrientes a los cultivos. Entre las técnicas de producción en ambiente controlado se incluyen la hidroponía, la aeroponía y la acuaponía, así como el uso de mezclas sin suelo, que ofrecen la ventaja de utilizar menos recursos como espacio, agua y pesticidas (Ampim et al., 2022).

Shadd (2025), demostró que los rábanos pueden cultivarse en un período de ocho semanas en un "agrotúnel" con sistemas de iluminación LED y paredes de cultivo optimizadas para el crecimiento de lechuga, evaluando el efecto de tres tratamientos de

luz (roja, blanca y espectro completo como control) sobre el crecimiento y rendimiento del rábano. Los rendimientos normalizados, ajustados por la energía total proporcionada por cada tratamiento, mostraron que ambos cultivares prefirieron la luz roja, y las hojas verdes cosechadas proporcionaron masas mayores que las raíces. Los resultados sugieren que la producción de hortalizas de raíz con emisiones netas de carbono cero durante todo el año es posible mediante sistemas de agricultura vertical alimentados con energía solar fotovoltaica.

La optimización del espectro lumínico es un factor clave en la producción en cámaras térmicas. Un estudio evaluó los efectos de diferentes espectros de luz en el crecimiento, las respuestas fisiológicas y la capacidad antioxidante de cinco variedades de rábano en un sistema de agricultura vertical interior. Los resultados mostraron que la combinación de luz roja y azul en una proporción de 3:1 (3R:1B) produjo el mayor crecimiento en diámetro de raíz, peso fresco y peso seco en todas las variedades evaluadas (Chutimanukul et al., 2024).

Además, la adición de luz verde a la combinación de rojo y azul mejoró la tasa fotosintética, mientras que la capacidad antioxidante dependió del espectro lumínico óptimo para cada variedad (Chutimanukul et al., 2024). Por otro lado, la modulación del déficit de presión de vapor (VPD) en el microambiente de la planta es otro factor que puede influir en la calidad de las hortalizas producidas en ambientes controlados. Un estudio realizado en lechuga demostró que un VPD alto (1.76 kPa) aumentó los niveles de fitoquímicos, especialmente en el cultivar rojo, lo que sugiere que el VPD alto puede actuar como un estrés leve para mejorar la calidad de los cultivos de hojas verdes (Amitrano et al., 2021).

1.2.6. Producción de hortalizas en umbráculo

El uso de mallas de sombra o umbráculos se ha consolidado como una tecnología eficaz para la producción de hortalizas en regiones con altas temperaturas y radiación solar intensa. Una revisión reciente sobre el tema concluye que las mallas de sombra modifican el microambiente al atenuar la radiación solar, reducir las temperaturas y la humedad relativa, y mejorar la disponibilidad de agua para las plantas. Estas modificaciones del microclima resultan en un aumento del crecimiento, rendimiento y

calidad de las hortalizas, además de reducir la incidencia de enfermedades y trastornos fisiológicos como el escaldado solar (Kabir et al., 2024).

Investigaciones específicas sobre el cultivo de hortalizas bajo umbráculo han demostrado resultados positivos en diferentes especies. Un estudio de caso en Australia Occidental evaluó el efecto de diferentes factores de sombra (11%, 21% y 30%) sobre el crecimiento y rendimiento de la berenjena, encontrando que las plantas crecieron más altas, más frondosas y produjeron un mayor rendimiento de frutos bajo sombra en comparación con el campo abierto, siendo la malla de 21% de sombra la más adecuada para el período de otoño a principios de primavera (Nguyen, 2022).

De manera similar, investigaciones recientes han evaluado el efecto del sombreado sobre el crecimiento y rendimiento de hortalizas en diferentes condiciones. Una revisión exhaustiva sobre el uso de mallas de sombra en la producción de hortalizas concluye que estas estructuras mejoran el microambiente del cultivo al reducir la temperatura y la radiación solar, aumentar la humedad relativa y optimizar la disponibilidad de agua para las plantas. Como resultado, se observa un aumento significativo en el crecimiento vegetativo, el rendimiento y la calidad de los productos cosechados, además de una reducción en la incidencia de enfermedades y trastornos fisiológicos como el escaldado solar (Kabir et al., 2024).

En el caso específico del rábano, un estudio reciente evaluó el efecto del sombreado de paneles solares con dos ángulos de inclinación (10° y 50°) sobre el crecimiento y la producción del cultivo durante invierno y primavera en Arequipa, Perú. Los resultados mostraron que el grupo expuesto a un ángulo de inclinación de 10° presentó un mejor crecimiento de las plantas, mayor área foliar y una mayor productividad tanto en invierno como en primavera. Además, se observó que este ángulo resultó en una menor pérdida de agua en comparación con el grupo de control y el grupo expuesto a 50°. El estudio monitoreó parámetros morfológicos como altura de planta, área foliar, masa del bulbo y longitud de raíz durante un período de 40 días, demostrando que el sombreado moderado puede ser beneficioso para la productividad del rábano (Rondán et al., 2023).

