

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**



**EFFECTO DE UNA SOLUCIÓN HIDROPÓNICA A PARTIR DEL BIOL DE  
AGUAS MIELES EN LA PRODUCTIVIDAD DE *Lactuca sativa*  
(LECHUGA) EN AMAZONAS 2022**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO AMBIENTAL**

**PRESENTADO POR:**

**ROSALES ATAVILLOS RUSSELL NEIL**

**Tingo María – Perú**

**2023**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**Tingo María- Perú**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N°082-2023-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 20 de setiembre del 2023, a horas 08:30 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EFECTO DE UNA SOLUCIÓN HIDROPÓNICA A PARTIR DEL BIOL DE AGUAS MIELES EN LA PRODUCTIVIDAD DE *Lactuca sativa* (LECHUGA) EN AMAZONAS 2022”.**

Presentado por el Bachiller: **ROSALES ATAVILLOS, Russell Neil**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 26 de setiembre de 2023

**Mtblgo. M. Sc. LUIS ALBERTO SANCHEZ ROMERO**  
**PRESIDENTE**

**Ing. M. Sc. ANDY WILLIAMS VELA ZEVALLOS**  
**MIEMBRO**

**Ing. M. Sc. MARIBEL FLORA ROCA CAPCHA**  
**MIEMBRO**



**Ing. M. Sc. JOSÉ LUIS PAREDES SALAZAR**  
**ASESOR**

**Blgo. M. Sc. JESÚS RASCÓN BARRIOS**  
**ASESOR**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS  
Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



“Año de la unidad, la paz y el desarrollo”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 274- 2023 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis

X

Trabajo de investigación

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
EFFECTO DE UNA SOLUCIÓN HIDROPÓNICA A PARTIR DEL BIOL DE AGUAS MIELES EN LA PRODUCTIVIDAD DE Lactuca sativa (LECHUGA) EN AMAZONAS 2022	ROSALES ATAVILLOS RUSSELL NEIL	<b>16 %</b> <b>Dieciséis</b>

Tingo María, 13 de octubre de 2023

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
-----  
Dr. Tomás Menacho Mallqui  
DIRECTOR

# UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



## EFFECTO DE UNA SOLUCIÓN HIDROPÓNICA A PARTIR DEL BIOL DE AGUAS MIELES EN LA PRODUCTIVIDAD DE *Lactuca Sativa* (LECHUGA) EN AMAZONAS 2022

<b>Autor</b>	: ROSALES ATAVILLOS, RUSSELL NEIL
<b>Asesores de Tesis</b>	: Ing. M. Sc. José Luis Paredes Salazar Blgo. M. Sc. Jesús Rascón Barrios
<b>Objetivo General</b>	: Evaluar el efecto de una solución hidropónica a partir del biol de aguas mieles en la productividad de <i>L. sativa</i> .
<b>Programa de investigación</b>	: Ciencias y Tecnologías Ambientales
<b>Línea de investigación</b>	: Bioproducción: aditivos, combustibles, fertilizantes y otros
<b>Eje temático</b>	: Desarrollo de tecnologías mixtas
<b>Lugar de ejecución</b>	: Amazonas
<b>Duración del trabajo</b>	: Inicio : Diciembre 2021 Término : Abril 2023
<b>Financiamiento</b>	: S/ 17 190

Tingo María – Perú, 2023



VICERRECTORADO DE INVESTIGACION  
OFICINA DE INVESTIGACION

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCION DEL  
TITULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE  
Y TESISISTA

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos Generales de Pregrado

<b>Universidad</b>	:	Universidad Nacional Agraria de la Selva.
<b>Facultad</b>	:	Facultad de Recursos Naturales Renovables.
<b>Título de tesis</b>	:	Efecto de una solución hidropónica a partir del biol de aguas mieles en la productividad de <i>Lactuca sativa</i> (lechuga) en amazonas 2022.
<b>Autor</b>	:	Rosales Atavillos, Russell Neil.
<b>Asesores de tesis</b>	:	Ing. M. Sc. José Luis Paredes Salazar Blgo. M. Sc. Jesús Rascón Barrios.
<b>Escuela Profesional</b>	:	Ingeniería Ambiental.
<b>Programa de investigación</b>	:	Ciencias y Tecnologías Ambientales.
<b>Línea(s) de investigación</b>	:	Bioproducción: aditivos, combustibles, fertilizantes y otros.
<b>Eje Temático</b>	:	Desarrollo de tecnologías mixtas.
<b>Lugar de ejecución</b>	:	Chachapoyas y Santa Rosa, Amazonas.
<b>Duración</b>	:	Inicio : Diciembre 2021 Término : Abril 2023
<b>Financiamiento</b>	:	FEDU : S/0.00 Propio : S/2 000.00 Otros : S/ 17 190.00

Tingo María, Perú, octubre 2022.

Russell Neil Rosales  
Atavillos  
Tesisista

José Luis Paredes Salazar  
Asesor

Jesús Rascón Barrios  
Asesor

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo de investigación:

A **DIOS** Todopoderoso por su infinito amor y misericordia que estuvo reflejado en cada etapa, fortaleciéndome, guiándome, guardándome, protegiéndome, dándome sabiduría e inteligencia, por ser el centro de mi vida, por permitirme culminar esta etapa de mi vida con una visión más amplia sobre el futuro.

A mis amados padres **Jhony Rosales Solano y Luzmila Atavillos Clemente** por haber inculcado todos los valores que hoy forman parte de mí, como persona y profesional. Con su amor, sabiduría, disciplina y cada uno de sus consejos me han guiado hasta llegar a este objetivo. Que el Señor les siga dando muchos años más de vida y compartan conmigo por muchos años más.

A mis amadas hermanas **Gina y Semni** por todo su apoyo incondicional y por llenar nuestras vidas con la siguiente generación mis sobrinos **Enrique Benjamín y Christina Sofía**. Sigam el camino del Señor y guíen a sus hijos por el camino del bien.

A mi futura esposa **Gludy** por acompañarme en esta travesía desde el primer momento, por su apoyo incondicional, motivación, confianza y por creer en mí durante el desarrollo de esta investigación, por ser mi ayuda idónea.

## AGRADECIMIENTOS

Debo dar a conocer un gran reconocimiento a las siguientes personas e instituciones:

- A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, a la Facultad de Recursos Naturales Renovables, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, por el conocimiento impartidos hacia mi persona y así fomentar mi formación profesional y personal.
- A la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza y al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva por facilitarme sus instalaciones para la ejecución de este trabajo de investigación.
- Al FONDECYT, que me brindó la oportunidad de ser parte del proyecto “Sistema de tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás para el secado de café y biol para crear soluciones hidropónicas como adaptación al cambio climático y el desarrollo de agricultura sostenible – BIOGAS”, de esta manera acceder al financiamiento de este trabajo de investigación.
- Un sincero agradecimiento al Ing. M. Sc. José Luis Paredes Salazar, quien más que asesor de este trabajo de investigación es un gran amigo. Por todos los conocimientos, paciencia, recomendaciones y tiempo que aportaron solidez a este trabajo de investigación.
- Un Profundo agradecimiento al Blgo. M. Sc. Jesús Rascón Barrios, asesor de este trabajo de investigación, quien se convirtió en un gran amigo, por sus contribuciones, apoyo, guía y sobre todo por las facilidades durante la ejecución de este trabajo de investigación.
- Al Mtblgo., M. Sc. Luis Alberto Sánchez Romero, Ing. M. Sc. Andy Williams Vela Zevallos y Ing. M. Sc. Maribel Flora Roca Capcha, miembros de mi jurado de tesis por todo el tiempo, las sugerencias y contribuciones que aportaron a este trabajo de investigación.
- A Darwin Portocarrero Gómez y su familia, por el apoyo, las facilidades que ayudaron a la ejecución de este trabajo de investigación.
- A Carlos, Dalila, Edith, Elder, Lily, Julio y Willan compañeros y amigos del Laboratorio de Investigación de Suelos y Aguas, en la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- A Jaime, Julio, Karin y Jorge Luis, por su apoyo durante los recorridos y ejecución de esta investigación y al Ing. Wildor Angeles Gosgot, por su acompañamiento técnico, aporte de conocimientos y facilidades en la logística.
- Agradecer a mis compañeros y amigos de la vida universitaria Beatriz, Dayra, Ever, Jhonatan, María T., Rosa y Yulio.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. Objetivos .....	2
1.1.1. Objetivo general .....	2
1.1.2. Objetivos específicos .....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Marco teórico.....	3
2.1.1. Aguas mieles .....	3
2.1.2. Digestión anaerobia .....	8
2.1.3. Biol .....	11
2.1.4. Cultivo de <i>L. sativa</i> .....	15
2.1.5. Producción hidropónica .....	16
2.1.6. Soluciones hidropónicas .....	18
2.1.7. Parámetros que afectan a la solución nutritiva.....	20
2.1.8. Sistema NFT.....	22
2.1.9. Análisis de ciclo de vida .....	24
2.2. Estado del arte.....	27
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1. Descripción de lugar de estudio.....	31
3.1.1. Lugar de ejecución.....	31
3.1.2. Ubicación geográfica .....	31
3.1.3. Ubicación política.....	31
3.1.1. Aspectos sociales y ambientales.....	31
3.2. Materiales y equipos .....	32
3.2.1. Materiales.....	32
3.2.2. Equipos .....	33
3.2.3. Software .....	33

