

**UNIVERSIDAD AMAZÓNICA DE PANDO**

**UNIDAD ACADÉMICA EL SENA**

**PROGRAMA: LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGROFORESTAL**



**TESIS DE GRADO**

**"EVALUACIÓN DE LA ADAPTABILIDAD DEL CILANTRO (*Coriandrum Sativum*) EN UN SISTEMA HIDROPÓNICO VERTICAL BAJO LAS CONDICIONES CLIMATICAS EN LA LOCALIDAD EL SENA DEL DEPARTAMENTO PANDO"**

**Modalidad Tesis de grado**

**Presentado por:**

**Univ. Rubi Luz Uria Abelo**

**Para optar el Título de Ingeniería Agroforestal**

**Tutor: Lic. Noel Jesús Cuevo Calzadilla**

**El Sena - Pando – Bolivia**

**2025**

## **Dedicatoria**

Al culminar una etapa académica en mi vida quiero dedicar esta tesis a Dios cuyo apoyo constante ha hecho que todas mis metas y anhelos sean cumplidos.

A mis padres por inculcarme buenos valores más preciados de la vida y orientarme con su experiencia por el camino del bien hasta conseguir y llegar a una de las cimas de mi formación académica.

## **Agradecimiento**

Agradecemos infinitamente a Dios nuestro señor Jesucristo por darnos la vida, salud y sabiduría necesaria para culminar una etapa más de nuestra formación profesional.

A mis padres y hermanos por haberme brindado su apoyo moral y económico, siendo los pilares fundamentales para lograr nuestras metas propuestas.

A los docentes que nos impartieron clases a lo largo de nuestra carrera.

## INDICE

### CAPITULO I

#### GENERALIDADES

1.1. Introducción.....	1
1.2. Planteamiento de Problema .....	2
1.2.1. Descripción del Problema.....	2
1.2.2. Formulación del Problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo General .....	4
1.3.2. Objetivos Específicos.....	4
1.4. Justificación.....	4
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis nula ( $H_0$ ):.....	6
1.5.2. Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):.....	6

### CAPÍTULO II

#### SUSTENTACIÓN TEÓRICO

2.1. Revisión Bibliográfica.....	8
2.1.1. Origen del Cilantro.....	8
2.1.2. Taxonomía y Morfología .....	9
2.1.3. Siembra.....	11

2.1.4. Riego .....	11
2.1.5. Condiciones para el Crecimiento .....	11
2.1.6. Propiedades y sus Usos .....	11
2.1.7. Conservación de la Semilla .....	12
2.1.8. Cultivo Sin Suelo .....	13
2.1.9. Origen de la Hidroponía.....	13
2.1.10. Técnicas Hidropónicas .....	16
2.1.11. Importancia de la Hidroponía.....	17
2.1.12. Tipos de Hidroponía.....	18

### **CAPÍTULO III**

#### **MARCO METODOLÓGICO**

3.1. Tipo de Investigación .....	24
3.3. Métodos de la Investigación .....	24
3.4. Población y Muestreo .....	25
3.4.1. Población.....	25
3.4.2. Muestreo.....	25
3.5. Técnicas e Instrumento de la investigación.....	26
3.5.1. Técnicas de la Investigación .....	26
a) Observación directa estructurada: .....	26
3.5.2. Instrumentos de la Investigación.....	26

3.6. Referencia Geográfica .....	27
3.6.1. Extensión Superficial .....	28
3.6.2. Límites.....	29
3.6.3. Clima .....	29
3.6.4. Temperaturas.....	31
3.6.5. Precipitaciones Pluviales.....	31
3.6.6. Riesgos Climáticos.....	32
3.6.7. Aire.....	32
3.6.8. Ubicación del Área Experimental .....	33
3.7. Diseño del Módulo de Experimento.....	34
3.7.1. Adecuación del Modulo .....	34
3.8. Descripción del Material de Requerimiento.....	35
3.8.1. Material de Gabinete .....	35
3.8.2. Herramientas .....	36
3.8.3. Equipo y Maquinaria.....	37
3.8.4. Material de Limpieza y Desinfección .....	38
3.8.5. Sustrato.....	38
3.9. Detalle del Trabajo de Investigación.....	39
3.9.1. Metodología de la Investigación .....	39
3.9.2. Limpieza del Área Experimental.....	39

3.9.3. Armado de vivero.....	39
3.9.4. Armado del sistema hidropónico vertical.....	39
3.9.5. Obtención de la Semilla .....	40
3.9.6. Siembra de la Semilla de Cilantro.....	40
3.9.7. Traslado de los plantines al sistema hidropónico vertical.....	40
3.9.8. Proceso de Implementación de Nutrientes .....	40
3.9.9. Culminación del Trabajo de Investigación.....	40
3.10. Plan de Procesamiento de la Información .....	41
3.10.1. Variables a evaluar .....	41

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS DE LA INVESTIGACION**

4.1. RESULTADOS .....	43
4.1.1. Altura de la planta (cm).....	43
4.1.2. Numero de Hojas.....	44
4.1.3. Longitud de la raíz cm.....	46
4.1.4. Rendimiento en gramos.....	47
4.2. DISCUSIÓN .....	49

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

5.1. Conclusiones.....	53
4.2. Recomendaciones .....	54
BIBLIOGRAFIA .....	56
ANEXOS.....	57

## Índice de Figuras

<b>Figura 1:</b> (Plan Territorial de Desarrollo el Sena, 2021:17).....	28
<b>Figura 2:</b> Temperatura de la gestión 2024 -Sena pando.....	31
<b>Figura 3:</b> Ubicación de la casa hidropónica el edén.....	33
<b>Figura 4:</b> Diseño experimental .....	34
<b>Figura 5:</b> Altura de la planta:.....	44
<b>Figura 6:</b> Numero de Hojas: .....	46
<b>Figura 7:</b> Longitud de la raíz.....	47
<b>Figura 8:</b> Rendimiento en gramos .....	49

## Índice de Tabla

<b>Tabla 1:</b> Taxonomía.....	9
<b>Tabla 2:</b> Relación de superficie territorial.....	28
<b>Tabla 3:</b> Lineamiento experimental.....	35
<b>Tabla 4:</b> Material de Gabinete.....	35
<b>Tabla 5:</b> Herramientas de campo.....	36
<b>Tabla 6:</b> Equipo y maquinaria.....	37
<b>Tabla 7:</b> Material de Limpieza y Desinfección.....	38
<b>Tabla 8:</b> Sustratos.....	38
<b>Tabla 9:</b> Altura de la planta.....	44
<b>Tabla 10:</b> Numero de Hojas.....	45
<b>Tabla 11:</b> Longitud de la raíz.....	47
<b>Tabla 12:</b> Rendimiento en gramos.....	48

## Resumen

La presente investigación titulada “Evaluación de la adaptabilidad del cilantro (*Coriandrum sativum*) en condiciones climáticas del departamento de Pando mediante un sistema hidropónico vertical”, fue desarrollada en la casa hidropónica "El Edén", ubicada en el municipio El Sena – Pando, durante la gestión 2024. El objetivo principal fue evaluar el comportamiento agronómico del cilantro en un sistema hidropónico vertical, considerando las condiciones climáticas tropicales de la región.

En el Capítulo I, se presentan las generalidades del estudio. Se expone la importancia del cilantro como planta de valor culinario y medicinal, y se justifica su evaluación en un sistema de producción alternativo como la hidroponía. Se formula el problema de investigación, se definen los objetivos generales y específicos, y se establece la hipótesis que orienta el estudio. La justificación destaca la necesidad de introducir tecnologías agrícolas sostenibles en regiones con limitaciones de suelo como Pando.

El Capítulo II aborda la fundamentación teórica. Incluye una completa revisión bibliográfica sobre el origen, morfología, taxonomía, usos y propiedades del cilantro, así como los principios fundamentales de la hidroponía, los tipos de sistemas hidropónicos (NFT, raíz flotante, aeroponía, etc.), y sus ventajas y desventajas. También se describe el contexto agroclimático del municipio de El Sena, caracterizado por un clima tropical húmedo, altas precipitaciones y temperaturas cálidas, aspectos fundamentales para el análisis de adaptabilidad del cultivo.

En el Capítulo III, se describe el marco metodológico. Se define que la investigación es de tipo experimental, con enfoque cuantitativo y método inductivo. La población estuvo conformada por 200 plantas de cilantro y la muestra fue del 20 %, equivalente a

40 plantas seleccionadas aleatoriamente. Se utilizaron técnicas como la observación directa estructurada y la medición, y se emplearon instrumentos como fichas de observación, reglas milimetradas y balanza digital. También se detalla la ubicación geográfica, el diseño del módulo experimental, los materiales utilizados, y las etapas de implementación del sistema hidropónico vertical y siembra.

El Capítulo IV presenta los resultados obtenidos. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para cada variable evaluada. En cuanto a altura de planta, se observó un crecimiento de 5 cm a los 15 días, 11 cm a los 30 días y 15 cm a los 45 días. Para el número de hojas, se registraron 6 hojas a los 15 días, 10 a los 30 días y 16 a los 45 días. La longitud de la raíz alcanzó 3 cm, 5 cm y 8 cm en los mismos períodos. Finalmente, el rendimiento promedio fue de 1.920 gramos por planta a los 45 días, lo que evidencia un buen desempeño productivo en el sistema hidropónico vertical.

En el Capítulo V, se desarrolla la discusión de los resultados. Los datos obtenidos fueron comparados con estudios previos, confirmando que la hidroponía proporciona condiciones óptimas para el desarrollo del cilantro. Se destaca el rol del sistema en la nutrición eficiente, control de variables ambientales y crecimiento saludable del cultivo. Se valida que el sistema vertical permite una producción intensiva y eficiente, adaptada al contexto tropical del norte amazónico boliviano.

El Capítulo VI expone las conclusiones y recomendaciones. Se concluye que el sistema hidropónico vertical favorece el crecimiento y rendimiento del cilantro bajo las condiciones climáticas de Pando. Se recomienda su implementación como alternativa sostenible en zonas con limitaciones de suelo, la capacitación de productores y

técnicos, el desarrollo de investigaciones complementarias, y la incorporación de tecnologías que optimicen el sistema.

En conjunto, esta investigación aporta información técnica relevante para la diversificación de la producción hortícola en regiones amazónicas, promoviendo prácticas agrícolas innovadoras, sostenibles y adaptadas a los desafíos actuales del cambio climático y la seguridad alimentaria.

**Palabras Claves:** Variable, hidropónico, germinación, días, cilantro.

## Abstract

The present research, entitled "Evaluation of the Adaptability of Cilantro (*Coriandrum sativum*) under the Climatic Conditions of the Department of Pando through a Vertical Hydroponic System," was conducted in 2024 at the "El Edén" hydroponic greenhouse, located in the municipality of El Sena – Pando, Bolivia. The main objective was to evaluate the agronomic performance of cilantro cultivated in a vertical hydroponic system, considering the tropical climate of the region.

Chapter I introduces the general framework of the study. It outlines the significance of cilantro as a culinary and medicinal plant and justifies the need to explore alternative production systems such as hydroponics. The research problem is formulated, and general and specific objectives are stated along with the hypothesis. The justification emphasizes the need to introduce sustainable agricultural technologies in regions with limited arable land like Pando.

Chapter II presents the theoretical foundation. It includes a comprehensive literature review covering the origin, morphology, taxonomy, uses, and properties of cilantro, along with the principles of hydroponic cultivation. Various hydroponic systems (NFT, floating root, aeroponics, etc.) and their respective advantages and disadvantages are described. Additionally, the chapter addresses the agroclimatic context of El Sena, characterized by a hot and humid tropical climate, high rainfall, and elevated temperatures — all crucial factors for analyzing crop adaptability.

Chapter III outlines the methodological framework. The research is defined as experimental, with a quantitative approach and inductive method. The population consisted of 200 cilantro plants, from which a 20% sample (40 plants) was randomly

selected. Data collection techniques included structured observation and measurement, using instruments such as observation sheets, measuring tapes, and precision scales. The chapter also details the geographical location, experimental design, required materials, and the procedures for constructing the hydroponic system and seedling transplantation.