CAPÍTULO II

2.1. Ubicación

La implementación se llevó a cabo en la cámara térmica y umbráculo ubicado en la granja experimental Rio Suma perteneciente a la carrera de Ing. Agropecuaria de la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, misma que cuenta con la siguiente ubicación GPS: Latitud: 0°15' S y Longitud: 79°26' O.

2.2. Variable

Variable independiente

- Humedad

Variable dependiente

- Número de hojas
- Peso de rábano
- Diámetro de rábano

2.3. Unidad experimental

La unidad experimental estuvo conformada por seis parcelas de rábano, de las cuales dos estaban sembradas en un umbráculo, dos en cámara térmica y dos en campo abierto.

2.4. Tratamientos

Los tratamientos evaluados se detallan en la siguiente Tabla 1, en el cual se observa que corresponden a la evaluación del cultivo establecido en diferentes estructuras de construcción agrícola.

Tabla 1
Tratamientos evaluados en la investigación.

Simbología	Descripción
T1	Umbráculo
T2	Campo abierto
T3	Cámara térmica

2.4.1. Características de las unidades experimentales

Las dimensiones de las parcelas fueron de 5 x 1m; la distancia de siembra fueron de 15 x 15 cm, con una distancia entre camas de 1 m (Tabla 2).

Tabla 2
Características de la unidad experimental.

Característica	Cantidad
Ancho	1 m
Largo	5 m
Superficie del ensayo en cada estructura	49 m ²
Especie evaluada	Rábano

2.5. Análisis estadístico

Se aplicó un análisis de varianza, con el fin de detectar diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados; mismas que determinó la existencia de diferencias significativas con un nivel de significancia del 5%. Se realizó una correlación de Pearson entre la humedad ambiental y el peso del bulbo. El procesamiento de los datos se realizó con el uso del software Infostat.

2.6. Diseño experimental

Se empleó un Diseño Completo al Azar con diferente número de observaciones, en el cual se evaluó tres tratamientos (Tabla 3).

Tabla 3. Esquema de diseño experimental empleado.

F.V.	gl
Tratamiento	2
Error	77
Total	79

2.7. Datos tomados

Número de hojas: se determinó mediante conteo visual directo, considerando únicamente las hojas verdaderas completamente expandidas. Esta medición se realizó en intervalos de 15 días durante el ciclo del cultivo.

Peso del rábano: Se determinó extrayendo cuidadosamente la planta completa, lavándolos para eliminar residuos de sustrato, secando superficialmente con papel absorbente y separando el órgano de cosecha del follaje para su pesaje en balanza gramera.

Diámetro del rábano: Se midió en el punto medio del bulbo engrosado utilizando un calibre digital. Esta variable se registró al momento de la cosecha, para garantizar la validez estadística de los resultados.

2.8. Manejo del ensayo

La preparación del suelo constituyó el primer paso en los tres sistemas de cultivo, para ello en campo abierto, se realizó la eliminación de malezas y rastrojos. Se elaboró camas de tierra para la siembra, con suelo mullido y uniforme, al que se incorporó materia orgánica bien descompuesta (compost) a razón de 3 kg/m² para mejorar la estructura y la retención de humedad del suelo. Para el umbráculo y cámara térmica se empleó el mismo sustrato que fue desinfectado previamente con solarización para eliminar patógenos del suelo.

Se colocó caña guadua en los contornos de las camas para evitar el desplazamiento del sustrato. Se empleó semillas de rábano de la marca Alaska, la distancia de siembra fue de 10 cm entre planta y 15 cm entre hilera, colocando dos semillas por sitio de

siembra. A los 15 días de la siembra, se realizó el raleo. Se realizó la identificación de los tratamientos en las cañas que formaron parte de la estructura de la cama.

El control de maleza fue manual en cada tratamiento y mecánico al contorno de ellos, con el uso de machete. El riego se realizó de acuerdo a condiciones climáticas cada dos a tres días. Se aplicó el efluente de *Azolla anabaena* como biofertilizante a los 15 y 30 días desde la siembra. Paralelamente, se aplicó un aporque ligero en el campo abierto para cubrir la base de las plantas y favorecer el crecimiento de la raíz.

Se registró la humedad relativa ambiental, tomada de la estación meteorológica digital propiedad del Ing. Avellán durante dos meses y para la toma de humedad del suelo se empleó un equipo digital medidor de humedad, donde se insertó la sonda verticalmente en el suelo, asegurándose de que haga un buen contacto, a una profundidad mínima de 10 cm y se registró el valor reportado en la pantalla.

A la cosecha (40 días después de la siembra), se recolectó las plantas, lavando las raíces para eliminar los restos de sustrato o tierra y se eliminó el área foliar para poder registrar las variables dependientes descritas anteriormente.