3.3.	Criterios de investigación.....	33
3.3.1.	Variables de investigación.....	33
3.3.2.	Tipo de investigación.....	33
3.3.3.	Diseño de investigación.....	33
3.4.	Metodología.....	34
3.3.1.	Caracterización fisicoquímica y microbiológica al biol.....	34
3.3.2.	Composición nutricional del biol.....	37
3.3.3.	Determinación de la productividad de <i>L. sativa</i> por efecto de la aplicación de diferentes formulaciones de una solución hidropónica del biol.....	38
3.3.4.	Análisis de ciclo de vida del sistema de producción hidropónica de <i>L. sativa</i> .....	40
3.5.	Análisis estadístico.....	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42
4.1	Características fisicoquímica y microbiológica del biol.....	42
4.2	Composición nutricional del biol.....	44
4.3	Productividad en el cultivo de <i>L. sativa</i> por efecto de la aplicación de diferentes formulaciones de una solución hidropónica del biol.....	46
4.3.1.	Componentes nutricionales de las diferentes formulaciones.....	46
4.3.2.	Características agronómicas de <i>L. sativa</i> .....	49
4.3.3.	Parámetros químicos de la solución nutritiva.....	53
4.4	Ciclo de vida del sistema de producción hidropónica de <i>L. sativa</i> .....	55
4.4.1.	Objetivos y alcance.....	55
4.4.2.	Inventario de ciclo de vida.....	56
4.4.3.	Evaluación de impactos.....	57
4.4.1.	Interpretación.....	59
V.	CONCLUSIONES.....	64
VI.	PROPUESTAS A FUTURO.....	65
VII.	REFERENCIAS.....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

Tablas	Página
1. Composición química de las aguas mieles del beneficiado húmedo del café.....	3
2. Principales sistemas de tratamiento biológico-físico en aguas residuales del café.....	5
3. Composición química de biol procedente de aguas mieles.....	13
4. Composición química de biol procedente de contenido rumial bovino.....	13
5. Composición química de biol procedente de estiércol ovino.....	14
6. Clasificación taxonómica .....	15
7. Concentración de macroelementos en la solución nutritiva .....	19
8. Concentración de microelementos en la solución nutritiva .....	19
9. Ubicación geográfica de los lugares.....	31
10. Tratamientos de estudio.....	34
11. Métodos para la caracterización del biol .....	35
12. Parámetros medidos en el presente estudio.....	39
13. Parámetros fisicoquímicos del biol.....	42
14. Parámetros microbiológicos del biol.....	43
15. Parámetros inorgánicos no metálicos del biol.....	44
16. Parámetros metálicos del biol.....	45
17. Indicadores evaluados en cada tratamiento de la investigación.....	46
18. Contenido nutricional de los diferentes tratamientos.....	47
19. Deficiencia o exceso nutricional entre el testigo y los tratamientos.....	49
20. Entradas y salidas en la etapa de instalación del sistema hidropónico.....	56
21. Entradas y salidas en la etapa de puesta en funcionamiento del sistema hidropónico...	57
22. Resumen de la evaluación de impactos ambientales.....	58
23. Número de hojas para cada tratamiento y repetición.....	80
24. Longitud de raíz para cada tratamiento y repetición.....	81
25. Diámetro de área foliar para cada tratamiento y repetición.....	82
26. Parámetros químicos de los tratamientos.....	83

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figuras	Página
1. Diagrama de flujo del proceso productivo del café .....	4
2. Representación de las principales etapas del metabolismo anaerobio, así como de los compuestos más representativos del proceso .....	9
3. Diagrama del sistema de producción de biogás y bioabonos con biodigestor tubular ...	12
4. Sistemas y medios para cultivos sin suelo .....	17
5. Disponibilidad de nutrientes en relación con el pH .....	20
6. Ilustración del sistema hidropónico NFT .....	22
7. Etapas del Análisis de Ciclo de Vida.....	25
8. Límites del sistema típicamente usados en el Análisis de Ciclo de Vida.....	25
9. Relación de los elementos de la etapa de interpretación con otras fases del análisis de ciclo de vida.....	27
10. Diseño de investigación.....	34
11. Flujograma estándar para el análisis de ciclo de vida del sistema de producción hidropónica tipo NFT de <i>L. sativa</i> .....	40
12. Relación entre los indicadores ambientales, vías y destino final.....	41
13. Prueba de Nemenyi para la comparación del número de hojas.....	50
14. Prueba de Nemenyi para la comparación de la longitud de raíz .....	51
15. Prueba de Nemenyi para la comparación del diámetro del área foliar .....	52
16. Prueba de Nemenyi para la conductividad eléctrica de los tratamientos.....	53
17. Prueba de Tukey para el pH de los tratamientos.....	55
18. Impactos ambientales que afectan la salud del ser humano.....	59
19. Impactos ambientales que afectan la salud humana y dañan los ecosistemas.....	60
20. Impactos ambientales que dañan los ecosistemas.....	61
21. Impactos ambientales que dañan los ecosistemas.....	62
22. Impactos ambientales que afectan la disponibilidad de recursos.....	63
23. Diseño del sistema hidropónico NFT.....	84
24. Medición del área a utilizar para la instalación del sistema hidropónico.....	85
25. Construcción del invernadero para el sistema hidropónico.....	85
26. Instalación de componentes del sistema hidropónico NFT.....	86
27. Preparación de soluciones concentradas A, B y C de la UNTRM.....	86

28. Soluciones hidropónicas concentradas A, B y C de la UNTRM.....	87
29. Muestras de biol.....	87
30. Análisis de parámetros fisicoquímicos del biol.....	88
31. Siembra de inóculos para análisis microbiológico del biol.....	88
32. Germinación de <i>L. sativa</i> L.....	89
33. Trasplante de plántulas de <i>L. sativa</i> L.....	89
34. Plántulas de <i>L. sativa</i> L. en adaptación a sistema hidropónico.....	90
35. Aplicación del tratamiento 1.....	90
36. Aplicación del tratamiento 2.....	91
37. Aplicación del tratamiento 3.....	91
38. Aplicación del tratamiento 4.....	92
39. Sistema radicular de <i>L. sativa</i> L. hidropónica.....	92
40. Medición de la longitud de la raíz.....	93
41. Medición del diámetro del área foliar.....	93
42. Preparación de biol.....	94
43. Preparación de solución nutritiva.....	94
44. Medición de pH y conductividad eléctrica de la solución nutritiva.....	95
45. Producción de <i>L. sativa</i> L. hidropónica.....	95
46. Ubicación de la instalación del sistema hidropónico.....	96
47. Ubicación de las instalaciones de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.....	97