Chapter IV presents the research findings. ANOVA was applied to each evaluated variable. Plant height increased progressively from 5 cm (15 days) to 11 cm (30 days) and 15 cm (45 days). The number of leaves also increased from 6 to 10 and then 16 over the same periods. Root length reached 3 cm, 5 cm, and 8 cm respectively. The final yield recorded was 1.920 grams per plant at 45 days, indicating a strong productive performance under the vertical hydroponic system.

Chapter V provides the discussion of results. The findings were compared with previous studies, confirming that hydroponic systems provide optimal conditions for cilantro development. The efficient nutrient uptake, control of environmental variables, and healthy plant growth were emphasized. The vertical system proved to be a productive and efficient method, well-suited to the tropical Amazonian context of Bolivia.

Chapter VI presents the conclusions and recommendations. It concludes that the vertical hydroponic system enhances the growth and yield of cilantro under Pando's climatic conditions. It is recommended for sustainable implementation in areas with limited soil, along with producer training, complementary research, and the adoption of technologies to further improve system efficiency. In conclusion, this research provides valuable technical knowledge to diversify horticultural production in tropical

regions and promotes innovative and sustainable agricultural practices that address current challenges related to food security and climate change.

**Keywords:** Variable, hydroponic, germination, days, cilantro.

# **CAPÍTULO I**

## **GENERALIDADES**

## 1.1. Introducción

El cilantro (*Coriandrum sativum*) es una hierba aromática de reconocido valor culinario y medicinal a nivel mundial. Originaria de la región mediterránea, ha sido utilizada desde tiempos antiguos por diversas culturas: los egipcios lo incluían en sus rituales funerarios, mientras que los romanos lo empleaban por sus propiedades relajantes. En la actualidad, es ampliamente utilizado en la gastronomía de países como México, India y varias naciones de América Latina, donde sus hojas frescas aportan un sabor característico a sopas, salsas, guacamole, carnes y ensaladas.

Además de su relevancia culinaria, el cilantro posee propiedades terapéuticas que lo convierten en una planta de interés en la herbología, destacando sus efectos estimulantes, antiinflamatorios, antiespasmódicos y antibacterianos, así como su riqueza en vitaminas y antioxidantes. Países como México registran una producción superior a las 50 mil toneladas anuales, evidenciando su alta demanda y versatilidad.

Sin embargo, en el departamento de Pando (Bolivia), el cultivo de cilantro no ha sido establecido de manera comercial ni experimental, debido principalmente a factores climáticos, tecnológicos y de desconocimiento sobre su adaptabilidad local. Ante este escenario, surge la necesidad de explorar nuevas alternativas de producción que permitan su introducción y aprovechamiento sostenible.

La presente investigación tiene como objetivo evaluar la adaptabilidad del cilantro en condiciones climáticas del departamento de Pando mediante un sistema hidropónico vertical, utilizando la infraestructura de la casa "EDEN". La hidroponía, al prescindir del suelo y optimizar el uso del agua y nutrientes, representa una alternativa innovadora y eficiente para el cultivo de especies no tradicionales en la región.

El estudio contempla la medición de parámetros de crecimiento y rendimiento del cilantro bajo este sistema, así como la valoración de su calidad sensorial, considerando su potencial para responder a las exigencias del mercado gastronómico local y nacional. Con ello, se busca generar conocimientos aplicables a la diversificación productiva en la región, fomentando prácticas agrícolas sostenibles y tecnológicamente adaptadas a los nuevos desafíos de la producción agroalimentaria.

## **1.2. Planteamiento de Problema**

### ***1.2.1. Descripción del Problema***

El cilantro (*Coriandrum sativum*) es una hierba aromática de creciente demanda en los sectores gastronómico, medicinal y agroindustrial a nivel mundial. Su cultivo, sin embargo, enfrenta limitaciones importantes en los sistemas agrícolas convencionales, debido a la dependencia de suelos fértiles, el uso intensivo de agua y agroquímicos, así como su vulnerabilidad a enfermedades del suelo. Estas condiciones no solo afectan la calidad y el rendimiento del cultivo, sino que también comprometen su sostenibilidad a largo plazo.

En el departamento de Pando, Bolivia, el cultivo de cilantro no está establecido ni en sistemas tradicionales ni tecnificados, lo que representa una barrera para el acceso local a esta hortaliza y una oportunidad desaprovechada para diversificar la producción hortícola regional. Las condiciones climáticas húmedas y las limitaciones en infraestructura agrícola dificultan la implementación de cultivos no tradicionales, lo que hace necesario explorar tecnologías innovadoras que permitan introducir especies de alto valor comercial, como el cilantro, en un contexto amazónico.

La hidroponía, y en particular los sistemas verticales en ambientes controlados, se presenta como una alternativa eficiente y sostenible para superar estas limitaciones. Este tipo de cultivo sin suelo permite un manejo más preciso de los nutrientes, reduce el consumo de agua y minimiza la incidencia de enfermedades, haciendo viable la producción en regiones con condiciones adversas para la agricultura convencional.

En este sentido, la casa "EDEN", un entorno controlado orientado a la investigación y la producción limpia, ofrece una plataforma ideal para evaluar la adaptabilidad del cilantro a un sistema hidropónico vertical bajo las condiciones específicas de Pando. Sin embargo, no existe información previa sobre su comportamiento agronómico en estas condiciones, lo que genera incertidumbre sobre su potencial productivo en la región.

Por tanto, el problema central que aborda esta investigación es la falta de estudios que demuestren la viabilidad del cultivo de cilantro en Pando, especialmente en el municipio del Sena, mediante sistemas hidropónicos verticales, lo cual limita su incorporación como una alternativa sostenible en la agricultura local. Evaluar su adaptabilidad en este contexto permitirá generar información clave para promover prácticas agrícolas innovadoras, sostenibles y con alto potencial de impacto en la seguridad alimentaria y la economía regional.

### ***1.2.2. Formulación del Problema***

¿Cómo influye el sistema hidropónico vertical, implementado en la casa "EDEN", en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cilantro (*Coriandrum sativum*) bajo las condiciones climáticas del departamento de Pando, en comparación con el cultivo tradicional en suelo?

### **1.3. Objetivos**

#### ***1.3.1. Objetivo General***

Evaluar la adaptabilidad del cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema hidropónico vertical bajo las condiciones climáticas del departamento de Pando.

#### ***1.3.2. Objetivos Específicos***

- Determinar los parámetros de crecimiento del cilantro (altura, número de hojas, longitud de raíz) en un sistema hidropónico vertical.
- Analizar la influencia del clima local (temperatura, humedad, radiación) sobre el desarrollo del cultivo.
- Estimar el rendimiento final del cilantro en gramos por planta.
- Proponer recomendaciones sobre la viabilidad de implementar este sistema en zonas similares del departamento.

### **1.4. Justificación**

La evaluación del crecimiento y rendimiento del cilantro (*Coriandrum sativum*) en sistemas hidropónicos verticales representa una investigación de alta relevancia, especialmente en el contexto del municipio de El Sena, departamento de Pando, donde actualmente no existe producción agrícola registrada ni antecedentes de investigación sobre el cultivo de esta especie. Esta situación limita significativamente el acceso local a un producto de creciente demanda en los ámbitos culinario, medicinal y agroindustrial, al tiempo que revela una oportunidad concreta para introducir tecnologías agrícolas modernas en la región.

El uso de sistemas hidropónicos verticales en ambientes controlados, como los de la casa “EDEN”, ofrece una alternativa viable y sostenible frente a las limitaciones que enfrenta la agricultura tradicional en esta zona, como la alta humedad, los suelos poco aptos para ciertos cultivos y el acceso limitado a recursos productivos. Al eliminar el suelo como medio de cultivo, la hidroponía permite reducir drásticamente la incidencia de enfermedades y plagas, garantizando una producción más estable, higiénica y predecible.

Además, este sistema permite optimizar el uso del agua y los nutrientes, lo cual resulta fundamental en un entorno donde los recursos deben gestionarse con eficiencia. Asimismo, al cultivar en estructuras verticales, se aprovecha mejor el espacio, lo que es ideal para pequeñas áreas agrícolas o emprendimientos familiares.

Desde el punto de vista ambiental, esta técnica minimiza el impacto sobre los suelos y cuerpos de agua, promoviendo una producción limpia y alineada con los principios de sostenibilidad agroforestal. Y desde lo económico y social, su implementación puede impulsar la diversificación productiva, la seguridad alimentaria y la generación de ingresos en comunidades rurales como las del Sena.

La ausencia de investigaciones sobre la adaptabilidad del cilantro en condiciones amazónicas, sumada a la falta de experiencia local en su producción, justifica plenamente la necesidad de este estudio. La generación de datos técnicos confiables permitirá sentar las bases para introducir este cultivo en el contexto regional, brindar recomendaciones prácticas a productores y promover la adopción de sistemas agrícolas innovadores, sostenibles y replicables en otros municipios del norte amazónico boliviano.

## **1.5. Hipótesis**

### ***1.5.1. Hipótesis nula ( $H_0$ ):***

Las condiciones de cultivo hidropónico vertical en la casa “EDEN” no influyen significativamente en el crecimiento, desarrollo ni rendimiento del cilantro (*Coriandrum sativum*), en comparación con el cultivo tradicional en suelo bajo las condiciones climáticas del municipio de El Sena.

### ***1.5.2. Hipótesis alternativa ( $H_1$ ):***

Las condiciones de cultivo hidropónico vertical en la casa “EDEN” influyen positivamente en el crecimiento, desarrollo y rendimiento del cilantro (*Coriandrum sativum*), en comparación con el cultivo tradicional en suelo bajo las condiciones climáticas del municipio de El Sena.

# **CAPÍTULO II**

## **SUSTENTACIÓN TEÓRICO**

## 2.1. Revisión Bibliográfica

### 2.1.1. Origen del Cilantro

El cilantro (*Coriandrum sativum*) es una planta con un rico legado histórico y cultural, cuyo uso se remonta a antiguas civilizaciones de distintas partes del mundo. Originario de las regiones del Mediterráneo oriental y del Medio Oriente, esta hierba ha sido valorada tanto por sus propiedades culinarias como medicinales desde tiempos remotos. Se han encontrado evidencias arqueológicas de su uso en tumbas egipcias de hace más de 5.000 años, donde era utilizado no solo como ingrediente alimentario, sino también en rituales religiosos y procesos de embalsamamiento (Masabni & Lillard, 2014)

La expansión del cilantro a lo largo de diversas culturas y continentes es testimonio de su versatilidad y popularidad. Fue adoptado por griegos y romanos quienes lo empleaban para aromatizar vinos, panes y ungüentos, y posteriormente lo difundieron a lo largo de Europa durante sus campañas de conquista (Gomez Mendez, 2020). En Asia, particularmente en la India, considerada hoy su principal productor y exportador, Tailandia y China, el cilantro se convirtió en un ingrediente esencial en la preparación de currys, sopas, salsas y platos tradicionales gracias a su sabor fresco y cítrico (Solórzano Giler & Llor Saltos, 2022, p. 3).

En el continente americano, el cilantro fue introducido por los colonizadores españoles y portugueses en el siglo XVI. Su adaptabilidad a diferentes condiciones climáticas facilitó su rápida integración en la gastronomía latinoamericana. Actualmente, es un ingrediente indispensable en preparaciones típicas como el guacamole mexicano, el ceviche peruano o las salsas tradicionales de Colombia y Bolivia (Solórzano Giler & Llor Saltos, 2022, p. 3).