CAPÍTULO III

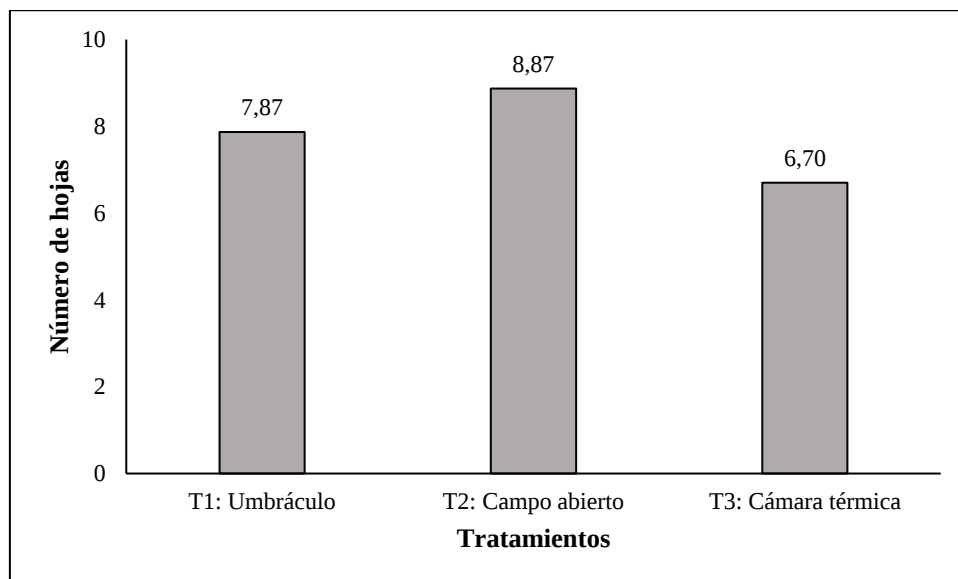
3. RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1. Número de hojas

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable número de hojas evidenció diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0,01$). Esto permite rechazar la hipótesis nula de igualdad de medias y confirmar que el ambiente de cultivo ejerció un efecto real sobre el número de hojas producidas por las plantas de rábano (*Raphanus sativus* L.).

En la Figura 1, se aprecia que, en cámara térmica, hay menor número de hojas, sugiere que el rango de humedad relativa monitoreado y controlado digitalmente en este sistema no favoreció de manera óptima la expansión foliar (6,70 hojas), posiblemente debido a la interacción entre humedad y temperatura elevada característica de ambientes cerrados con climatización.

Figura 1. Promedio de número de hojas por tratamiento.



En umbráculo, el comportamiento intermedio indica que la humedad relativa

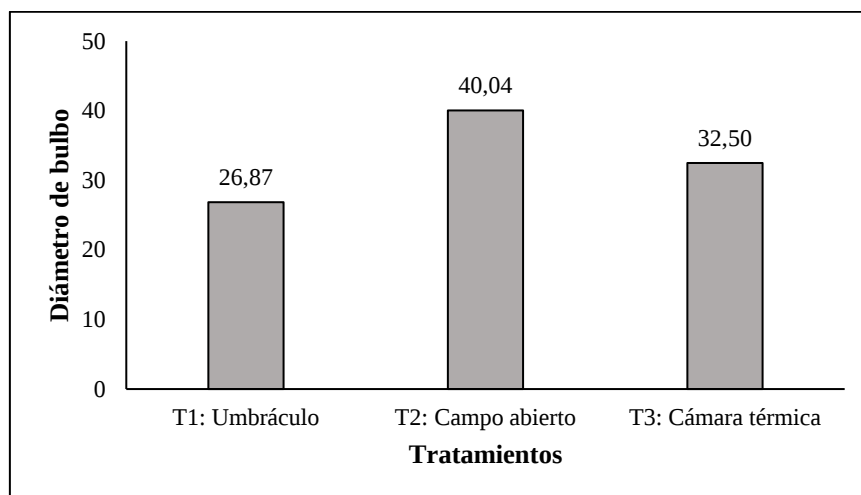
moderada, propia de un sistema semicontrolado con sombra y ventilación parcial, generó condiciones más favorables con 7,87 hojas. En campo abierto, el mayor número de hojas, estadísticamente diferenciado del resto, sugiere que la humedad ambiental natural sin restricciones artificiales favoreció de forma más eficiente el desarrollo foliar del rábano (8,87 hojas).

3.2. Diámetro de bulbo

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable diámetro de bulbo evidenció diferencias significativas entre los tratamientos evaluados (valor $p < 0,01$). Esto permite rechazar de manera contundente la hipótesis nula de igualdad de medias y confirmar que el ambiente de cultivo, y la humedad asociada a cada sistema, tuvo un efecto determinante sobre el desarrollo del bulbo de rábano (*Raphanus sativus* L.).

En la Figura 2, se aprecia que el diámetro de bulbo fue mayor en campo abierto (T2) siendo significativamente mayor al resto de tratamientos, superando en 13,17 mm (49%) al umbráculo y en 7,54 mm (23%) a la cámara térmica. Por su parte, cámara térmica (T3) y umbráculo (T1) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí, al compartir la misma letra ("b"), aunque numéricamente la cámara térmica superó al umbráculo en 5,63 mm (21%).

Figura 2. Promedio de diámetro de bulbo por tratamiento.