## RESUMEN

El aprovechamiento de los subproductos del tratamiento de aguas residuales con gran potencial para ser usados en alguna actividad productiva es una manera de ayudar al desarrollo económico de los productores y a la sostenibilidad del planeta. Esta investigación evaluó el efecto de una solución hidropónica a partir del biol de aguas mieles en la productividad de *L. sativa* (Lechuga). Para ello se hizo la caracterización fisicoquímica y microbiológica del biol, después se formuló 3 soluciones hidropónicas con biol al 1% (T2), 5% (T3) y 2,5% (T4) adicionando como fuente de micronutrientes la solución concentrada B de la UNTRM que fueron comparadas con la formulación comercial (T1) de la UNTRM haciendo un total de 4 tratamientos con 5 repeticiones, los cuales fueron usados en la producción hidropónica de *L. sativa* en sistema NFT en un ciclo de cultivo de 45 días, donde se evaluaron el número de hojas, longitud de la raíz y diámetro del área foliar de la planta, el pH y conductividad eléctrica en la solución nutritiva, finalmente se realizó un análisis de ciclo de vida al sistema. Los resultados de productividad mostraron mejores resultados en el T4 con 18 hojas, una longitud de raíz de 25,05 cm y un diámetro foliar de 29,05 cm en promedio, los mayores impactos ambientales se produjeron durante la instalación del sistema hidropónico. Concluyendo así que la solución hidropónica a partir del biol de aguas mieles es una alternativa en la producción de *L. sativa*, logrando resultados similares a una solución hidropónica comercial.

**Palabras claves:** biol, aguas mieles, lechuga, sistema hidropónico NFT, análisis de ciclo de vida

# **The Effect of a Hydroponic Solution of Biol from Coffee Wastewater on the Productivity of *Lactuca sativa* (Lettuce) in the Amazonas During 2022**

## **ABSTRACT**

Taking advantage of the byproducts from the treatment of wastewater with high potential for being used in a productive activity is one way to help the economic development of farmers and the sustainability of the planet. In this research the effect of a hydroponic solution of Biol from coffee wastewater on the productivity of *L. sativa* (lettuce) was evaluated. In order to do this, the physicochemical and microbiological characterization of the Biol was done. Later three hydroponic solutions were formulated with the Biol at 1% (T2), 5% (T3), and 2.5% (T4), adding the concentrated “B” solution from the UNTRM (acronym in Spanish) as a source of micronutrients; [these] were compared to the UNTRM’s commercial formula (T1), making a total of four treatments with five repetitions. [The solutions] were used in the hydroponic production of *L. sativa* in an NFT system, with a crop cycle of forty five days, where the number of leaves, root length, diameter of the foliar area of the plant, pH, and electrical conductivity in a nutritive solution were evaluated. Finally, an analysis of the lifecycle of the system was done. The results for productivity revealed improved results for T4, with eighteen leaves, a root length of 25.05 cm, and an average foliar diameter of 29.05 cm. The greatest environmental impacts were produced during the installation of the hydroponic system. Thus, it was concluded that the hydroponic solution of Biol from coffee wastewater was an alternative in the production of *L. sativa*, achieving similar results to the commercial hydroponic solution.

**Keywords:** Biol, coffee wastewater, lettuce, NFT hydroponic system, life cycle analysis

## I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de café es una de las actividades económicas de mayor auge en la selva alta del Perú, ocupa el quinto lugar entre los países productores de café, la producción ha ido incrementándose desde el 2015 con ello también se incrementan la generación de aguas residuales o también llamadas aguas mieles. El beneficio húmedo del café requiere entre 0,85 a 3,19 L/kg de café cerezo, estimando así la producción de aguas mieles entre 1 134 750 m<sup>3</sup> y 5 673 750 m<sup>3</sup> para el año 2021 que muy probablemente fueron vertidos hacia cuerpos de agua superficiales o suelos cercanos a los sistemas de beneficio, modificando características como el pH, la conductividad eléctrica, temperatura, sólidos suspendidos, turbidez, oxígeno disuelto y la demanda química de los cuerpos receptores, originando afectaciones significativas en su nivel trófico, poniendo en riesgo la continuidad y existencia de los ecosistemas acuáticos.

Amazonas es el cuarto departamento en el Perú con mayor producción de café detrás de San Martín, Junín y Cajamarca, siendo las principales zonas de producción Rodríguez de Mendoza, Luya, Utcubamba y Chachapoyas, cuyo producto es exportado al mercado americano, europeo y asiático. En la provincia de Rodríguez de Mendoza la producción de café es una de las actividades agrícolas de mayor crecimiento en los últimos años. Los productores están organizados en cooperativas, pero tienen deficientes conocimientos sobre el tratamiento de aguas mieles y aún menos en alternativas para obtener ingreso adicional a través del rehúso de los residuos o subproductos del proceso de beneficio del café.

El 85% de estudios sobre el tratamiento de aguas mieles se enfocan principalmente en la remoción de sólidos suspendidos, demanda bioquímica de oxígeno (DQO), o carga orgánica. Solo unos pocos (14%) mencionan opciones para el tratamiento y/o aprovechamiento de los subproductos del proceso, como el biol, el cual ha sido sugerido como fertilizante para aprovecharlos en otros cultivos. El biol producido en un biodigestor mediante la digestión anaerobia (fermentación) a base de los residuos del proceso de transformación del café, es un producto orgánico de altas propiedades fertilizantes.

La Obtención de una solución hidropónica empleando como base biol generado del tratamiento de aguas mieles del café mediante digestión anaeróbica permitirá el aprovechamiento de un subproducto del tratamiento de estas aguas residuales con lo que se ayudará a la sostenibilidad de la producción de café, impulsando la agricultura sostenible del país, alineada con el Objetivo de Desarrollo Sostenible número 12, sobre producción y consumo responsable.

Razón por el cual este trabajo de investigación plantea dar respuesta a la siguiente interrogante ¿Cuál es el efecto de una solución hidropónica a base de biol de aguas mieles en la productividad de *Lactuca sativa* (lechuga)?, así mismo se plantea como hipótesis que, la solución hidropónica a base de biol de aguas mieles incrementa la productividad de *L. sativa*.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

- Evaluar el efecto de una solución hidropónica a partir del biol de aguas mieles en la productividad de *L. sativa*.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Realizar una caracterización fisicoquímica y microbiológica del biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás.
- Conocer la composición nutricional del biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás.
- Determinar la productividad en el cultivo de *L. sativa* por efecto de la aplicación de diferentes formulaciones de una solución hidropónica a partir del biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás.
- Realizar el análisis del ciclo de vida del sistema de producción hidropónica de *L. sativa*.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Marco teórico

#### 2.1.1. Aguas mieles

Son aguas que en su composición presentan diferentes tipos de azúcares (Aguilera et al., 1997). Por otro lado, Sánchez (2017) menciona que, las aguas mieles de café como, aguas residuales producto del beneficio húmedo del café, que usa agua para tres funciones principales, transportar, clasificar los granos y remover el mucílago, presenta alto contenido de materia orgánica y un pH ácido. Guerrero (2007) describe la composición química de las aguas mieles después de haber pasado por el proceso de beneficio del café (Tabla 1).