## 2.1.2. Taxonomía y Morfología

### 2.1.2.1. Descripción de Taxonomía

El cilantro, cuyo nombre científico es *Coriandrum sativum L.*, es una planta anual perteneciente a la familia botánica Apiaceae, también conocida como Umbelliferae. Esta especie es ampliamente reconocida por su valor culinario, medicinal y productivo, y forma parte de las hortalizas de hoja que pueden ser adaptadas a sistemas de cultivo hidropónico. Sus frutos son pequeños, de color café, redondos y con textura rugosa, y su ciclo de vida es corto, completándose generalmente en menos de cuatro meses (Gomez Mendez, 2020), p. 11). En el documento que tú misma compartiste, también se incluye esta clasificación de forma didáctica:

**Tabla 1: Taxonomía**

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Apiales
Familia:	Apiaceae
Subfamilia	Apioideae
:	

---

Tribu:	Coriandreae
Género:	Coriandrum
Especie:	Coriandrum

sativum

---

### **2.1.2.2. Descripción Morfología**

El cilantro (*Coriandrum sativum L.*) es una planta herbácea anual, perteneciente a la familia Apiaceae, que puede alcanzar una altura entre 20 y 140 cm, dependiendo de las condiciones de crecimiento. Presenta una raíz pivotante, tallo erecto, delgado y cilíndrico, con ramificaciones dicotómicas. Las hojas muestran gran diversidad morfológica: las basales son anchas y ovaladas con lóbulos dentados, mientras que las superiores son divididas en segmentos estrechos y alargados, típicos de las plantas umbelíferas (Rodríguez Quintero et al., 2022, p. 10, en Gómez Méndez, 2020, p. 16).

En cuanto a su floración, esta se da en inflorescencias tipo umbela, que pueden contener de tres a diez umbelas secundarias, cada una con diez a cincuenta flores pequeñas, blancas o rosadas. Sus frutos son esquizocarpos secos, globosos, formados por dos mericarpios que contienen aceites esenciales, responsables del característico aroma y de sus propiedades medicinales (Leal, 2018, en Gómez Méndez, 2020, p. 16).

Este conjunto de características morfológicas no solo permite la identificación botánica confiable del cilantro, sino que también explica su utilidad como planta medicinal, aromática y culinaria, ampliamente cultivada y consumida a nivel mundial.

### ***2.1.3. Siembra***

La siembra es directa y necesita aproximadamente 15 días para la germinación. La semilla se introduce a unos 5 cm de profundidad y unas semillas pueden ir separadas de otras por 5 cm. Pasados 3 meses podemos cosechar el cilantro. (Cachi Torrez, 2024)

### ***2.1.4. Riego***

En cuanto al riego, no permitas que la planta se quede seca pero tampoco la encharques, ya que, con exceso de riego y poco drenaje se pudren las raíces y moriría. Su ubicación ideal es una ventana, por ejemplo, en la cocina, y protegida del viento.

### ***2.1.5. Condiciones para el Crecimiento***

Se da bien en suelos flojos, no sobrevive a terrenos encharcados, aunque es bastante resistente al frío. (D. C. et al., 2003)

### ***2.1.6. Propiedades y sus Usos***

El cilantro es una planta altamente valorada por sus propiedades culinarias, medicinales, cosméticas y farmacológicas. Todas las partes de la planta son comestibles, hojas, tallos y semillas, y su aplicación se extiende desde la gastronomía hasta la medicina tradicional y la industria química. (Morales, 1995)

Desde el punto de vista nutricional, el cilantro contiene compuestos bioactivos importantes como ácido ascórbico (vitamina C), ácido fólico, vitamina A, vitamina B12, ácido ferúlico, ácido gálico y ácido clorogénico, los cuales le confieren propiedades antioxidantes y lo convierten en un potencial conservante natural en la industria alimentaria (Rodríguez Quintero et al., 2022, p. 10).

En el ámbito medicinal, se le atribuyen efectos digestivos, diuréticos, antimicrobianos, antifúngicos y antiinflamatorios. Tradicionalmente ha sido utilizado para tratar problemas gastrointestinales como flatulencias, diarreas, cólicos y vómitos; además de emplearse para aliviar insomnio, ansiedad y enfermedades respiratorias como tos y bronquitis (Rodríguez Quintero et al., 2022, pp. 10–11).

El aceite esencial de cilantro, extraído principalmente de las semillas, contiene principios activos como coriandrol, cineol, geraniol, linalool y borneol, los cuales han mostrado actividad antimicrobiana y antifúngica significativa en estudios in vitro, incluso frente a bacterias como *Staphylococcus aureus* y *Escherichia coli* (Rodríguez Quintero et al., 2022, p. 11).

En el ámbito cosmético, el cilantro ha sido históricamente incorporado en fórmulas ayurvédicas para el cuidado de la piel y, actualmente, forma parte de productos como perfumes, tónicos y lociones para mejorar el tono cutáneo y reducir la irritación (Rodríguez Quintero et al., 2022, p. 11).

Asimismo, Gómez Méndez (2020, p. 16) menciona que las hojas y semillas del cilantro son ampliamente utilizadas en la cocina por su sabor refrescante y ligeramente cítrico, siendo un ingrediente clave en salsas, guisos, encurtidos y platos típicos de la gastronomía latinoamericana.

### **2.1.7. Conservación de la Semilla**

La conservación adecuada de las semillas es fundamental para asegurar la viabilidad y calidad del cultivo en futuras siembras. En el caso del cilantro (*Coriandrum sativum*), las semillas deben recolectarse al final de la temporada, una vez que las flores se han secado en la

planta. Posteriormente, es indispensable limpiarlas y secarlas completamente antes de almacenarlas. Para garantizar su conservación, se recomienda guardarlas en condiciones secas, protegidas de la humedad y la luz, preferiblemente en envolturas como papel de aluminio. Esta práctica permite preservar la capacidad germinativa de la semilla hasta la siguiente temporada agrícola (Giraldo V & Henao S, 1986),p. 8)

#### ***2.1.8. Cultivo Sin Suelo***

El cultivo sin tierra, comenzó en la década de 1930 como resultado de las técnicas empleadas por los fisiólogos vegetales en experimentos de nutrición vegetal. Los métodos más recientes de cultivo sin tierra difieren en algunos detalles, pero tienen dos rasgos comunes: los nutrientes se aportan en soluciones líquidas y las plantas se sostienen sobre materiales porosos, como turba, arena, grava o fibra de vidrio, las cuales actúan como mecha y transportan la solución de nutrientes desde su lugar de almacenamiento hasta las raíces (Avilez Bedoya, 2019, p. 34).

#### ***2.1.9. Origen de la Hidroponía***

Hidroponía es una técnica de cultivo sin suelo en la que las plantas reciben los nutrientes esenciales a través de soluciones acuosas. Dentro de este sistema, existen variantes como la aeroponía, donde las raíces están suspendidas en el aire y se nutren por medio de microaspersión o nebulización. Esta modalidad permite controlar las condiciones del entorno, optimizando el uso del agua y reduciendo el impacto de plagas y enfermedades (Avilez Bedoya, 2019, p. 34).

### **2.1.9.1. Cultivo Hidropónico**

La hidroponía es una técnica de producción agrícola que permite cultivar plantas en un medio libre de suelo, utilizando agua enriquecida con soluciones nutritivas que contienen sales minerales o fertilizantes, formuladas en función del análisis químico del agua y las necesidades específicas de cada cultivo y su etapa de desarrollo. Esta técnica posibilita el crecimiento, floración y fructificación de las plantas de manera controlada, eficiente y limpia (Avilez Bedoya, 2019, p. 34)

Los sistemas hidropónicos pueden instalarse en estructuras simples o complejas, lo que permite producir especies principalmente herbáceas en espacios no agrícolas como azoteas, terrenos infértiles o escarpados, y en invernaderos, climatizados o no. Además, a partir de esta base se han desarrollado diversas modalidades como los sistemas con sustratos o soluciones nutritivas circulantes o estáticas, sin perder de vista variables clave como la temperatura, humedad, calidad del agua y nutrientes, esenciales para el desarrollo óptimo de las plantas.

### **2.1.9.2. Ventajas y Desventajas del Cultivo Hidropónico**

El cultivo hidropónico de cilantro (*Coriandrum sativum L.*) ha demostrado ser una alternativa productiva, eficiente y sostenible frente al cultivo tradicional en suelo. El estudio realizado en el cantón Santa Ana (Manabí, Ecuador) reveló altos rendimientos asociados al uso de semilla de calidad, soluciones orgánicas bien manejadas y estructuras protegidas, lo cual generó una excelente rentabilidad para los productores (Solórzano & Loor, 2022, p. 8).

#### ***a) Ventajas del cultivo hidropónico de cilantro:***

- ✓ Altos rendimientos productivos en menor tiempo.

- ✓ Reducción de costos por menor uso de insumos químicos y control directo de nutrientes (p. 8).
- ✓ Mejor uso del espacio, gracias a estructuras verticales y ambientes controlados.
- ✓ Reducción de enfermedades del suelo y menor ataque de plagas.
- ✓ Mayor rentabilidad económica y posibilidad de producir todo el año.
- ✓ Uso eficiente de recursos como el agua y los fertilizantes mediante sistemas de goteo localizados.
- ✓ Aceptación comunitaria e interés de los agricultores por aprender y aplicar estas técnicas.

“La excelente producción se debió a factores como calidad de semillas, buen manejo hidropónico del cultivo y eficiente administración de solución orgánica, obteniéndose como resultado altos rendimientos productivos” (Solórzano & Loor, 2022, p. 8-10).

***b) Desventajas del cultivo hidropónico de cilantro:***

A pesar de las múltiples ventajas que ofrece la hidroponía, su implementación en el cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum L.*) también presenta algunas limitaciones, especialmente en contextos rurales o con escaso acceso a tecnología y capacitación. A continuación, se enumeran las principales desventajas identificadas:

✓ ***Alto costo inicial de inversión:***

Requiere infraestructura especializada como invernaderos, sistemas de riego, bombas, sustratos y solución nutritiva, lo cual representa una inversión considerable en comparación con el cultivo tradicional (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 18).

✓ ***Falta de conocimiento técnico:***

La hidroponía exige conocimientos específicos sobre preparación de soluciones nutritivas, control de pH, conductividad eléctrica y manejo del sistema. En el estudio realizado en el sitio Beldaco, el 100 % de los agricultores manifestó desconocimiento sobre el uso de soluciones hidropónicas (Solórzano & Loor, 2022, p. 11).

✓ ***Sensibilidad a fallas técnicas:***

El sistema depende de equipos eléctricos y mecánicos (bombas, aireadores, timers), por lo que una interrupción del suministro o falla técnica puede comprometer rápidamente el desarrollo del cultivo (Solórzano & Loor, 2022, p. 10).

✓ ***Riesgo de desequilibrios nutricionales:***

Al no contar con suelo como amortiguador natural, cualquier error en la concentración de nutrientes o pH de la solución puede causar deficiencias visibles, como hojas amarillentas o crecimiento atrofiado (Solórzano & Loor, 2022, p. 10).

✓ ***Limitado acceso a insumos específicos:***

Algunos componentes como fibra de coco, melaza, emulsión de pescado o extracto de algas pueden no estar disponibles localmente, obligando a importarlos o sustituirlos, lo que puede elevar los costos (Marulanda & Izquierdo, 2003, p. 22)

### ***2.1.10. Técnicas Hidropónicas***

Técnica	Descripción
Recircularte	NFT (técnica de película nutritiva)
Recircularte	DFT (técnica de flujo profundo)

Estacionaria Raíz flotante

Aérea Spray

Con sustrato Orgánicas e Inorgánicas

### ***2.1.11. Importancia de la Hidroponía***

La hidroponía es un sistema de producción agrícola que permite el cultivo de plantas sin necesidad de suelo, utilizando soluciones nutritivas balanceadas y controladas. Este método ha cobrado gran relevancia en los últimos años como una alternativa sostenible frente a los desafíos de la agricultura tradicional, como la degradación del suelo, la escasez de agua, la contaminación ambiental y la necesidad de producir alimentos en espacios reducidos.