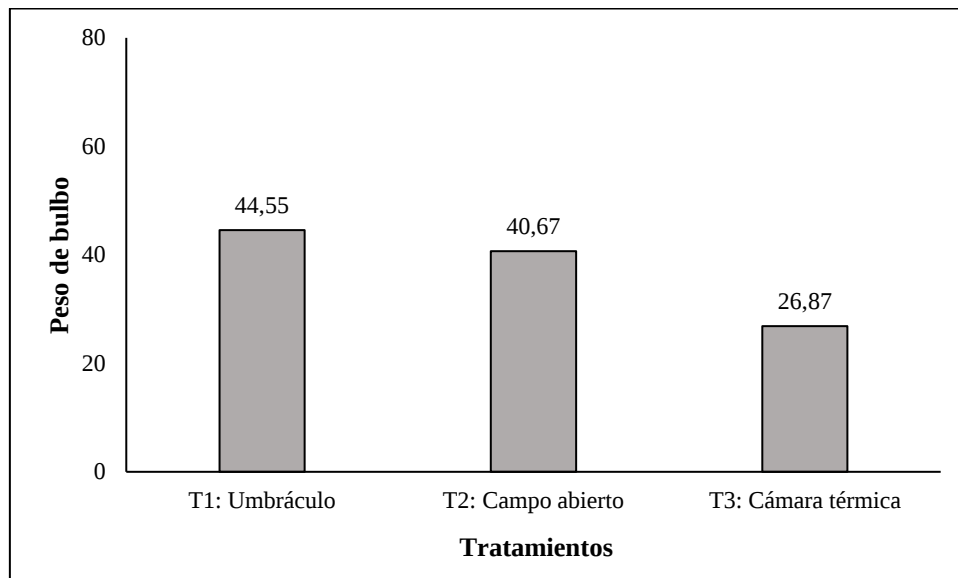


3.3. Peso de bulbo

El análisis de varianza (ANOVA) para la variable peso de bulbo evidenció diferencias significativas entre los tratamientos evaluados ($p < 0,01$). Esto permite rechazar de manera contundente la hipótesis nula de igualdad de medias, confirmando que el ambiente de cultivo y las condiciones de humedad asociadas ejercieron un efecto marcado sobre la acumulación de biomasa en el bulbo de rábano (*Raphanus sativus* L.).

En la Figura 3, se observa que, en el caso, umbráculo (T1) y campo abierto (T2) no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí (comparten la letra "a"), mientras que la cámara térmica (T3) se diferenció significativamente de ambos, con el menor peso de bulbo registrado en todo el estudio. La diferencia de cámara térmica frente a umbráculo fue de 17,68 g (39,7% menos), y frente a campo abierto de 13,80 g (33,9% menos).

Figura 3. Promedio de peso de bulbo por tratamiento.



3.4. Porcentaje de Humedad

En la Tabla 4, se presenta el porcentaje de humedad ambiental relativa promedio registrado en el cantón El Carmen durante los meses de junio y julio, período en el cual se desarrolló el experimento. Como se puede observar en la tabla, el mes de junio presentó una humedad relativa promedio de 75,02%, valor que caracteriza el inicio de la transición hacia la época seca en la zona. Por su parte, el mes de julio registró un promedio ligeramente superior de 75,30%, manteniéndose estable y dentro de un rango moderado, propio de un mes seco con escasas precipitaciones.

Tabla 4. *Porcentaje de humedad ambiental relativa promedio, en el cantón El Carmen, en los meses de junio y julio donde se desarrolló el experimento.*

Mes	Humedad Relativa Promedio	Descripción del período
Junio	75,02%	Este mes marca el inicio de la estación seca en la región, con una humedad que comienza a descender desde los valores más altos del primer semestre.
Julio	75,30%	La humedad se mantiene estable y en niveles moderados. Es un mes seco, con muy pocas precipitaciones, lo que contribuye a esta consistencia en la humedad relativa.

Los resultados muestran diferencias claras en la humedad del suelo entre los tres sistemas de cultivo evaluados. El umbráculo presentó la humedad promedio más alta con 46.04%, seguido por la cámara térmica con 29.39%, y finalmente el campo abierto con el valor más bajo de 19.71%. Estas diferencias responden directamente a las condiciones de protección que ofrece cada sistema: el umbráculo, al reducir la radiación solar directa y la evaporación, mantiene el suelo más húmedo de manera consistente; la cámara térmica, al ser un ambiente controlado, permite regular la humedad en un nivel intermedio; mientras que el campo abierto, al estar expuesto a la intemperie, pierde humedad más rápidamente por acción del sol y el viento.

Tabla 5. *Porcentaje de humedad del suelo promedio, en el cantón El Carmen, en los meses de junio y julio donde se desarrolló el experimento.*

Sistema	Promedio de humedad de suelo	Características de Humedad del suelo
---------	------------------------------	--------------------------------------

Campo Abierto	19,71%	El suelo está directamente expuesto a las condiciones climáticas. La humedad del suelo varió según las precipitaciones, la radiación solar y la evapotranspiración.
Cámara Térmica	46,04%	Al ser un ambiente cerrado y controlado, se pudo regular la humedad del suelo mediante riego, tratando de mantener condiciones de alta humedad ambiental para favorecer el desarrollo de las plantas.
Umbráculo	29,39%	Similar a la cámara térmica en cuanto a protección, pero el suelo está bajo una malla que reduce la radiación solar directa, lo que puede disminuir la evaporación del agua del suelo y mantener una humedad más estable.