**Tabla 1.** Composición química de las aguas mieles del beneficiado húmedo del café.

Proceso	Compuesto	Composición del agua miel			
		% Concentración	Materia extraída (kg/QQ oro)	Estimado DQO (kg/QQ oro)	
Despulpe	Proteínas	12,00	0,16	0,25	9,09%
	Taninos	2,40	0,14	0,27	9,82%
	Ácido clorogénico	2,60	0,28	0,40	14,54%
	Ácido cafeíco	0,07	0,01	0,02	0,73%
	Cafeína	1,60	0,29	0,57	20,73%
	Azúcares	8,30	1,13	1,24	45,09%
	<b>Total</b>	<b>26,97</b>	<b>2,01</b>	<b>2,75</b>	<b>100,00%</b>
Lavado	Sustancias pécticas	35,80	1,45	1,20	29,50%
	Celulosa	45,90	1,85	2,04	50,10%
	Azúcares	17,00	0,69	0,83	20,40%
	<b>Total</b>	<b>98,70</b>	<b>3,99</b>	<b>4,07</b>	<b>100,00%</b>

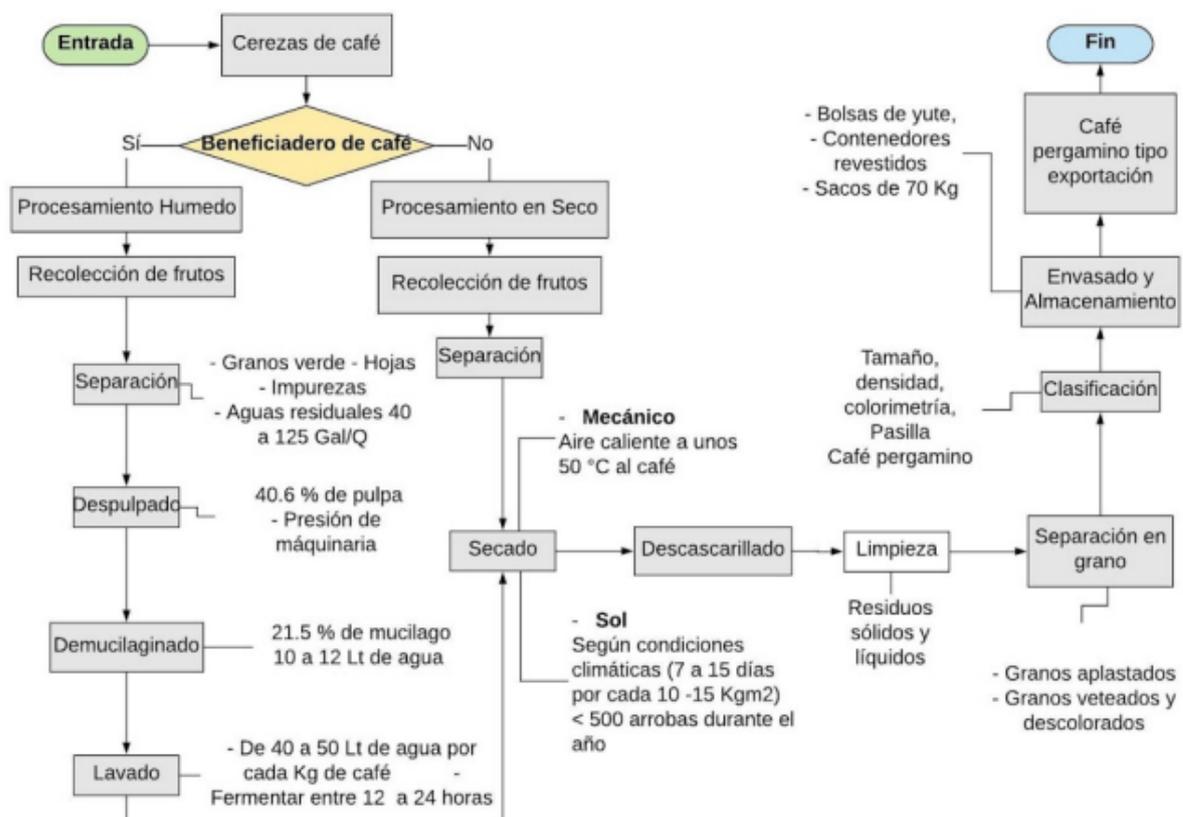
QQ oro; quintales de café pergamino

Fuente: Estudio de Ramas Industriales RAMA - CAFÉ / MARENA – FPP citado por (Guerrero, 2007).

### 2.1.1.1. Contaminación por aguas mieles de café

El aprovechamiento de café como un producto agroindustrial en uno de sus procesos denominado beneficio húmedo produce las aguas residuales o llamadas aguas mieles por el gran contenido de azúcares procedentes del mucílago que conforma el 11,8% del total del fruto fresco (Arcila et al., 2007), que al ser fermentados y luego lavados en los tanques tina poseen un pH entre 4,0 y 4,5 unidades y la demanda química de oxígeno (DQO) presenta valores alrededor de los 27400 mg/L (Zambrano et al., 1999), estas aguas al ser depositadas a corrientes de aguas naturales causa una elevación en la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), aumento de la carga de sólidos totales, generación de olores (Burbano, 2019), vectores como moscas u otras plagas (Fernández, 2020).

El beneficio húmedo del café ocasiona la contaminación del ambiente principalmente por la pulpa que equivale entre el 40 y 46% del peso del fruto con una carga equivalente a 20 kg DQO/quintal de café oro (equivalente poblacional anual de 0.96 persona) y el mucílago que equivale entre el 9 y 11% del peso del fruto con una carga de 6 kg DQO/quintal de café oro (equivalente poblacional anual de 0.29 persona), valores que se estiman en base a la contaminación diaria de una persona establecida en 57 gr DQO/diario equivalente a 20,805 kg DQO/año (Guerrero, 2007).



Fuente: Burbano (2019)

**Figura 1.** Diagrama de flujo del proceso productivo del café.

Costa Rica muestra varios ríos que están contaminadas por la actividad cafetalera y esto se refleja en la flora y fauna fluvial que están prácticamente desaparecidas del río Tárcoles. En el Valle Central muchos ríos tienen poblaciones excesivas de lirios y algas, que actúan como fijadoras de sedimentos (Granados 2004), en Perú el río Mito en Amazonas presenta contaminación por efectos acumulativos por el vertimiento de aguas mieles con una DBO entre 111 y 205 mg/L, DQO entre 36,7 y 352 mg/L (Fluker, 2018).

### 2.1.1.2. Tratamiento de aguas mieles

Uno de los problemas que se mantiene con el tiempo en la producción de café en nuestro país es tratamiento de las aguas mieles y para esto se realizan diferentes investigaciones para generar sistemas para su tratamiento y así poder disponerlos en los cuerpos de agua, suelos o reaprovecharlos en diferentes usos. Por ejemplo, sistemas de tratamiento mediante polímeros naturales orgánicos (Jaulis et al., 2022), biosistemas o humedales con *Eichhornia crassipes* “Jacinto de agua” (Garay y Rivero, 2014), sistemas de filtración con piedra caliza, grava, arena y carbón activado (Ibáñez et al., 2021). Morales et al. (2021) luego de haber realizado una búsqueda bibliográfica presenta diferentes sistemas de tratamiento de aguas mieles, las eficiencias y países donde se realizaron (Tabla 2).

**Tabla 2.** Principales sistemas de tratamiento biológico-físico en aguas residuales del café.

<b>Autor</b>	<b>Año</b>	<b>Sistema de tratamiento</b>	<b>Eficiencia de remoción</b>	<b>País</b>
Córdova et al.	2019	Digestión anaerobia	Reducción de taninos 75%	Ecuador
Gutiérrez et al.	2014	Sedimentador y lecho filtrante	Remoción de SST 95% y DBO <sub>5</sub> cercanas al 20%	Colombia
Torres et al.	2006	Oxidación enzimática	Oxidación hasta el 51,05% del ácido cafeico	Brasil
Tacias-Pascacio et al.	2018	Biorreactor con deflectores acoplado a un sistema de microfiltración	Remoción de turbidez de 98,7%, SST 100% y SDT 61%	México

Wu et al.	2006	Decoloración de efluentes de café de color marrón oscuro utilizando partículas de óxido de zinc/UV	La decoloración se logró después de 180 min para la concentración inicial de café de 50 mg/L con una dosis de ZnO de 3000 mg/L y tres lámparas UV Redujo 80% de color, un 75% de SDT y 80% de DQO, junto al cambio de pH de 3,7 a 5,2	China
Ancy et al.	2021	Tratamiento con semillas de <i>Ricinus communis</i> L.	Remoción de DQO oscila en 94 a 98% Eliminación de SST entre 8 y 54%, DQO 1 a 25%, nitratos y nitritos de 20 a 100% 64,4 y 67,5 en reducción de CO <sub>2</sub> y compuestos fenólicos 3,26 a 2,18 mg/ L SDT	India
Cruz-Salomón et al.	2017	Biorreactor lecho de lodo granular expandido	Reducción de ST y materia orgánica de 90 y 82%	México
Garde et al.	2017	Extracto de semilla de Moringa	DBO <sub>5</sub> 33% y DQO 25%	Estados Unidos
Peralta et al.	2015	Utilización de arcilla	Reducción de color de 89 a 93% y	Colombia
Morales et al.	2020	Filtro biológico y físico		Perú
Beyene et al.	2014	Tratamiento anaeróbico con biorreactores		Etiopía
Pires et al.	2019	Tratamiento biológico mediante microorganismos nativos		Brasil
Villanueva-Rodríguez et al.	2014	Tratamiento por métodos electroquímicos		México