Su principal ventaja radica en el uso eficiente del agua y los nutrientes, lo que la convierte en una tecnología especialmente adecuada para regiones con limitaciones hídricas o suelos no aptos para la producción agrícola. Además, al desarrollarse en ambientes controlados (como invernaderos o estructuras protegidas), permite producir cultivos durante todo el año, independientemente de las condiciones climáticas externas (Rodríguez Quintero et al., 2022, p. 10).

La hidroponía también mejora la inocuidad alimentaria, ya que reduce significativamente el riesgo de contaminación por patógenos presentes en el suelo. Asimismo, se adapta fácilmente a entornos urbanos, techos, patios, azoteas o espacios pequeños, lo que favorece su aplicación en huertos escolares, familiares y comunitarios (Gómez Méndez, 2020, p. 18).

En el caso de especies como el cilantro (*Coriandrum sativum L.*), la hidroponía no solo permite mejorar su rendimiento y calidad, sino también ampliar su disponibilidad en zonas donde tradicionalmente no se cultiva, como en el norte amazónico boliviano.

#### **2.1.12. Tipos de Hidroponía**

La hidroponía, como técnica de producción sin suelo, puede implementarse a través de diferentes métodos, clasificados según el medio en que se desarrollan las raíces y la forma en que se suministra la solución nutritiva. La elección del tipo de sistema dependerá de factores como el espacio disponible, el cultivo, el nivel de tecnificación y los recursos económicos del productor.

Según Gómez Méndez (2020), los sistemas hidropónicos más utilizados se agrupan en tres categorías principales: cultivo en agua (o raíz flotante), en sustrato y en aire (aeroponía), cada uno con características técnicas propias (p. 19).

##### **1. Sistema de Raíz Flotante**

En este sistema, las plantas se colocan sobre planchas de poliestireno que flotan sobre una solución nutritiva. Las raíces están permanentemente sumergidas y deben mantenerse oxigenadas mediante bombas de aire. Es ideal para cultivos de hoja como lechuga, acelga, albahaca y cilantro (Duran, 2000; citado en Gómez Méndez, 2020, p. 17).

##### **2. Sistema NFT (Nutrient Film Technique)**

Consiste en una película delgada de solución nutritiva que fluye de forma constante sobre las raíces dentro de canales ligeramente inclinados. Las raíces absorben lo necesario mientras parte queda expuesta al oxígeno, promoviendo un crecimiento rápido y eficiente. Es

muy usado para hierbas aromáticas como cilantro, perejil y albahaca (Galvis, 2019; citado en Gómez Méndez, 2020, p. 18).

### ***3. Sistema de Cultivo en Goteo (con sustrato)***

Utiliza un medio sólido (fibra de coco, perlita, vermiculita, etc.) donde se anclan las raíces, y la solución se aplica gota a gota a través de emisores. Es fácil de automatizar y se adapta a distintos cultivos, como el cilantro. Este fue el sistema utilizado en el estudio de Santa Ana, Ecuador (Solórzano & Loor, 2022, p. 6).

### ***4. Aeroponía***

En este sistema avanzado, las raíces están suspendidas en el aire dentro de un compartimento oscuro, y son rociadas con una neblina nutritiva. Ofrece un altísimo grado de oxigenación y eficiencia, pero requiere mayor inversión y control técnico (Gómez Méndez, 2020, p. 19).

#### ***2.1.13. Oxigenación en los Sistemas Hidropónicos***

La oxigenación en los sistemas hidropónicos es un aspecto fundamental para el desarrollo adecuado de las plantas, ya que las raíces requieren oxígeno disuelto en el agua para llevar a cabo procesos fisiológicos como la respiración celular, la absorción de nutrientes y el crecimiento radicular. A diferencia del cultivo en suelo, donde el aire está presente en los poros del sustrato, en hidroponía —especialmente en sistemas como raíz flotante o DFT— el suministro de oxígeno debe ser gestionado de manera artificial y constante.

Según Gilsanz (2007), la falta de oxigenación en la solución nutritiva puede provocar asfixia radicular, crecimiento lento, clorosis y muerte de las plantas, ya que la solución sin oxígeno favorece el crecimiento de microorganismos no deseados como algas o bacterias

anaerobias (citado en Gómez Méndez, 2020, p.18). Por esta razón, es indispensable implementar sistemas de aireación mediante bombas de aire o difusores, que mantengan el oxígeno disuelto por encima de 5 mg/L.

En el sistema de raíz flotante, como el aplicado en diversas investigaciones hortícolas, se recomienda airear la solución nutritiva en forma manual o mecánica para evitar el estancamiento del agua y garantizar la disponibilidad de oxígeno en todo momento (Carrasco & Izquierdo, 1996, citado en Gómez Méndez, 2020, p. 17).

#### ***2.1.14. Deficiencia de Oxígeno en Sistemas Hidropónicos***

La deficiencia de oxígeno disuelto en la solución nutritiva es uno de los problemas más críticos en sistemas hidropónicos, especialmente en aquellos donde las raíces permanecen sumergidas, como en el sistema de raíz flotante. Esta condición se produce cuando el nivel de oxígeno disponible en el agua cae por debajo de los valores requeridos para la respiración celular de las raíces (5 mg/L), provocando efectos negativos en el metabolismo de la planta. (Cortes Peña & Ruiz Sanchez, 2021)

Entre los síntomas más comunes de esta deficiencia se encuentran: amarillamiento de hojas (clorosis), crecimiento lento, marchitez, pudrición radicular y disminución en la absorción de nutrientes, lo que afecta directamente el rendimiento y la calidad del cultivo (Gilsanz, 2007, citado en Gómez Méndez, 2020, p.18). En casos más severos, puede producirse la asfixia de la raíz, condición que deteriora completamente el sistema radicular, dejando a la planta vulnerable al ataque de patógenos como hongos o bacterias anaeróbicas.

Además, una solución nutritiva mal oxigenada favorece el desarrollo de algas verdes y la fermentación, especialmente si hay exceso de materia orgánica y temperaturas elevadas.

Esta situación compite por el oxígeno disponible, reduciéndolo aún más, lo cual puede ser tóxico para las raíces y bloquear la absorción de minerales esenciales como el fósforo, el hierro y el potasio (Gómez Méndez, 2020, p. 18).

Por ello, se recomienda utilizar bombas de aire, oxigenadores o sistemas de agitación para mantener el nivel de oxígeno disuelto estable, especialmente en cultivos como el cilantro, que presentan un sistema radicular fibroso y sensible al exceso de humedad.

### ***2.1.15. Métodos de Oxigenación Hidropónica***

La oxigenación en los sistemas hidropónicos es esencial para mantener la salud radicular y maximizar la absorción de nutrientes. Para lograrlo, se han desarrollado distintos métodos que permiten mantener el oxígeno disuelto en la solución nutritiva por encima de los niveles críticos ( $\geq 5$  mg/L), evitando así la asfixia radicular y el desarrollo de patógenos anaerobios.

Según Gilsanz (2007), citado por Gómez Méndez (2020, p. 18), la falta de oxígeno afecta directamente el metabolismo de la planta, por lo que se deben implementar mecanismos adecuados de aireación según el tipo de sistema hidropónico utilizado.

Los principales métodos son:

**1. Bombas de aire con difusores (tipo acuario):** Es el método más utilizado en sistemas de raíz flotante. Una bomba impulsa aire a través de una manguera conectada a un difusor poroso, el cual genera burbujas finas que oxigenan la solución nutritiva. Este sistema es económico y fácil de implementar. Gilsanz (2007), en Gómez Méndez (2020, p. 18)

**2. Agitación mecánica o circulación forzada:** Utiliza motores o agitadores sumergibles que mueven continuamente la solución nutritiva, promoviendo el intercambio

gaseoso y evitando zonas muertas. Este método es útil en sistemas con grandes volúmenes de agua, como NFT o DFT. Rodríguez Quintero et al. (2022, p. 11)

**3. Oxigenación por caída libre o cascada:** Consiste en verter la solución desde una altura moderada sobre la superficie del tanque, generando burbujas y turbulencia. Este método es complementario y se usa en combinación con otros, especialmente en circuitos recirculantes. Gómez Méndez (2020, p. 18)

**4. Inyección de oxígeno puro (método técnico avanzado):** Usado en hidroponía de alta tecnología, se inyecta oxígeno puro o aire enriquecido directamente en la solución nutritiva. Si bien es altamente eficaz, requiere mayor inversión y monitoreo constante.

# **CAPÍTULO III**

## **MARCO METODOLÓGICO**

### **3.1. Tipo de Investigación**

El tipo de investigación que se aplicará en el presente proyecto es de tipo experimental, ya que se implementará un sistema hidropónico vertical para evaluar la adaptabilidad y desarrollo del cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) bajo condiciones climáticas específicas en la casa hidropónica El Edén-El Sena.

Este estudio busca describir y analizar el comportamiento del cultivo en un entorno controlado, observando variables como la altura de las plantas, número de hojas, longitud de raíces y producción de biomasa (rendimiento por planta). Al tratarse de un sistema previamente diseñado e instalado, se considera una investigación de tipo experimental porque se manipulan ciertas condiciones de cultivo para evaluar la respuesta del cilantro.

### **3.2. Enfoque de la Investigación**

La presente investigación se desarrollará bajo un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la medición, análisis y procesamiento de datos numéricos obtenidos del cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema hidropónico vertical, implementado en la casa hidropónica “EDÉN”, ubicada en el departamento de Pando.

Este enfoque permite obtener resultados objetivos y verificables mediante la recolección sistemática de datos, tales como: altura de planta, número de hojas, longitud de raíz, rendimiento en gramos por planta, así como variables ambientales como temperatura, humedad relativa y radiación solar.

### **3.3. Métodos de la Investigación**

Esta investigación utilizará el método inductivo, ya que parte de la observación y análisis de datos específicos serán obtenidos del comportamiento del cilantro (*Coriandrum*

*sativum*) en un sistema hidropónico vertical bajo condiciones climáticas del departamento de Pando.

A través del análisis de variables como altura de planta, número de hojas, longitud de raíz, rendimiento y condiciones ambientales, se pretende identificar patrones o tendencias que permitan formular conclusiones generales sobre la adaptabilidad y viabilidad del cultivo en este tipo de sistema.

### **3.4. Población y Muestreo**

#### **3.4.1. Población**

La población de esta investigación está conformada por todas las plantas de cilantro (*Coriandrum sativum*) cultivadas en el sistema hidropónico vertical, ubicado en la casa hidropónica “EDÉN”, en el departamento de Pando.

Esta población está compuesta por 200 plantas el total de unidades vegetales que se establecerán durante el ensayo experimental, bajo condiciones climáticas naturales de la región.

#### **3.4.2. Muestreo**

Para la investigación, se trabajará con una muestra del 20 % de la población total, equivalente a 40 plantas de cilantro seleccionadas aleatoriamente de un total de 200 plantas cultivadas en el sistema hidropónico vertical de la casa “EDÉN”.

Se aplicará la técnica de muestreo probabilístico aleatorio simple, que consiste en seleccionar las unidades de estudio de forma aleatoria, asegurando que cada planta tenga la

misma probabilidad de ser elegida. Esta técnica garantiza la representatividad de la muestra y permite obtener resultados confiables para su análisis estadístico.

### **3.5. Técnicas e Instrumento de la investigación**

Para el desarrollo de esta investigación se utilizarán técnicas propias del enfoque cuantitativo y del método experimental, orientadas a la observación, medición y registro sistemático de datos numéricos relacionados con el crecimiento y rendimiento del cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema hidropónico vertical.

#### ***3.5.1. Técnicas de la Investigación***

##### ***a) Observación directa estructurada:***

Se realizará un seguimiento constante del desarrollo del cultivo, registrando datos de forma sistemática mediante fichas de observación previamente diseñadas. Esta técnica permitirá evaluar variables como la altura de planta, número de hojas y longitud de raíz.