3.5. Correlación entre el porcentaje de humedad y las variables evaluadas

La correlación se calculó utilizando el coeficiente de correlación de Pearson, que mide la relación lineal entre dos variables. Los valores oscilan entre -1 (correlación negativa perfecta) y +1 (correlación positiva perfecta). En todos los casos, los valores de correlación son cercanos a 0, lo que indica que la humedad relativa no explica de manera significativa la variación en el peso para ninguno de los tratamientos (Tabla 6). Esto sugiere que otros factores (como temperatura, tipo de suelo, riego o genética) podrían estar influyendo más en el peso que la humedad ambiental.

Tabla 6. Correlación entre la humedad ambiental y el peso promedio del rábano por tratamiento, en el cantón El Carmen.

Tratamiento	Correlación con Humedad Junio	Correlación con Humedad Julio	Interpretación
T1: Umbráculo	-0.18	-0.17	Correlación negativa débil
T2: Campo abierto	+0.13	+0.14	Correlación positiva débil
T3: Cámara térmica	-0.11	-0.10	Correlación negativa muy débil

En la Tabla 7, se aprecia que, en los tres sistemas, la correlación es cercana a 0, lo que indica que la humedad del suelo no influye de manera significativa en el peso del rábano en este experimento. Otros factores como la temperatura, nutrición del suelo, riego, genética o manejo del cultivo podrían estar influyendo más en el peso que la humedad del suelo.

Tabla 7. *Correlación entre la humedad del suelo y el peso promedio del rábano por tratamiento, en el cantón El Carmen.*

Sistema	n	r	r²	Interpretación
Campo Abierto	20	-0.09	0.0081	Prácticamente no hay relación lineal
Umbráculo	30	+0.01	0.0001	No existe relación lineal
Cámara Térmica	30	-0.15	0.0225	Relación negativa muy débil

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- En cámara térmica, la relación entre humedad y las variables de crecimiento y rendimiento del rábano es débil y negativo, a pesar de mantener el nivel de humedad edáfica más alto mediante control digital, este ambiente cerrado presentó el desempeño más limitado en crecimiento foliar y en rendimiento (peso de bulbo).
- En umbráculo, la humedad del suelo no explica de manera directa el rendimiento del cultivo; el buen desempeño en peso de bulbo observado en este ambiente parece estar más relacionado con la estabilidad microclimática que ofrece la malla de sombra (menor evapotranspiración y radiación solar directa).
- En campo abierto, el rendimiento y crecimiento del rábano no dependen de altos niveles de humedad del suelo; es decir que en un ambiente no confinado tuvieron mayor influencia sobre el desarrollo del cultivo que la humedad del suelo por sí sola.
- Al comparar los tres sistemas de cultivo se evidencia que la cámara térmica, que mantuvo el mayor nivel de humedad del suelo (46,04%), fue el tratamiento con menor rendimiento en las tres variables evaluadas, mientras que campo abierto, con la menor humedad del suelo (19,71%), obtuvo los mejores resultados en número de hojas y diámetro de bulbo. El umbráculo, con humedad intermedia (29,39%), igualó a campo abierto en peso de bulbo pese a presentar el menor diámetro.

4.2 Recomendaciones

- Se recomienda ajustar sus parámetros de control considerando de forma conjunta la humedad y la temperatura del ambiente, en lugar de regular la humedad como único criterio de manejo.
- Recalibrar el medidor digital de humedad para que no priorice únicamente mantener la humedad edáfica en niveles altos, ya que en este estudio dicho nivel elevado (46,04%) no se tradujo en mejor crecimiento ni rendimiento del rábano.
- Integrar un sensor de temperatura acoplado al sistema de control de humedad, de manera que el riego se regule en función de ambas variables (humedad y temperatura) y no de la humedad como criterio único, dado que la relación negativa encontrada ($r = -0,15$) sugiere una posible interacción con el calor propio del ambiente cerrado.
- Mejorar la ventilación de la cámara térmica (extractores, aberturas regulables o ciclos de aireación programados) para reducir la acumulación de calor y favorecer el intercambio gaseoso, factores que podrían estar limitando la expansión foliar y el llenado del bulbo.