---

			carbono orgánico total de 73 a 84%	
Gunther et al.	2007	Coagulación-Floculación	Reducción de DQO del 67 a 87%	México
		Enzimas libres e inmovilizadas en la		
Chagas et al.	2015	oxidación del ácido cafeico a partir de la Peroxidasa de cáscara de soja	50% de la oxidación del ácido cafeico	Brasil
Rossmann et al.	2013	Humedales artificiales	Remoción de DQO 87%, DBO <sub>5</sub> 84% y SST 73%	Brasil
Fia et al.	2012	Reactores anaeróbicos	Remoción de DQO entre 80 y 83%	Brasil
Kondo et al.	2010	Foto-fenton solar	Remoción de DBO <sub>5</sub> 60%	Brasil
Gomes et al.	2020	Coagulación/Floculación	DQO 76,2% Y DBO <sub>5</sub> 66,3%	Brasil
Fia et al.	2010	Reactores de piedra triturada de granito-gnaisse y espuma de poliuretano	Remoción de DQO 80%	Brasil
Chen et al.	2019	Biorreactor de membrana anaeróbica	Eliminación de DQO en 92+- 3% con un rendimiento promedio de metano de 0,28 LCH <sub>4</sub> /g DE DQO	China
Ashenafi Hailemariam et al.	2021	Aplicación de bacterias <i>Pseudomonas fluorescense</i> y <i>Escherichia coli</i>	Reducción de DBO <sub>5</sub> 81,67% y DQO 87,94% y los ST 33,79%	Etiopía
De Oliveira y Bruno	2013	Reactores anaeróbicos horizontales	Emoción de DQO 43 a 97%, 70 a 76%	Brasil

			producción de metano 1,7L	
Fereja et al.	2020	Polvo de semilla de moringa	Reducción de DQO 99,43% y turbidez 99,16%	Etiopía
Selvamurugan et al.	2010	Sistema de aireación continuo	Reducción de DBO <sub>5</sub> 74,5%, DQO 68,6% y ST 49,3%	India
Said et al.	2020	Fitorremediación mediante humedales artificiales	Eliminación de SST 94%, color 79% y DQO 95%	Malasia
Rahmadyanti et al.	2020	Semilla de moringa mediante floculación	SST a 99,63 ± 0,10%, la DQO 98,06 ± 0,04% y la DBO <sub>5</sub> a 97,67 ± 0,24%	Indonesia
Ibañes-Moreno	2021	Filtro físico compuesto por arena, grava y carbón activado	Reducción de nitrógeno 98,615, fósforo 97,59%, DBO <sub>5</sub> 97,55% y SST 98,15%	Ecuador
Garay Román y Rivero Méndez	2014	Biosistema con Jacinto acuático	Reducción de DBO <sub>5</sub> 86,57% y SST 98,14%	Perú

SST=Sólidos Suspendidos Totales; DQO=Demanda Química de Oxígeno; SDT=Sólidos Disueltos Totales; ST=Sólidos Totales

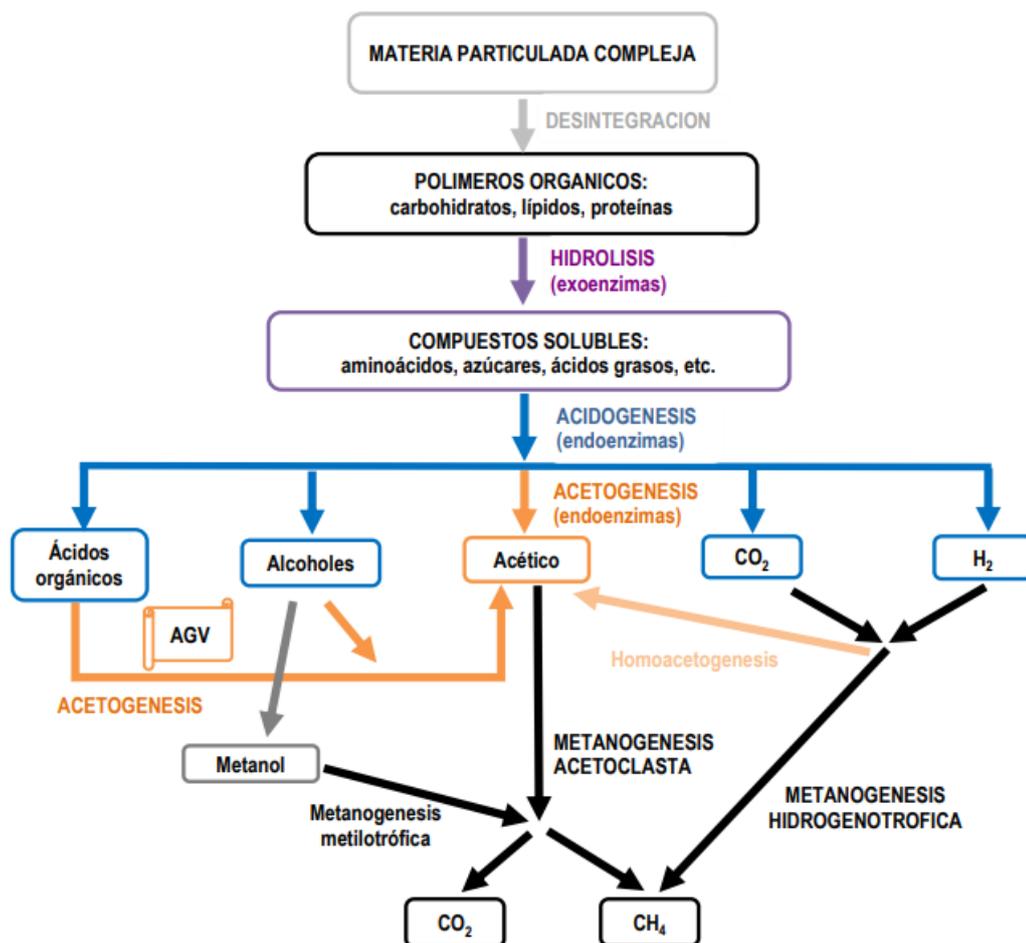
Fuente: Morales (2021)

### 2.1.2. Digestión anaerobia

La digestión en anaerobiosis (sin presencia de oxígeno), es un proceso biológico espontáneo donde la materia orgánica sufre la descomposición productos gaseosos o también llamada “biogás” compuesta principalmente por metano, dióxido de carbono y sulfuro de hidrógeno (ácido sulfhídrico) y en digestato (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía – “IDEA”, 2007), compuesta por una fase sólida, también llamada “biosol” y una líquida o también llamada “biol” (Parra, 2015), es un medio eficaz para el tratamiento de

residuos de la industria agroalimentaria, ganadera, aguas residuales, etc. con alto contenido de materia orgánica sea en estado sólido o líquido (Arhoun, 2017).

La composición de un biogás producido mediante digestión anaerobia dependerá de la del sustrato digerido, pero en general puede estar compuesto por el 50 a 70 % de metano ( $\text{CH}_4$ ), 30 a 40 % de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), menor o igual al 5 % de hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), ácido sulfhídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) y otros gases (IDEA, 2007). La digestión anaeróbica enmarca cuatro etapas o fases donde se llevan a cabo una serie de procesos de transformación bioquímica en el cual actúan diferentes grupos de bacterias facultativas o estrictas.



Fuente: Esteban (2014)

**Figura 2.** Representación de las principales etapas del metabolismo anaerobio, así como de los compuestos más representativos del proceso.