##### ***a) Medición:***

Se aplicará para cuantificar las variables de crecimiento del cultivo, utilizando instrumentos como regla milimetrada, cinta métrica o calibres, además de balanza digital para determinar el rendimiento en gramos por planta.

#### ***3.5.2. Instrumentos de la Investigación***

Para la recolección de datos en esta investigación, se emplearán los siguientes instrumentos, diseñados para medir y registrar con precisión las variables relacionadas con el crecimiento y rendimiento del cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) en el sistema hidropónico vertical:

**a) Ficha de observación estructurada:**

Esta ficha facilitará el registro ordenado y continuo de las observaciones durante el ciclo del cultivo.

**b) Regla milimetrada y cinta métrica:**

Instrumentos utilizados para medir con exactitud la altura de las plantas y la longitud de las raíces en centímetros o milímetros.

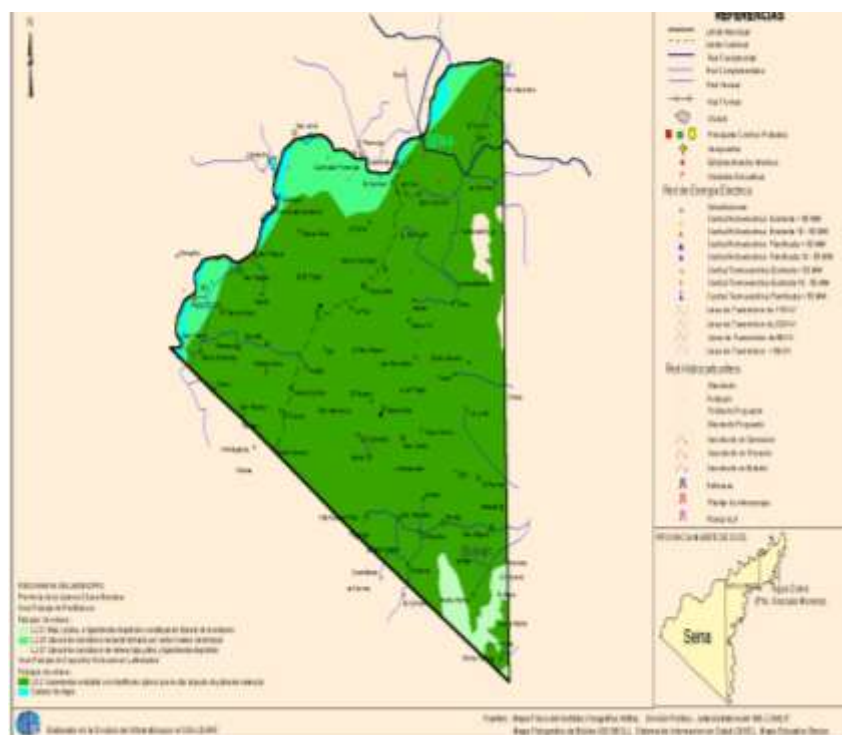
**c) Balanza digital de precisión:**

Para la medición del rendimiento del cultivo, expresado en gramos por planta, a través del pesaje de la biomasa obtenida.

### **3.6. Referencia Geográfica**

El Municipio de el Sena se encuentra ubicado en el extremo sur del Departamento Pando, extremos Oeste de la Provincia Madre de Dios, se halla ubicado entre coordenadas geográficas correspondientes a los paralelos 11° 27' a 12° 30' de Latitud Sur, y los meridianos 67° 00' a 68° 00' Longitud Oeste. Teniendo como altitud de 148 m.s.n.m. (Plan Territorial de Desarrollo el Sena, 2021:17)

*Figura 1: (Plan Territorial de Desarrollo el Sena, 2021:17)*



### 3.6.1. Extensión Superficial

El Municipio de Sena tiene una extensión superficial de 7.540 Km<sup>2</sup>, que corresponde al 63% de la superficie territorial de la Provincia Madre de Dios y el 19% del departamento de Pando, de acuerdo al detalle del siguiente cuadro.

*Tabla 2: Relación de superficie territorial*

UNIDAD TERRITORIAL	km <sup>2</sup>
Departamento de Pando	63.834
Provincia Madre de Dios	11.970
Municipio Sena	7.540

### **3.6.2. Límites**

Los límites del Municipio de Sena son:

Norte: Río Madre de Dios, límite natural con el Municipio de Puerto Rico.

Sur: Río Beni, límite natural con Municipio de Reyes de la provincia Ballivian del departamento de Beni.

Este: Municipio de San Lorenzo.

Oeste: Municipio de Ixiamas, Provincia Abel Iturralde del Dpto. de La Paz

### **3.6.3. Clima**

Es importante puntualizar ante la ausencia de un centro meteorológico en el mismo Municipio de Sena y habida cuenta que los datos son similares en la mayor parte de la extensión territorial del departamento de Pando, se hará referencia de manera macro a la información departamental; es así que el departamento de Pando tiene un clima tropical húmedo cálido.

Debe clasificarse como del tipo "Aw" con período seco, diferenciado en invierno con precipitaciones inferiores a los 60 mm durante un mes o más. (Köppen & Geiger, 1936)

En Pando el clima se caracteriza por temperaturas mensuales medias, elevadas durante todo el año y una precipitación anual que sobrepasa la evapotranspiración, el factor determinante en el clima son los movimientos migratorios estacionales de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCI).

Desde la mitad de noviembre hasta fines de marzo la ZCI de baja presión atmosférica está sobre el Norte de Argentina, Paraguay y el Sur de Bolivia, provocando condiciones atmosféricas inestables y lluvias intensas.

En la época seca, entre mayo y septiembre, se registra la llegada irregular de frentes fríos del Sur (surazos) que causan caldas bruscas de temperaturas en la región, casos en los cuales, la temperatura puede descender en el lapso de pocas horas, desde los 30°C, hasta unos 15°C.

La temperatura mínima registrada corresponde al año 1948, con 7°C en Riberalta y Cobija. Es importante señalar que los surazos duran poco tiempo, generalmente entre 2 y 3 días.

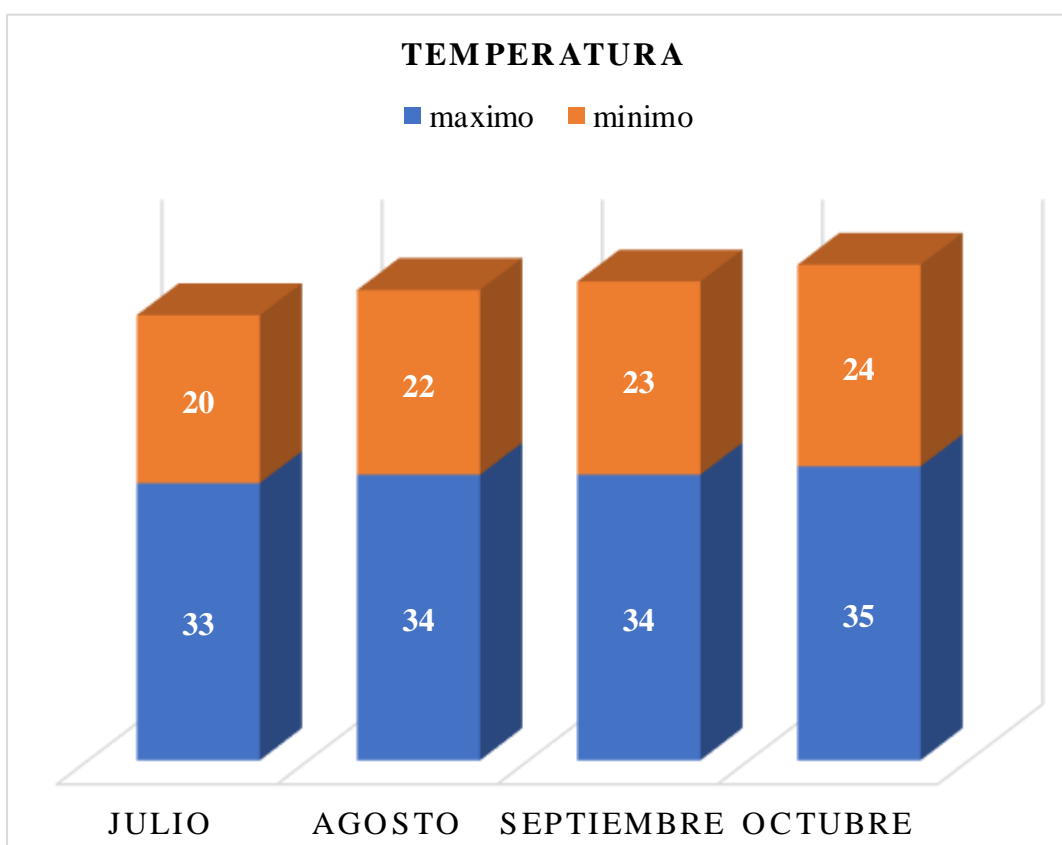
Las temperaturas y precipitaciones altas son condiciones favorables para el crecimiento de las plantas; sin embargo, se considera con insuficiente agua al periodo en el cual la precipitación más el agua almacenada en el suelo, no compensan la evapotranspiración requerida para su desarrollo sin limitaciones; dando como resultado la reducción de la transpiración de las plantas y de su crecimiento.

La duración de la época seca varía desde 3 meses, en el Oeste, hasta 5 meses en el Este del departamento. La mayoría de los árboles tropicales de la región están adaptados a esta condición; para el crecimiento de los cultivos anuales el período húmedo es óptimo; sin embargo, por la distribución de la precipitación, la cosecha de la mayoría de los cultivos se produce también en la época lluviosa, dificultando el secado de los productos y aumentando las pérdidas post-cosecha.

### 3.6.4. Temperaturas

Conforme el mapa de isotermas generado en base a la información de Temperatura reportada por el SENAMHI para el periodo 2017-2021 de las estaciones meteorológicas de Cobija, Guayaramerín, Rurrenabaque y Trinidad, Las temperaturas para el Municipio de Sena varían entre 25.7° C. y 26.5° C. (Plan Territorial de Desarrollo el Sena, 2021:30)

**Figura 2:** Temperatura de la gestión 2024 -Sena pando



### 3.6.5. Precipitaciones Pluviales

Conforme el mapa de isoyetas generado en base a la información de Precipitaciones pluviales reportada por el SENAMHI para el periodo 2017-2021 de las estaciones meteorológicas de Cobija, Guayaramerín, Rurrenabaque y Trinidad, Las precipitaciones para

el Municipio de Sena varían entre 1750 y 1760 mm, teniéndose diferenciados dos periodos: 1) periodo seco (bajas precipitaciones) y, 2) periodo de inundaciones (precipitaciones elevadas) en los meses de noviembre a marzo, que son los meses más lluviosos. (Plan Territorial de Desarrollo el Sena, 2021:30)

### ***3.6.6. Riesgos Climáticos***

Los riesgos climáticos son diferentes para las épocas seca y lluviosa, es así que, en la época seca, se producen bajas temperaturas con corrientes de aire de Sur a Norte, denominados surazos que generan disminución en la productividad en las cosechas y cultivos, especialmente de especies frutícolas y hortalizas.

Por su parte, la abundante precipitación pluvial especialmente en enero y febrero causan inundaciones en las poblaciones cercanas a los ríos y arroyos, afectando los clavos ubicados en las zonas bajas.

El desborde de los ríos Manupare, Madre de Dios, y otros de menor influencia, afectan a las comunidades del Municipio de Sena, fundamentalmente a las vías carreteras que vinculan a este Municipio con el de Cobija y otras ciudades del país, provocando la habilitación de vías alternas en los tramos Puerto Rico-Porvenir, ante la construcción de la Carretera Rutas Nacional 13.

### ***3.6.7. Aire***

Las condiciones medio ambientales y en especial la existencia de una exuberante vegetación permiten respirar aire puro producto de la actividad natural de las plantas que capture el anhídrido carbónico y liberan oxígeno puro al medio ambiente.