BIBLIOGRAFÍA

- Amitrano, C., Roupael, Y., De Pascale, S., & De Micco, V. (2021). *Modulating Vapor Pressure Deficit in the Plant Micro-Environment May Enhance the Bioactive Value of Lettuce*. Obtenido de Horticulturae, 7(2), 32.: <https://www.mdpi.com/2311-7524/7/2/32>
- Ampim, A., Obeng, E., & Olvera, E. (2022). *Indoor Vegetable Production: An Alternative Approach to Increasing Cultivation*. Obtenido de Plants, 11(21), 2843.: <https://www.mdpi.com/2223-7747/11/21/2843>
- Barreto, S., Meza, W., Salinas, D., Recalde, S., Lesmo, C., & Velazquez, J. (2024). *Comportamiento Productivo de Rábano Raphanus Sativus L. con Aplicación de Enmiendas Orgánicas e Inorgánicas y su Beneficio Económico*. Obtenido de Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar. Vol 8(1):8654-8669: https://www.researchgate.net/publication/379501585_Comportamiento_Productivo_de_Rabano_Raphanus_Sativus_L_con_Aplicacion_de_Enmiendas_Organicas_e_Inorganicas_y_su_Beneficio_Economico
- Bustillos, J. (2023). *Evaluación de tres abonos orgánicos en la producción del cultivo de rábano (Raphanus sativus), en la parroquia Francisco de Orellana*. Obtenido de Tesis. Ing. Agro. Escuela Superior Politécnica del Chimborazo: <https://dspace.esPOCH.edu.ec:8080/server/api/core/bitstreams/73c228c5-27a9-42ad-a96b-2972892ede69/content>
- Chavez, L. (2023). *Manejo agronómico del cultivo de rábano (Raphanus sativus L.) orgánico, en el Ecuador*. Obtenido de Exámen Complexivo. Ing. Agro. Universidad Técnica de Babahoyo: <https://dspace.utb.edu.ec/items/3f5cf0f1-f29a-43c1-a1e6-406f21b88754>
- Chugchilan, B., & Quishpe, J. (2024). *Evaluación de la producción y calidad de rábano (Raphanus sativus) con la aplicación de diferentes abonos orgánicos*. Obtenido de Tesis. Ing. Agr. Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC): <https://repositorio.utc.edu.ec/items/3a8a09fc-712f-4dfc-bda5-18837f05a96c>
- Chutimanukul, P., Piew, P., Dangsamer, T., Thongtip, A., Janta, S., Wanichananan, P., . . . Chutimanukul, P. (2024). *Effects of Light Spectra on Growth, Physiological Responses, and Antioxidant Capacity in Five Radish Varieties in an Indoor Vertical Farming System*. Obtenido de Horticulturae, 10(10), 1059.:

- <https://www.mdpi.com/2311-7524/10/10/1059>
- Coello, B., & Díaz, O. (2022). *Identificar las principales enfermedades del cultivo de rábano (Raphanus sativus)*. Obtenido de FAO AGRIS: <https://agris.fao.org/search/es/records/674896337625988a371e2171>
- Farías, M., Alvarado, K., Flores, E., & Valiente, G. (2025). *Efecto del fertilizante líquido casero de cáscara de plátano sobre la germinación y crecimiento inicial del rábano*. Obtenido de Polo del Conocimiento. Revista Científico-Académica Multidisciplinaria. Vol 10, No 12.: <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/10978>
- Fu, J., Yu, X., Li, Z., Jin, D., Zhu, J., Zhu, Y., . . . Li, S. (Septiembre de 2022). *Characteristics of a radish mutant with longer siliques*. Obtenido de Journal Springenature, Vol. 69. p2709–2718: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10722-022-01473-9>
- Ghenó, Y., Navarro, A., Zilli, N., Pérez, A., & López, L. (2023). *Producción orgánica de Rábano (Raphanus sativus L.) y Lechuga (Lactuca sativa L.)*. Obtenido de Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan, 11(1), 131-142.: <https://revistabioagro.mx/index.php/revista/article/view/468>
- Guangasig, A. (2022). *Evaluación del efecto de temperatura en el cultivo de hortalizas Lechuga crespa (Lactuca sativa), Papa nabo (Brassica rapa), Nabo (Brassica napus), Bajo cubierta plástica y campo abierto en el campus CEASA, cantón Latacunga, provincia de Cotopaxi, 2021-202*. Obtenido de Tesis Ing. Agr. Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC): <https://repositorio.utc.edu.ec/items/5371d3f4-4822-47f1-966f-2eb45d55eb27>
- Jin, D., Lu, Z., Song, X., Ahammed, G., Yan, Y., & Chen, S. (2024). *Improvement of Yield and Quality Properties of Radish by the Organic Fertilizer Application Combined with the Reduction of Chemical Fertilizer*. Obtenido de Agronomy, 14(8), 1847.: <https://www.mdpi.com/2073-4395/14/8/1847>
- Kabir, Y., Nambeesan, S., & Díaz, J. (2024). *Shade nets improve vegetable performance*. Obtenido de Volume 334, 113326: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304423824004837>
- Kang, J., Kim, J., Lee, S., Won, S., M., S., & Kwon, S. (Octubre de 2021). *Analysis of Phenotypic Characteristics and Sucrose Metabolism in the Roots of Raphanus sativus L.* Obtenido de Frontiers in Plant Science, Volumen 12: <https://www.frontiersin.org/journals/plant->