### 2.1.2.1. Hidrólisis

La primera etapa donde las macromoléculas por lo general insolubles como las proteínas, las grasas, la celulosa, ácidos nucleicos, polisacáridos, entre otros

son hidrolizadas por enzimas extracelulares de las bacterias hidrolíticas a través reacciones de oxidación-reducción en fragmentos más simples como azúcares simples, aminoácidos, ácidos grasos, que serán fácilmente transformadas por las bacterias acidogénicas (Arhoun, 2017), produciendo a su vez ácidos grasos de cadena corta, hidrógeno y dióxido de carbono; los ácidos de cadena corta a su vez son transformados en acético, dióxido de carbono e hidrógenos por los microorganismos acetogénicos (Reyes, 2017).

#### **2.1.2.2. Acidogénesis**

Los monómeros producidos en la etapa anterior son transformados por diferentes bacterias facultativas y obligatorias, para ser degradadas en compuestos mucho más pequeños como los ácido butírico, acético, propiónico, hidrógeno y dióxido de carbono (Parra, 2015). Son muchos los microorganismos que realizan la hidrólisis y acidogénesis que muchas veces es difícil diferenciarlas (Reyes, 2017).

#### **2.1.2.3. Acetogénesis**

Los ácidos grasos y los alcoholes producidos en la etapa anterior son transformados por las bacterias acidogénicas en acético, formiato, dióxido de carbono e hidrógeno, estos microorganismos son muy importantes pues disminuyen la acidez del medio que inhibe la actividad de las bacterias metanogénicas gracias a que son capaces de metabolizar los ácidos (Arhoun, 2017).

#### **2.1.2.4. Metanogénesis**

El acetato, dióxido de carbono e hidrógeno son los sustratos clave para la formación y producción de metano principal componente del biogás, bajo condiciones anaeróbicas estrictas. El 70 % del metano producido en reactores anaerobios proviene del acetato (Arhoun, 2017 y Parra, 2015). Uno de los procesos para la formación de metano es la reacción acetoclástica que viene a ser la conversión del acetato en metano por las *archaeas metanogénicas acetoclásticas*, es realizada de manera específica por el género *Methanosarcina* y *Methanotrix*, los que por descarboxilación rompen la molécula de acetato y reducen el grupo metilo a metano ( $\text{CH}_4$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) sin modificar su estructura y sin alterar la concentración del hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) en el biogás. Por otro lado, la reacción de formación de metano a partir del dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e hidrógeno ( $\text{H}_2$ ) por las *archaeas homoacetogénicas*. Las bacterias metanogénicas son muy sensibles a los cambios en el pH y la temperatura, además de otras condiciones operativas (Reyes, 2017).

### 2.1.3. Biol

El Instituto Nacional de Innovación Agraria (2008) lo define como un abono líquido orgánico, que resulta de la descomposición de los residuos animales (estiércol) y vegetales (rastros, restos de poda) de forma anaerobia (sin presencia de oxígeno), contiene nutrientes que son fácilmente asimiladas por las plantas haciéndolas más vigorosas y resistentes. También tiene un alto contenido de hormonas y está recomendado para el uso principalmente en el cultivo de hortalizas (Mendoza, 2016).

Con el uso de biodigestores el biol producido al momento de ser extraído ya no tiene olor, no atrae insectos al ser usado en suelos, es una fuente de fitorreguladores que coadyuvan en el desarrollo óptimo de los cultivos, dando como resultado una mayor productividad, es biológicamente estable con gran riqueza en humus y baja concentración de patógenos, presenta una buena actividad biológica desarrolla la microflora, los hongos, levaduras, fermentos nitrosos y nítricos que se convierten en un gran complemento para los suelos degradados o improductivos (Sistema Biobolsa, 2022).

#### 2.1.3.1. Sistema de producción de biol

Un sistema tratamiento anaeróbico permite la producción de biogás, biol y biosol, razón por la cual en el proyecto “sistema de tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás para el secado de café y biol para crear soluciones hidropónicas como adaptación al cambio climático y el desarrollo de agricultura sostenible”, donde se llevó a cabo este trabajo de investigación, se produjo biol mediante el tratamiento de aguas mieles de café en un sistema como se muestra en la Figura 3, describiendo a continuación los componentes.

##### a) Poza para el biodigestor

Es una plataforma o excavación de forma cúbica donde ingresará el biodigestor, debe estar libre de todo material punzocortante para la protección del biodigestor, cubierta con un geotextil, debe garantizar el nivel de fondo para la instalación del biodigestor y ser capaz de soportar la carga del volumen total de la mezcla contenida por el biodigestor (Barrena, 2019).

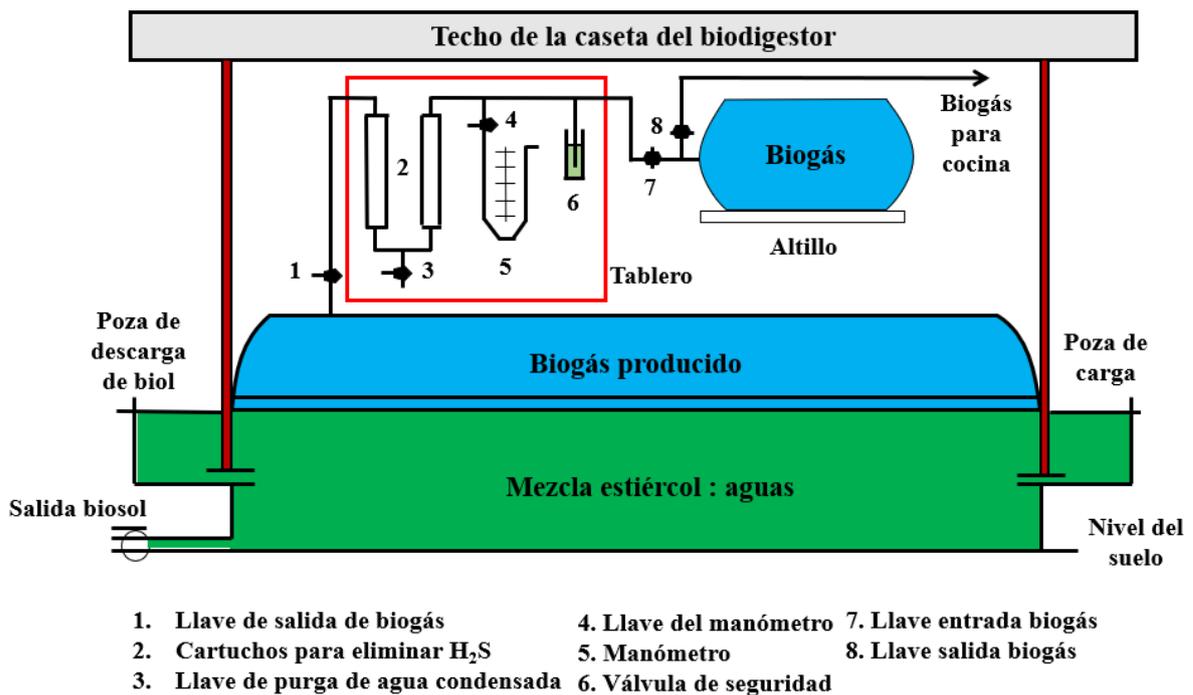
##### b) Biodigestor

Preferentemente de PVC de un espesor igual o mayor a un milímetro, de forma cilíndrica o cúbica, con aditivo anti-UV, las medidas deben estar diseñadas de acuerdo con la poza donde ingresará, presenta un volumen total que considera el volumen

de trabajo y el volumen de almacenamiento de biogás, considerar también el tiempo de vida que ofrecen los fabricantes y las condiciones ambientales en el que trabajaran (Barrena, 2019).

### c) Pozas de carga

Es una estructura por lo general de concreto con la conexión directa con el biodigestor a través de una tubería instalada en el fondo, el diseño dependerá de los cálculos a realizarse para la realización de la mezcla entre el estiércol y las aguas, se instala al mismo nivel de la poza de descarga (Barrena, 2019).



Fuente: Barrena et al. (2019)

**Figura 3.** Diagrama del sistema de producción de biogás y bioabonos con biodigestor tubular

### d) Poza de descarga

Es una estructura de concreto por el cual se descarga el biol o bioabono en forma líquida, conectada al biodigestor por una tubería por la parte del fondo, presenta una válvula de regulación para la descarga controlada, se instala al mismo nivel de la poza de carga (Barrena, 2019).