La contaminación del aire es temporal, ésta se presenta en época seca debido a la quema de pastizales en municipios vecinos como Puerto Rico, Bella Flor, Cobija y Porvenir, las quemadas de los pastizales naturales que se tiene en la provincia Madre de Dios y los chaqueos que son producidos para habilitar áreas de cultivo de subsistencia por las familias de las comunidades de municipio.

Los vientos provienen del Noroeste la mayor parte del año, sobre todo en verano; mientras que en la época de invierno los vientos son del sureste, fríos y húmedos, conocidos en la región como "surazos", y su presencia coincide con la época menos húmeda

### ***3.6.8. Ubicación del Área Experimental***

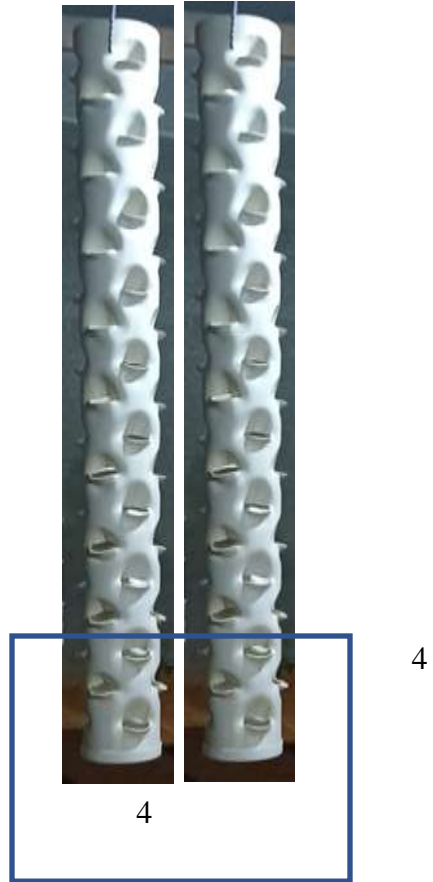
El proyecto se estableció en la gestión del 2024 en la casa hidropónica el edén, ubicada en el municipio el Sena, El centro poblado "Sena" es la capital del municipio de similar nombre, le corresponde el Distrito I, el mismo que se encuentra conformado por diez (10) barrios, cada uno de los cuales tiene una Organización Territorial de Base (OTB). (Plan Territorial de Desarrollo el Sena, 2021: 18)

***Figura 3: Ubicación de la casa hidropónica el edén***



### 3.7. Diseño del Módulo de Experimento

*Figura 4: Diseño experimental*



#### 3.7.1. Adecuación del Modulo

El inicio de la investigación se basó bajo la primicia de dar respuestas satisfactorias en la producción de cilantro ejecutado con el método hidropónico, de tal forma dar el cumplimiento con los objetivos trazados en la presente preparación de tesis.

Se realizo el reconocimiento del área de estudio un módulo de 10 metros de ancho y 10 metros de largo de los cuales solo se utilizó un módulo de 4 metros de ancho por 4 metros de largo

**Tabla 3:** *Lineamiento experimental*

<b>LINEAMIENTO EXPERIMENTAL</b>	
Área total del campo de evolución	16 m <sup>2</sup>
Largo del área experimental	4 m
Ancho del área experimental	4 m
largo de los tubos PVC	3 m
cantidad de tubos PVC	2
Cantidad de plantas a evaluar	200
Distancia entre plantas	15 cm.

### **3.8. Descripción del Material de Requerimiento**

#### **3.8.1. Material de Gabinete**

**Tabla 4:** *Material de Gabinete*

<b>Material de Gabinete</b>	
Nro.	Detalle
1	Computadora laptop
2	Impresora
3	Tintas
4	Cuadernos y hojas de papel

---

5	Cámara Fotográfica
6	Libros
7	Hoja bond tamaño carta
8	Flash Memory
9	Fotocopias
10	Bolígrafo
11	Tablero
12	Regla

---

### 3.8.2. Herramientas

*Tabla 5: Herramientas de campo*

---

<b>Herramientas</b>				
Nro.	Detalle	Cantidad	Precio	Costo
			Unitario	Total
1	Martillo	1	50	50
2	SERRUCHO	1	80	80
3	Flexo metro	1	30	30
4	Carretilla	1	350	350

---

5	Cierra mecánica	1	70	70
6	Taladro	1	450	450
7	Tenaza	1	50	50
Suma total				1.080

### 3.8.3. Equipo y Maquinaria

*Tabla 6: Equipo y maquinaria*

<b>Equipo y Maquinaria</b>				
Nro.	Detalle	C	Precio	Costo
		antidad	Unitario	Total
1	bomba de agua	1	500	500
2	Tanque de agua de 300 L.	1	450	450
3	Mochila fumigadora	1	315	315
4	La piz calibradora de ph	1	1.700	1.700
5	Teflón	1	5	5
6	Cinta aislante	1	10	10
7	Pegamento PVC	1	60	60
Suma total				3.040

### 3.8.4. Material de Limpieza y Desinfección

**Tabla 7: Material de Limpieza y Desinfección**

Material de Limpieza y Desinfección				
Nro.	Detalle	Cantidad	Precio	Costo
			Unitario	Total
1	Lavandina	5	8	40
2	Escoba	1	30	30
Suma total				70

### 3.8.5. Sustrato

**Tabla 8: Sustratos**

Sustrato				
Nro.	Detalle	Cantidad	Precio Unitario	Costo Total
1	kit de nutrientes hidropónicos especializados	1	150	150
Suma total				150

### **3.9. Detalle del Trabajo de Investigación**

#### ***3.9.1. Metodología de la Investigación***

La metodología utilizada en el presente trabajo de investigación en el desarrollo, seguimiento y evaluación del experimento se detallan a continuación de la siguiente manera como sigue a continuación:

#### ***3.9.2. Limpieza del Área Experimental***

Inicialmente se efectuó la limpieza del área para el respectivo trabajo de estudio, para lo cual se utilizó las herramientas, azadón, rastrillo y pala para la limpiar un área de 4m. x 4m.

#### ***3.9.3. Armado de vivero***

Una vez limpiada el área experimental se procedió a armar el vivero donde se utilizó cuatro horcones de 4 m. de largo los cuales se pusieron en las cuatro esquinas del área de trabajo que mide 16 m<sup>2</sup>, seguidamente se realizó el colocado y clavado con clavo de 4 pulgadas las 2 vigas de 4 m. de largo encima de cada dos horcones, finalizando se procedió con el armado y colocado de las 2 celchas para colocar posteriormente la malla sombra ( 2 m. x 60 m.) tanto en el techo como también en los bordes del vivero.

#### ***3.9.4. Armado del sistema hidropónico vertical***

Una vez armado el vivero se procedió a la instalación del sistema hidropónico vertical la cual se describe a continuación: Se armó dos tubos PVC de 8 pulgadas de ancho y 3 metros de largo posteriormente se instaló un tanque de agua de 450 litros, una motobomba eléctrica y 2 tubos de 4 pulgadas y 4 metros de largo.

### ***3.9.5. Obtención de la Semilla***

La semilla del Cilantro se obtuvo del Sena, precautelando que en el momento de comprar la misma este en óptimas condiciones para su cultivo.

### ***3.9.6. Siembra de la Semilla de Cilantro***

Una vez obtenida las semillas de Cilantro se procedió a la siembra de la misma, se colocó encima de una mesa de madera un recipiente de plástico de 32 cm de ancho y 45 cm de la largo x 3,8 cm, seguidamente se incorporó la espuma fenólica donde Cada celda mide de 2.5 cm x 2,5 cm x 3,8 cm., la placa mide 30 cm de ancho x 45 cm de largo que tiene una capacidad de cabida de 216 plantas.

### ***3.9.7. Traslado de los plantines al sistema hidropónico vertical***

Una vez que las semillas de cilantro germinaron y alcanzaron una altura de 6 cm. Se procedió al traslado de los plantines al sistema hidropónico vertical.

### ***3.9.8. Proceso de Implementación de Nutrientes***

Una vez realizado el traslado de los plantines de cilantro al sistema hidropónico vertical, se procedió al preparado del kit de nutrientes se realizó la preparación en un recipiente.

### ***3.9.9. Culminación del Trabajo de Investigación***

El trabajo de investigación llegó a su culminación una vez que las plantas de cilantro obtuvieron la una altura de 15 cm.

### **3.10. Plan de Procesamiento de la Información**

#### **3.10.1. Variables a evaluar**

✓ *Altura de la planta (cm)*

Para el registro de esta variable se medirá la parte basal desde el cuello hasta el ápice de la planta con la ayuda de una regla metálica, este dato se tomó una vez por semana.

✓ *Numero de hojas*

Se realizó un conteo manual y metódico de las ramas verdaderas por planta muestra, se llevó a cabo el conteo una vez por semana.

✓ *Longitud de la raíz cm.*

Para medir esta variable se utilizó un flexómetro, se midió desde el cuello superior de la raíz para abajo de cada muestra.

✓ *Rendimiento en gramos*

Para cuantificar el rendimiento se consideró el peso cosechado de plantas de cilantro, estos valores fueron evaluados en una balanza de precisión.

**CAPÍTULO IV**

**RESULTADOS DE LA**

**INVESTIGACION**

## 4.1. RESULTADOS

Los resultados que se muestran a continuación, reflejan el efecto de los factores estudiados en el presente trabajo de investigación.

### 4.1.1. *Altura de la planta (cm)*

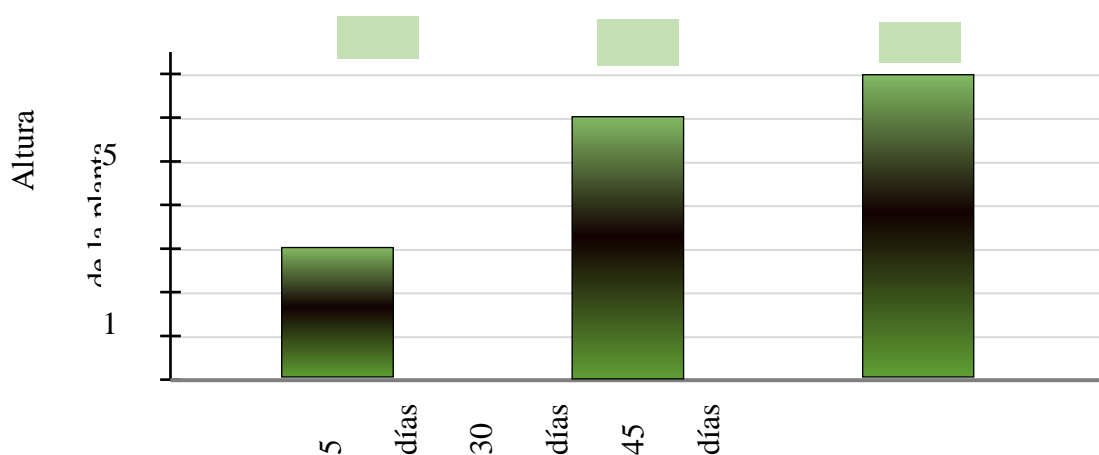
De acuerdo con los datos obtenidos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el comportamiento de la variable altura de la planta del cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema hidropónico vertical, en tres momentos específicos del ciclo de crecimiento: a los 15, 30 y 45 días después de la siembra.

Los resultados muestran un crecimiento progresivo y constante de las plantas a lo largo del tiempo. A los 15 días, las plantas presentaron una altura promedio de 5 cm, lo que indica el inicio del desarrollo vegetativo bajo condiciones controladas. A los 30 días, se observó un crecimiento significativo, alcanzando una altura promedio de 11 cm, lo que refleja una buena adaptación al sistema hidropónico. Finalmente, a los 45 días, las plantas lograron una altura media de 15 cm, evidenciando un desarrollo continuo y saludable.

Esta evolución en la altura de las plantas demuestra que el sistema hidropónico vertical favorece un crecimiento estable del cultivo de cilantro bajo las condiciones climáticas locales del departamento de Pando. La tendencia ascendente en la altura confirma la eficiencia del sistema de producción utilizado.