- science/articles/10.3389/fpls.2021.716782/full
- Kaya, G. (2023). *The sensitivity of radish cultivars to high temperatures during germination and seedling growth stages*. Obtenido de International Journal of Agriculture Environment and Food Sciences, 7(2), 298-304.: <https://dergipark.org.tr/en/pub/jaefs/article/1243004>
- Kurina, A., Kurnyukhim, D., Solovyeva, A., & Artemyeva, A. (Agosto de 2021). *Genetic Diversity of Phenotypic and Biochemical Traits in VIR Radish (Raphanus sativus L.) Germplasm Collection*. Obtenido de MDPI: <https://www.mdpi.com/2223-7747/10/9/1799>
- May, C., Pérez, A., Ruiz, E., Ic-Caamal, A., & García, A. (2011). *Efecto de niveles de humedad en el crecimiento y potencial hídrico de Capsicum chinense Jacq. Y su relación con el desarrollo de Bemisia tabaci Genn*. Obtenido de Trop. subtrop. agroecosyt vol.14 no.3 : https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-04622011000300032
- Meng, G., Yong, M., Zhang, Z., Zhang, Y., Wang, Y., Xiong, A., & Su, X. (Septiembre de 2024). *Exogenous gibberellin suppressed taproot secondary thickening by inhibiting the formation and maintenance of vascular cambium in radish (Raphanus sativus L.)*. Obtenido de Frontiers in Plant Science, Volumen 15: <https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2024.1395999/full>
- Mohamed, E., Tantawy, M., Husein, M., Mourad, U., & Abdel, H. (Octubre de 2021). *Comparative floral anatomy of some species of Brassicaceae and its taxonomic significance*. Obtenido de BioOne, Adansonia, 43(20):223-234: <https://bioone.org/journals/adansonia/volume-43/issue-20/adansonia2021v43a20/Comparative-floral-anatomy-of-some-species-of-Brassicaceae-and-its/10.5252/adansonia2021v43a20.short>
- Mon, W. W. (2024). *Short-Term Effect of the Combined Application of Rice Husk Biochar and Organic and Inorganic Fertilizers on Radish Growth and Nitrogen Use Efficiency*. Obtenido de Plants, 13(17), 2376.: <https://www.mdpi.com/2223-7747/13/17/2376>
- Mosquera, J., Muñoz, A., Guano, D., Mena, E., & Gómez, K. (2025). *Efectos de diferentes dosis de bio-insumos en el cultivo de rábano (Raphanus sativus)*. Obtenido de Revista Reincisol. Vol. 4(7), 1787–1812:

- <https://www.reincisol.com/ojs/index.php/reincisol/article/view/677>
- Muthukannan, r. J. (Julio de 2024). *Comparative growth analysis of Raphanus sativus L. (Radish): effects of vermiwash and vermicompost applications on plant development*. Obtenido de SPRINGER NATURE, Volumen 4, número 64 : <https://link.springer.com/article/10.1007/s44187-024-00101-y>
- Ncisana, L., Nyathi, M., Mkhize, N., Mabhaudhi, T., Tjelele, T., Mbambalala, L., & Modi, A. (2024). *Water use efficiency (WUE) and nutrient concentration of selected fodder radish (Raphanus sativus L.) genotypes for sustainable diets*. Obtenido de Scientific Reports, 14 (1), 31315.: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-82727-7>
- Nguyen, G. N. (2022). *Effects of Shade Nets on Microclimatic Conditions, Growth, Fruit Yield, and Quality of Eggplant (Solanum melongena L.): A Case Study in Carnarvon, Western Australia*. Obtenido de Horticulturae, 8(8), 696.: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/8/696>
- Oblitas, M. (2019). *Aplicación de biol en cultivos de rábano (Raphanus Sativus)*. Obtenido de Tesis. Universidad Peruana Unión: https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UEPU_185ace577652a0717407a9d70dc1fe06
- Pathak, R., Kandel, A., Dahal, S., & Mahatara, S. (2022). *Effect of biochar and nitrogen on soil characteristics, growth and yield of radish (Raphanus sativus L.) at Paklihawa, Rupandehi condition of Nepal*. Obtenido de Archives of Agriculture and Environmental Science. Vol. 7(2):150-155.: https://www.researchgate.net/publication/361574648_Effect_of_biochar_and_nitrogen_on_soil_characteristics_growth_and_yield_of_radish_Raphanus_sativus_L_at_Paklihawa_Rupandehi_condition_of_Nepal
- Rondán, G., F. E., Delgado, E., & Velarde, E. (2023). *Evaluation of radish (Raphanus sativus L.) crop productivity under shading in an agrovoltaic system in two seasons of the year in Arequipa, Perú - 2023*. Obtenido de International Conference on Electrical, Communication and Computer Engineering (ICECCE), pp. 1-7: <https://ieeexplore.ieee.org/document/10442298>
- S. Castroviejo, C. A. (Marzo de 2025). *Raphanus sativus, L.* Obtenido de TreatmentBank, Vol. IV: pp. 28-625:438-439: <https://treatment.plazi.org/GgServer/xhtml/C8569B4021BBDFC5D19277A1FD59FDB4>

- Sakamoto, M., Komatsu, Y., & Suzuki, T. (2021). *Nutrient Deficiency Affects the Growth and Nitrate Concentration of Hydroponic Radish*. *Obtenido de Horticulturae*, 7(12), 525.: <https://www.mdpi.com/2311-7524/7/12/525>
- Shadd, A. A. (2025). *Effects of Spectral Ranges on Growth and Yield in Vertical Hydroponic–Aeroponic Hybrid Grow Systems for Radishes and Turnips*. *Obtenido de Foods*, 14(11), 1872.: <https://www.mdpi.com/2304-8158/14/11/1872>
- The World Flora Online. (Julio de 2026). *Raphanus sativus var. sativus* . *Obtenido de The World Flora Online*: <https://www.worldfloraonline.org/taxon/wfo-0001218456>
- Yu, X., Zhu, Y., Guan, Z., & Li, S. (Marzo de 2026). *Transcriptome profiling of silique lncRNAs reveals novel insights into silique length in radish (Raphanus sativus L.)*. *Obtenido de Turkish Journal of Botany*, Vol. 50, No 2: <https://journals.tubitak.gov.tr/botany/vol50/iss2/4/>
- Zhang, J., He, P., Ding, W., Xu, X., Ullah, S., Abbas, T., . . . Zhou, W. (2019). *Estimating nutrient uptake requirements for radish in China based on QUEFTS model*. *Obtenido de Scientific Reports*. Vol. 9, N° 11663.: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-48149-6>

ANEXOS

Anexo 1. Promedios diarios de Humedad ambiental (%) en los meses de junio y julio.