### e) Gasómetro

Componente hermético en forma de almohada, preferentemente de PVC de un espesor mayor o igual a un milímetro, el volumen dependerá de los cálculos de la producción de biogás, ya que su función principal es el almacenamiento de este, está conectada al tablero de purificación del biogás y su salida debe ser conectada al artefacto o equipo que lo aprovechará (Barrena, 2019).

#### f) Tablero purificador y control de biogás

Compuesta por cartuchos encargada de la eliminación del ácido sulfhídrico (H<sub>2</sub>S), condensar el agua presente en el biogás y también presenta una válvula de seguridad que se emplea para prefijar la presión máxima al cual trabajará el sistema (Barrena, 2019).

#### 2.1.3.2. Composición química

Los datos observados en la Tabla 3, muestra la composición de biol procedente del tratamiento de aguas mieles mediante la digestión anaerobia.

**Tabla 3.** Composición química de biol procedente de aguas mieles.

Componente	Símbolo	Porcentaje (%)
Materia Orgánica	MO	8,50
Nitrógeno	N	2,60
Fósforo	P	1,50
Potasio	K	1,00
pH	pH	7,5

Fuente: Mireia (2016)

Los datos observados en la Tabla 4, muestra la composición de biol procedente del tratamiento de contenido rumial de ganado bovino obtenida desde un matadero mediante la digestión anaerobia.

**Tabla 4.** Composición química de biol procedente de contenido rumial bovino.

Componente	Símbolo	Concentración
Nitrógeno	N	195,50 mg/L
Fósforo	P	437,70 mg/L
Potasio	K	1807,70 mg/L
Magnesio	Mg	338,00 mg/L
pH	pH	6,84 ± 0,25

Fuente: Peñafiel y Ticona (2015)

Los datos observados en la Tabla 5, se muestra la composición química del biol procedente de la digestión anaerobia del estiércol de ganado ovino, cachaza (residuo de la producción de chancaca de caña) y agua.

**Tabla 5.** Composición química de biol procedente de estiércol ovino.

Componente	Símbolo	Concentración
Nitrógeno total	N	0,01%
Fósforo	P	0,02%
Potasio	K	0,38%
Calcio	Ca	0,06%
Boro	Br	2,80 ppm
Zinc	Zn	0,10 ppm
Cobre	Cu	0,10 ppm
Hierro	Fe	4,50 ppm
Manganeso	Mn	1,80 ppm

Fuente: Pozo (2019)

### 2.1.3.3. Importancia del uso del biol

La mayor ventaja que presenta el uso del biol es la no contamina el medio ambiente en comparación con los fertilizantes químicos, pues al ser orgánico es totalmente biodegradable por la fauna microbiana del suelo, de esta manera ayuda al mejoramiento del suelo. Al ser un biofertilizante su absorción por las plantas es muy fácil mejorando su vigor, por lo tanto, incrementan el desarrollo de diferentes etapas como el crecimiento, la floración y el cuajado de frutos. Tiene también en muchos casos al ser aplicado de manera foliar tiene una función de repelente de plagas, ayudando en el control de estas dentro de los cultivos. Al mejorar el vigor de las plantas también es un gran agente de la lucha contra el cambio climático, pues hace a las plantas más resistentes contra las sequías, vientos y otros factores (INIA, 2008).

### 2.1.3.4. Análisis de elementos nutricionales del biol

Es importante conocer la composición de los elementos (nutrientes) para conocer la calidad y el potencial para ser usado como un biofertilizante en los cultivos, estará sujeto al tipo de residuo que ingresa al biodigestor (Aparcana y Jansen, 2008), estos van a estar influenciados principalmente por la calidad y el tipo de insumos que se utilicen para la preparación del biol o para la digestión anaerobia en sistemas de producción de biogás (Ortiz et al., 2012). Por su parte Medina et al. (2015) menciona que los nutrientes a analizarse en el biol, siendo estas el pH, materia orgánica, carbono, nitrógeno, potasio, fósforo, calcio, magnesio y sodio. Se pueden realizar a través de diferentes metodologías como el método

Kjeldahl para la determinación del nitrógeno, método de Olsen para determinar el Fósforo (De La Rosa, 2012).

### 2.1.3.5. Análisis microbiológico del biol

El creciente desarrollo de los mercados verdes y por ende de los productos orgánicos genera la búsqueda de una producción con el uso de fertilizantes orgánicos o biofertilizantes presentándose así un potencial riesgo de la introducción de agentes patógenos en la cadena productiva de estos alimentos con un impacto futuro en la salud pública, razón por la cual es necesaria conocer la inocuidad de estos fertilizantes (Navarrete, 2011). De la misma forma que el análisis de elementos nutricionales, el análisis microbiológico del biol nos muestra la población microbiana compuesta por Bacillus, Actinomicetes y Coliformes totales, para así conocer su uso de manera responsable en diferentes cultivos y no comprometer la salud humana por estos microorganismos (Ortiz et al., 2012). En algunos casos donde el biol que se extrae de los digestores anaeróbicos con un tiempo de digestión inadecuada presenta patógenos presentes en los inóculos de estiércol pues no fueron eliminadas en el proceso, mientras que si tenemos un tiempo adecuado se eliminan los microorganismos haciendo que el biol sea un compuesto aceptable para el uso directo en los campos de cultivo (Medina et al., 2015 y Gil et al., 2022).

### 2.1.4. Cultivo de *L. sativa*

Saavedra et al. (2017) y Jaramillo et al. (2014), indican la siguiente clasificación taxonómica para *L. sativa*:

**Tabla 6.** Clasificación taxonómica.

Categorías taxonómicas	Taxón
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Asterales
Familia	Asteraceae (Compositae)
Subfamilia	Cichorioideae
Tribu	Lactuceae
Género	Lactuca
Especie	<i>Lactuca sativa</i>

Fuente: Saavedra et al. (2017) y Jaramillo et al. (2014)

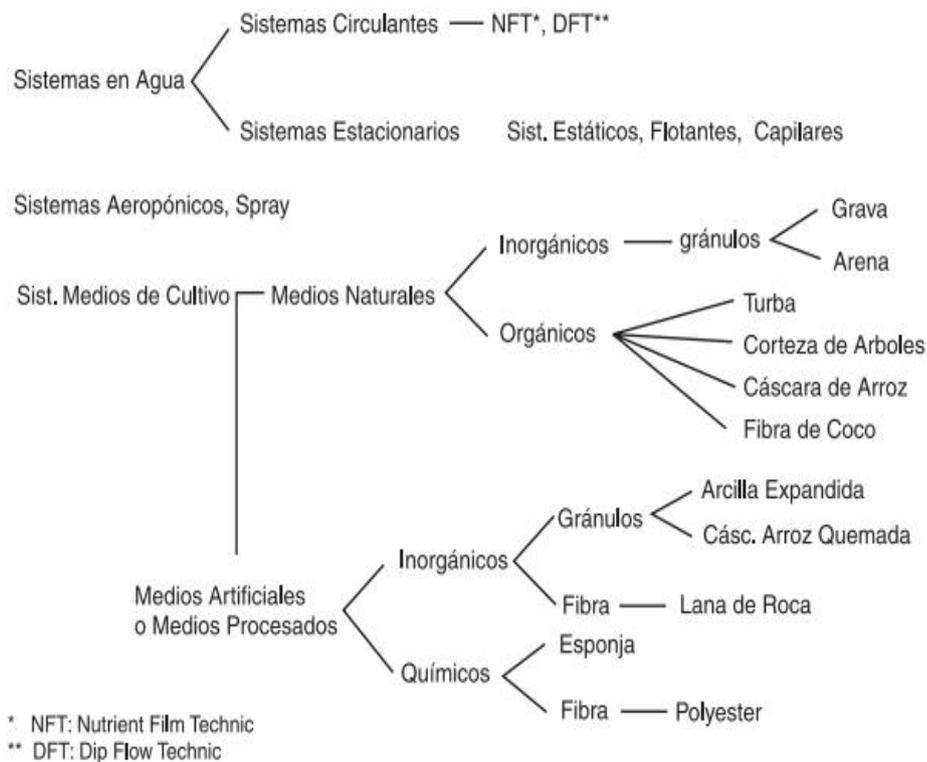
La *L. sativa* es una planta anual autógama, cultivada en regiones templadas, se pueden consumir durante todo el año ya que existen muchas variedades (Giró, 2008). Es una planta herbácea que puede ser cultivada en invernaderos y se adaptan al cultivo en sistemas hidropónicos (Rodríguez et al., 2019). Sus principales características son; una raíz pivotante, que puede sobrepasar los 60 cm de profundidad y con ramificaciones, tallo muy corto y cilíndrico, hojas sésiles distribuidas de forma espiral, presentan inflorescencia, con floretes amarillas y los aquenios pueden ser de color gris, negro, blanco, café o amarillentos existen muchas formas, tipos y colores dependiendo de la variedad (INIA 2017).