**Tabla 9: Altura de la planta**

Altura de la Planta			
Tratamiento	15 días	30 días	45 días
T 1	5 cm.	11cm.	15cm.

**Figura 5: Altura de la planta:**

#### 4.1.2. Numero de Hojas

Con base en los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para evaluar el comportamiento de la variable número de hojas por planta en el cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) desarrollado en un sistema hidropónico vertical.

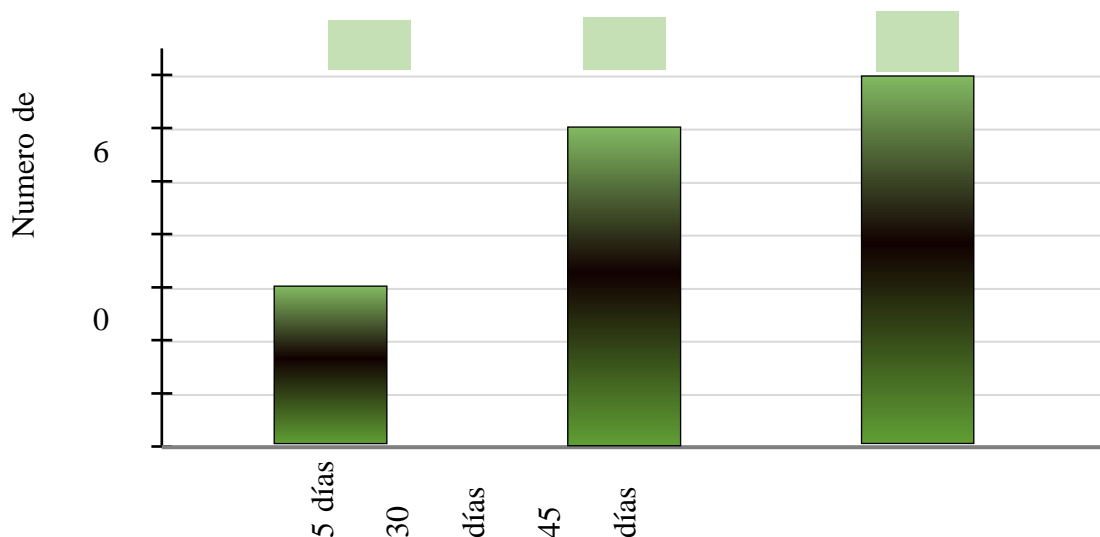
La información recolectada en tres momentos del ciclo de crecimiento muestra una evolución positiva y continua. A los 15 días después de la germinación, las plantas presentaron en promedio 6 hojas, lo que indica un adecuado inicio del desarrollo foliar. A los 30 días, el número de hojas aumentó a 10, reflejando un crecimiento sostenido de la masa

vegetativa. Finalmente, a los 45 días, se alcanzó un promedio de 16 hojas por planta, evidenciando una buena respuesta fisiológica del cultivo bajo las condiciones del sistema hidropónico vertical.

El aumento progresivo en el número de hojas sugiere que las plantas aprovecharon eficientemente los nutrientes suministrados por el sistema hidropónico, así como las condiciones ambientales del entorno. Estos resultados demuestran que el cultivo de cilantro puede desarrollar adecuadamente su estructura foliar en un sistema de producción sin suelo, lo que representa una alternativa viable para zonas con condiciones similares a las del departamento de Pando.

***Tabla 10: Numero de Hojas***

<b>Numero de Hojas</b>			
<b>Tratamiento</b>	<b>15 días</b>	<b>30 días</b>	<b>45 días</b>
T 1	6	10	16

**Figura 6: Numero de Hojas:**

#### 4.1.3. Longitud de la raíz cm.

De acuerdo con los resultados obtenidos, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para la variable longitud de la raíz en el cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) bajo sistema hidropónico vertical, midiendo esta característica a los 15, 30 y 45 días después de la germinación.

Los datos reflejan un crecimiento progresivo de la raíz a lo largo del ciclo. A los 15 días, las raíces presentaron una longitud promedio de 3 cm, indicando el inicio del desarrollo radicular. A los 30 días, se observó un incremento a 5 cm, evidenciando una expansión del sistema radicular en respuesta al ambiente nutritivo del sistema hidropónico. Finalmente, a los 45 días, se alcanzó una longitud promedio de 8 cm, mostrando un desarrollo firme y saludable de las raíces.

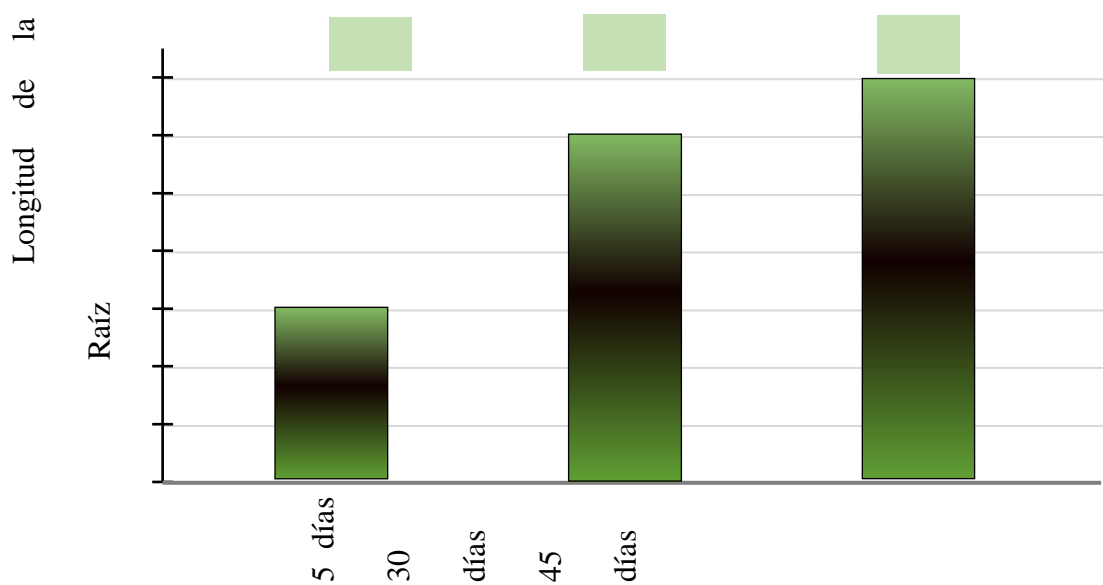
Este crecimiento sostenido de la raíz indica una adecuada absorción de nutrientes y agua, lo que confirma que el sistema hidropónico vertical proporciona condiciones óptimas para el desarrollo subterráneo del cultivo. La longitud de raíz alcanzada también es un

indicador indirecto de la eficiencia del sistema en cuanto al suministro y disponibilidad de nutrientes, favoreciendo el rendimiento general del cilantro en ambientes controlados como el de la casa hidropónica “EDÉN”.

**Tabla 11:** Longitud de la raíz

Longitud de la Raíz (cm.)			
Tratamiento	15 días	30 días	45 días
T 1	3 cm.	5 cm.	8 cm.

**Figura 7:** Longitud de la raíz



#### 4.1.4. Rendimiento en gramos

Con base en los resultados obtenidos, se realizó el análisis de varianza (ANOVA) para la variable rendimiento en gramos, medido al final del ciclo de cultivo, a los 45 días después de la siembra.

Los datos muestran que el tratamiento evaluado (T1), correspondiente al cultivo de cilantro (*Coriandrum sativum*) en sistema hidropónico vertical, alcanzó un rendimiento promedio de 1,920 gramos por planta. Este resultado refleja el peso total de biomasa fresca obtenida al momento de la cosecha.

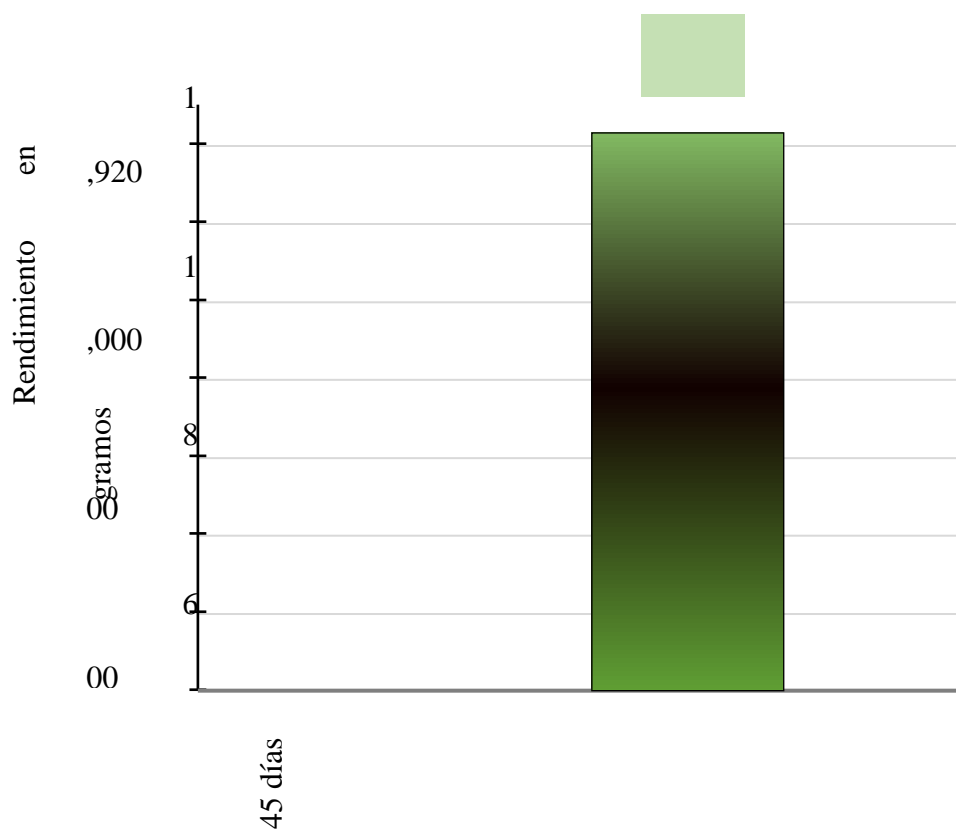
El rendimiento alcanzado evidencia un buen aprovechamiento de los nutrientes suministrados mediante la solución nutritiva, así como una eficiente conversión de estos en masa vegetal bajo las condiciones climáticas del departamento de Pando. Además, la producción lograda respalda la viabilidad del sistema hidropónico vertical como alternativa productiva, especialmente en contextos donde el espacio es limitado y se requiere optimizar recursos.

Este rendimiento también permite establecer parámetros comparativos para futuras investigaciones o escalamiento del sistema a nivel comercial o familiar en zonas similares.

***Tabla 12: Rendimiento en gramos***

Rendimiento en gramos	
Tratamiento	45 días
T 1	1.920

**Figura 8: Rendimiento en gramos**



## 4.2. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos en la presente investigación sobre la adaptabilidad del cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema hidropónico vertical bajo condiciones climáticas del departamento de Pando, muestran un desarrollo vegetativo y productivo favorable, lo cual se evidencia en el crecimiento progresivo de las variables analizadas.

En cuanto a la altura de planta, se observó un crecimiento constante desde los 5 cm a los 15 días hasta alcanzar 15 cm a los 45 días. Este comportamiento coincide con lo reportado por González et al. (2021), quienes señalan que el sistema hidropónico proporciona condiciones óptimas de nutrición y oxigenación radicular, lo que favorece el desarrollo vertical del cilantro. Del mismo modo, Molina y Pérez (2020) afirman que la altura de la planta está estrechamente relacionada con la disponibilidad continua de nutrientes y la regulación de la temperatura en ambientes controlados, características presentes en este estudio.