Día/ juio	Humedad (%)	Día	Humedad (%)	Día	Humedad (%)
1	76	11	72	21	77
2	74	12	75	22	73
3	78	13	71	23	76
4	72	14	77	24	74
5	75	15	73	25	78
6	80	16	76	26	72
7	71	17	74	27	75
8	77	18	79	28	73
9	73	19	70	29	77
10	76	20	75	30	74

Día/julio	Humedad (%)	Día	Humedad (%)	Día	Humedad (%)
1	76	11	74	21	75
2	73	12	78	22	72
3	77	13	72	23	77
4	71	14	76	24	74
5	75	15	73	25	79
6	79	16	77	26	71
7	72	17	75	27	76
8	76	18	80	28	73
9	74	19	71	29	78
10	78	20	76	30	74

Anexo 2. Promedios diarios de Humedad del suelo (%) en los meses de junio y julio.

Día / junio	Campo Abierto	Umbráculo	Cámara Térmica
1	18,5	45,1	28,5
2	20,3	46,8	30,2
3	15,7	44,5	26,8
4	22,1	47,2	32,5
5	16,4	44,8	27,4
6	24,5	46,5	31,8
7	14,2	45,6	25,8
8	21,8	47,1	29,6
9	17,9	44,9	28,1
10	23,2	46,2	33,2
11	15,3	45,8	26,4
12	19,8	47,3	30,8
13	22,6	44,4	27,9
14	16,8	45,9	29,4
15	25,1	47	32,1
16	14,8	46,1	25,4
17	20,7	44,7	31,2
18	23,8	47,4	28,7
19	17,2	45,3	26,9
20	21,5	46,7	33,8

Día/julio	Campo Abierto	Umbráculo	Cámara Térmica
1	17,8	46,2	29,8
2	21,4	44,8	31,4
3	15,2	47,1	26,2
4	23,7	45,6	33,1
5	16,9	46,8	27,8
6	25,3	44,5	32,2
7	14,7	47,3	25,3
8	22,4	45,9	30,7
9	18,3	46,4	28,6
10	24,1	44,7	33,7
11	15,8	47,2	26,9
12	20,2	45,8	31,1
13	23	46,6	28,4

14	17,1	44,9	29,7
15	25,6	47,4	32,6
16	14,9	45,3	25,7
17	21,1	46,9	30,3
18	24,3	44,6	27,5
19	16,5	47	33,5
20	22,9	45,7	29,2
21	18,7	46,3	28,9
22	20,8	44,4	31,9
23	15,4	47,5	26,4
24	23,9	45,9	30,9
25	17,4	46,7	27,2
26	26,1	44,8	33,9
27	14,3	47,2	25,9
28	21,9	45,4	31,7
29	19,6	46,5	29,4
30	16,3	44,9	28,1

Anexo 3. Análisis de varianza de la variable número de hojas.

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Tratamiento	56,67	2	28,33	5,36	0,0066
Error	407,13	77	5,29		
Total	463,8	79			

Anexo 4. Análisis de varianza de la variable diámetro de bulbo.

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Tratamiento	2617,16	2	1308,58	16,17	<0,0001
Error	6232,8	77	80,95		
Total	8849,96	79			

Anexo 5. Análisis de varianza de la variable peso de bulbo.

F.V.	SC	gl	CM	F	Valor p
Tratamiento	4599,08	2	2299,54	22,70	<0,0001
Error	7800,86	77	101,31		
Total	12399,94	79			

Anexo 6. Banco fotográfico del manejo del ensayo.



Medición para
elaboración de camas



Preparación de sustrato



Nivelación de camas previo a la siembra



Siembra de rábano en cámara térmica, umbráculo y
campo abierto



Aporque de plantas de
rábano



Cosecha y pesaje de rábanos a la cosecha



Medición de diámetro de bulbo a la cosecha



Medición de Humedad del
suelo digital



Estado del cultivo en campo abierto, cámara térmica y umbráculo

Tesis Gema 1 (1)

ID : 8f6075c376200900de22477e29bc9ed33730e078

5%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : Tesis Gema 1 (1).txt
Tamaño del archivo original : 4,33 MB
Número de palabras : 10.166

Depositante : Myriam Zambrano Mendoza
Fecha de depósito : 5 de agosto de 2026.
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 5 de agosto de 2026

Resumen (sección 1/2)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.

11%



Detección de IA

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.

Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.

5%



Idiomas no reconocidos

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.
Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.

0%

No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

<1%