Respecto al número de hojas por planta, se registraron 6 hojas a los 15 días, 10 a los 30 días y 16 a los 45 días, lo que refleja un desarrollo foliar saludable. Estos resultados son similares a los obtenidos por Ramírez y Soto (2019), quienes reportan que el cilantro cultivado en sistemas hidropónicos puede duplicar la cantidad de hojas en comparación con sistemas tradicionales en suelo, siempre que se mantenga un adecuado control de la solución nutritiva. Además, según López et al. (2018), el desarrollo de hojas en hidroponía depende de factores como la luz y la humedad, elementos presentes en el ambiente controlado del sistema vertical utilizado.

La longitud de la raíz, que alcanzó hasta 8 cm a los 45 días, también fue favorable. En estudios similares, como el de Fernández y Cabrera (2020), se destaca que las raíces en sistemas hidropónicos tienden a ser más largas y funcionales, debido al acceso constante al oxígeno y a la solución nutritiva. Esto se refleja en la capacidad de absorción eficiente de nutrientes, lo que influye directamente en el desarrollo general de la planta.

En cuanto al rendimiento, el resultado de 1,920 gramos por planta a los 45 días representa un buen potencial productivo. Este valor está dentro del rango reportado por

Zambrano et al. (2021) en estudios realizados con cilantro en hidroponía NFT, donde se alcanzaron rendimientos entre 1,500 y 2,100 gramos por planta. Este rendimiento reafirma lo señalado por Bravo (2019), quien sostiene que los sistemas hidropónicos verticales pueden superar la producción convencional cuando se optimizan las variables ambientales y nutritivas.

En conjunto, los resultados del presente estudio permiten afirmar que el cultivo de cilantro en sistema hidropónico vertical se adapta favorablemente a las condiciones climáticas del departamento de Pando, y que este método representa una alternativa viable y sostenible para la producción hortícola en zonas tropicales, especialmente donde el espacio para cultivo convencional es reducido.

**CAPÍTULO V**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la adaptabilidad del cilantro (*Coriandrum sativum*) en un sistema hidropónico vertical, bajo las condiciones climáticas del departamento de Pando. A partir del análisis de las variables agronómicas y productivas, se pudo constatar que el sistema hidropónico vertical constituye una alternativa viable, eficiente y sostenible para el cultivo de esta especie en ambientes tropicales.

Los resultados obtenidos a lo largo del ciclo fenológico del cultivo muestran un desarrollo progresivo en los diferentes parámetros evaluados. En relación a la altura de la planta, se registró un crecimiento constante: 5 cm a los 15 días, 11 cm a los 30 días y 15 cm a los 45 días, lo cual demuestra una buena respuesta fisiológica del cultivo en condiciones sin suelo. Esto evidencia que el sistema hidropónico vertical proporciona un ambiente favorable para la expresión del potencial genético de la planta, garantizando una nutrición balanceada, disponibilidad continua de agua y un entorno libre de estrés hídrico o de salinidad.

En cuanto al número de hojas, se observó también un crecimiento sostenido, alcanzando 6 hojas a los 15 días, 10 hojas a los 30 días y 16 hojas a los 45 días. Este comportamiento está directamente relacionado con la disponibilidad de nutrientes esenciales en la solución nutritiva, la buena iluminación y la estabilidad climática del sistema, factores que favorecen la actividad fotosintética y el desarrollo foliar.

Respecto a la longitud de la raíz, se constató un desarrollo progresivo desde los 3 cm a los 15 días, hasta alcanzar los 8 cm a los 45 días. Este crecimiento radicular es indicativo de un sistema de raíces bien establecido y funcional, lo que permitió una óptima absorción de agua y nutrientes, reflejándose en el desarrollo general de la parte aérea del cultivo.

El dato más relevante en términos productivos fue el rendimiento obtenido, el cual alcanzó un promedio de 1.920 gramos por planta a los 45 días. Este resultado confirma la eficiencia del sistema hidropónico vertical no solo para sostener el crecimiento del cultivo, sino también para generar una biomasa significativa en un periodo relativamente corto, lo cual lo convierte en una alternativa rentable y adaptable para pequeños y medianos productores en la región.

Adicionalmente, se pudo comprobar que el clima del departamento de Pando, caracterizado por temperaturas cálidas, alta humedad relativa y buena radiación solar, es compatible con la producción hidropónica del cilantro, siempre y cuando se mantenga el control de las variables internas del sistema, como la temperatura del agua y la composición de la solución nutritiva.

En resumen, el estudio permitió comprobar que el cultivo de cilantro en un sistema hidropónico vertical es factible en condiciones climáticas tropicales como las de Pando. Se concluye que este tipo de sistema puede ser implementado como una estrategia innovadora para diversificar la producción hortícola, mejorar el uso del espacio vertical y fomentar prácticas agrícolas sostenibles que respondan a las necesidades actuales de seguridad alimentaria, eficiencia en el uso de recursos y adaptación al cambio climático.

#### **4.2. Recomendaciones**

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación, se recomienda promover la adopción del sistema hidropónico vertical para el cultivo de *cilantro* (*Coriandrum sativum*) en el departamento de Pando, debido a su demostrada capacidad para adaptarse favorablemente a las condiciones climáticas locales y optimizar el uso del espacio y los recursos hídricos y nutritivos. Este sistema representa una alternativa viable para

productores que enfrentan limitaciones de suelo, disponibilidad de terreno o buscan métodos de producción sostenibles y tecnificados.

Se recomienda impulsar programas de capacitación dirigidos a productores agrícolas, técnicos y estudiantes en el manejo integral de sistemas hidropónicos verticales. Estos programas deben contemplar aspectos esenciales como la preparación y mantenimiento de la solución nutritiva, el control del pH y la conductividad eléctrica, la gestión adecuada de la temperatura y la humedad, así como el monitoreo constante del desarrollo del cultivo para maximizar su rendimiento y calidad.

Es pertinente desarrollar investigaciones adicionales que permitan evaluar la respuesta de diferentes variedades de cilantro y otros cultivos hortícolas a las condiciones de cultivo hidropónico vertical en la región, con el fin de identificar genotipos con mayor adaptabilidad, resistencia a plagas y enfermedades, y mejor productividad. Esta diversificación contribuirá a fortalecer la oferta agrícola local y a fomentar la seguridad alimentaria.

Asimismo, la incorporación de tecnologías complementarias, tales como sistemas automatizados de riego, sensores ambientales y sistemas de iluminación artificial, podrían mejorar significativamente la eficiencia y estabilidad de la producción durante períodos con variaciones climáticas o en ambientes cerrados.

Finalmente, se considera fundamental la difusión de los resultados y beneficios de esta investigación en instituciones educativas, centros de investigación y comunidades productoras, con el objetivo de incentivar la adopción de prácticas agrícolas innovadoras, sostenibles y eficientes que contribuyan al desarrollo rural integral y a la conservación del medio ambiente en el departamento de Pando.

## BIBLIOGRAFIA

Alejandro, J., Quintero, R., Octavio Méndez Márquez, R., Gutiérrez Hernández, R., Araceli, C., & Estrada, R. (2021). Evaluación del efecto antibacteriano del extracto de cilantro (*Coriandrum Sativum*) sobre bacterias patógenas gastrointestinales. *Memoria Universitaria*, 3(2). <https://revistas.uaz.edu.mx/index.php/MemUni/article/view/1290>

Avilez Bedoya, Y. M. (2019). *Detallar el Desarrollo de un Cultivo de Cilantro (Coriandrum sativum) en un sistema aerónico automatizado*. Universidad Nacional Abierta Y A Distancia (UNAD).

Cachi Torrez, I. R. (2024). *Producción de variedades del cilantro (Coriandrum sativum L.) con distintas densidades de siembra en ambiente protegido en la ciudad de el alto*. Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía.

Cortes Peña, R., & Ruiz Sanchez, X. G. (2021). *Control Fitosanitario en hortalizas alternativas orgánicas*.

D. C., U. P., C., U. R., C. R. Bonilla C., & M. S., S. O. (2003). Efecto de la fertilización orgánica sobre la producción de follaje y rendimiento de semilla de cilantro (*Coriandrum sativum L.*) Variedad Unapal Precoso. *Acta Agronómica- Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira*, 52, 59–63.

Giraldo V, L. D., & Henao S, J. D. (1986). *El Cultivo de Cilantro*.

Gomez Mendez, I. J. (2020). *Calidad Sanitaria de las Hortalizas y su Relación con las enfermedades transmisibles por alimentos*. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

Jose Solorzano Giler, & Jimmy, L. S. (2022). Método hidropónico en la producción del cultivo de cilantro Hydroponic method in the production of the coriander crop. *Revista Sinapsis, 1*, 1–11. <https://www.itsup.edu.ec/sinapsis>

Marulanda, C., & Izquierdo, J. (2003). *La Huerta Hidropónica Popular* (3° Edición). FAO.

Masabni, J., & Lillard, P. (2014). *Jardinería Fácil*.

Morales, J. P. (1995, September). Cultivo de Cilantro, Cilantro ancho y Perejil. *Boletín Técnico N°25 -Fundación de Desarrollo Agropecuario,Inc.*, 1–30.

# **ANEXOS**

## Anexo 1: Croquis de la investigación



Anexo 2: Etapas de la limpieza del área designada para la investigación.



Anexo 3: Etapas de la preparación del área de investigación



Anexo 4: Faces del cultivo



## Anexo 5: Planilla de Campo

35% / 1/300  
105 ÷ 4 Autos → 26 plantas

**Planilla de Control de Crecimiento Semanal del cilantro verde (*coriandrum sativum*) en ambientes hidropónicos (100 Plantas)**

Semana/Mes	Fecha	Condiciones Climáticas	Observaciones Generales
01 -			

**Datos por Planta**

Planta	Altura (cm)	Número de Hojas	Ancho del Tallo (mm)	Estado de Salud	Agua (litros)	Fertilización	Observaciones
1 semana →	1	2 cm	2 cotiledones	1/2 mm	Sano	200 Lt.	us/cm PH 800 5.10
	2						
	3						
	4						
	5	2.10 cm	2 cotiledones	1/2 mm	Sano	200 Lt.	us/cm PH 800 5.10
	6						
	7						
2 semana →	8	3 cm.	2 cotiledones	1/2 mm	Sano	200 Lt.	us/cm PH 800 5.24
	9						
	10						
	11						
	12	4 cm.	3 Hojas	1/2 mm	Sano	200 Lt.	us/cm PH 800 5.01
	13						
	14						
3 semana →	15	5 cm.	6 Hojas	1 mm	Sano	200 Lt.	us/cm PH 800 5.14
	16						
	17						
	18	6 cm	8 Hojas	1 mm	Sano	200 Lt.	us/cm PH 878 5.20
	19						
	20						
4 semana →	21						
	22	8 cm.	8 Hojas	1 mm	Sano	200 Lt.	us/cm PH 878 5.59
	23						
	24						
	25	9 cm	8 Hojas	1 mm	Sano	200 Lt.	us/cm PH 900 5.89
	26	"					
	27						
	28						
5 semana →	29						
	30	11 cm.	10 Hojas	2 mm	Sano	200 Lt.	us/cm PH 900 5.50
	31						

Planilla de Control de Crecimiento Semanal del cilantro verde (*coriandrum sativum*) en ambientes hidropónicos (100 Plantas)

Semana/Mes	Fecha	Condiciones Climáticas	Observaciones Generales

Datos por Planta

Planta	Altura (cm)	Número de Hojas	Ancho del Tallo (mm)	Estado de Salud	Agua (litros)	Fertilización	Observaciones
1							
2							
3	12 cm	11 Hojas	3mm	Sano	200 Lt		
4							
5							
6							
7							
8						us/ln pH	
6 semana → 9	13 cm	14 Hojas	3mm	Sano	1780 Lt	961.2235.45	—
10							
11							
12							
13						us/ln pH	
7 semana → 14	15 cm	16 Hojas	3mm	Sano	200 Lt	1223 6.01	—
15							
16							
17							
18							
19							
20							
21							
22							
23							
24							
25							
26							
27							
28							
29							
30							
31							