#### **2.1.4.1. Cultivo protegido y condiciones climáticas**

La producción de *L. sativa* en cultivo protegido se presenta generalmente en condiciones extremas, pero existe el cultivo en invernaderos como el caso de la producción hidropónica que se encuentra dentro de estos parámetros y se consideran en este sistema de producción (Saavedra et al., 2017). Las condiciones climáticas dentro de los cultivos protegidos a considerar son; la temperatura, para el desarrollo del cultivo se necesitan que este se encuentre entre 15 y 18 °C, sin embargo existen también especies que toleran una mayor temperatura siendo consideradas especies de verano o en otros casos híbridos que fueron mejoradas en este sentido; la humedad relativa, debe mantenerse en un 60 a 80% lo que en muchos casos es la causante para el ataque de algunas enfermedades; luminosidad, precisa de fotoperiodo largo para su desarrollo por lo cual deben estar expuestos de 12 horas a más de luz solar (Jaramillo et al., 2014). En el Perú se producen diferentes variedades que son exportadas al mercado estadounidense, europeo y asiático, y entre las zonas de mayor producción tenemos a las regiones Junín, Lima, Ancash, Arequipa, Huaral, Chancay y Cañete, sea en cultivos tradicionales, cultivos protegidos en suelo y los cultivos hidropónicos (ADEX, 2009).

#### **2.1.5. Producción hidropónica**

La hidroponía es una técnica de producción en la cual no se tiene al suelo como fuente de nutrientes para el desarrollo de la planta, pues todos los nutrientes se encuentran disueltos en una solución acuosa, etimológicamente hidroponía descende de dos voces griegas hydro (agua) y ponos (trabajo o actividad), lo que nos lleva a definirlo como trabajo del agua o actividad del agua, es decir trabajar en cultivos usando el agua o también conocida como cultivos sin suelo (Zárate, 2015 y Beltrano y Giménez, 2015).



Fuente: Gilzans (2007)

**Figura 4.** Sistemas y Medios para cultivos sin suelo.

### 2.1.5.1. Sistemas hidropónicos

La técnica de hidroponía presenta diferentes sistemas de producción dentro de los cuales tenemos:

#### a) Raíz flotante

Es el más sencillo y es de un bajo costo, requiere de un recipiente o un estanque para la preparación de la solución nutritiva, una plancha donde se colocarán las plantas y las soportará, mediante el uso de unas canastillas o vasos. Se debe adicionar oxígeno a la solución nutritiva por agitación todos los días o instalar un sistema de aireación y a la misma vez se requiere el reemplazo o adición de la solución nutritiva de acuerdo con el consumo de este (Gilzans, 2007).

#### b) Nutrient Flow Technic (NFT)

Este sistema requiere de unas tuberías que pueden ser de sección circular, rectangular, trapezoidal, etc. donde se colocaran las plantas y por el cual recirculará una pequeña lámina de solución nutritiva impulsada por una bomba que lo mantiene en recirculación en intervalos de tiempo programados por el productor, la oxigenación se hará por diferencia de altura o sistema de aireación, la instalación inicial del sistema es de un costo elevado (Gilzans, 2007).

**c) Depp Flow Technique**

Este es un sistema híbrido de raíz flotante y NFT, pues posee las características del primero y adicionalmente la oxigenación se realiza mediante la recirculación de la solución nutritiva por medio de una bomba (Gilzans, 2007).

**d) Sistema estático**

Sistema en el cual se calcula el consumo de solución nutritiva para así dimensionar el contenedor, ya que solo se adiciona por única vez al inicio de la producción la solución nutritiva, en este sistema el productor solo tendrá que hacer observaciones de aparición de plagas en el cultivo (Gilzans, 2007).

**e) Sistema con sustrato inerte**

Este sistema es considerado dentro de la técnica de hidroponía ya que el sustrato no aporta ningún tipo de nutriente a la planta, pues los mismos son adicionados mediante sistemas de riego por goteo durante todo el periodo de cultivo, esta puede ser mediante una bomba o por acción de la gravedad. Una de las grandes ventajas es que se pueden cultivar una gran variedad de plantas incluso hasta frutales (Rodríguez et al., 2019).

**2.1.6. Soluciones hidropónicas**

**2.1.6.1. Soluciones hidropónicas concentradas**

Son soluciones hidropónicas de formulación comercial o también formulaciones propias de cada productor, donde los nutrientes esenciales se encuentran en altas concentraciones para los diferentes cultivos a desarrollarse mediante hidroponía, se encuentran en presentaciones comerciales como soluciones concentradas tipo A, B y C que se encuentran generalmente concentradas a 100 o 200 veces más con respecto a la solución nutritiva (Favela et al. 2006), y en algunos casos soluciones que inducen a la floración y cuajado de los frutos. Las formulaciones se hacen a partir de fertilizantes químicos para cultivos en suelo, por lo cual no podemos considerar a los productos hidropónicos como orgánicos (Zárate, 2015, Rodríguez et al., 2019).

**2.1.6.2. Soluciones nutritivas**

Viene a ser una mezcla de nutrientes minerales esenciales y agua, en cantidades y proporciones adecuadas, que es usada para lograr un crecimiento y desarrollo de las especies a cultivar (Rodríguez y Chang, 2011). A diferencia de las soluciones concentradas, la solución nutritiva es aquella que encontramos en el sistema de producción hidropónica, en las diferentes etapas de desarrollo de las plantas, por lo cual las concentraciones

de los nutrientes esenciales varían de acuerdo con la etapa de la planta. Otra diferencia es que en la preparación de la solución nutritiva se diluyen las soluciones concentradas tipo A, B y C dentro de un recipiente o un taque de almacenamiento para su posterior distribución o recirculación dentro del sistema de producción (Zárate, 2015, Rodríguez et al., 2019).

Los datos observados en la Tabla 7 y 8 muestran las concentraciones de los elementos esenciales en intervalo óptimo para tener un desarrollo apropiado de las plantas (Rodríguez y Chang, 2011), las plantas absorben el carbono del CO<sub>2</sub> y el oxígeno e hidrógeno del agua razón por la cual estos macroelementos no se adicionan en forma de compuesto químico o no forman parte de las soluciones nutritivas (Zárate, 2015).

**Tabla 7.** Concentración de macroelementos en la solución nutritiva.

<b>Elemento</b>	<b>Símbolo químico</b>	<b>Peso atómico</b>	<b>Concentración en la solución nutritiva (mg/L)</b>
Potasio	K	39,00	200,00 – 300,00
Nitrógeno	N	14,00	150,00 – 250,00
Calcio	Ca	40,00	120,00 – 200,00
Magnesio	Mg	24,00	20,00 – 50,00
Fósforo	P	31,00	30,00 – 50,00
Azufre	S	32,00	50,00 – 100

Fuente: Rodríguez y Chang (2011)

Los macroelementos son requeridos en mayor cantidad, mientras que los microelementos se necesitan en pequeñas concentraciones. Sin embargo, se debe tener en cuenta que todos los elementos son importantes pues la falta o baja disposición de uno de ellos puede afectar al desarrollo de las plantas (Mamani, 2011).

**Tabla 8.** Concentración de microelementos en la solución nutritiva.

<b>Elemento</b>	<b>Símbolo químico</b>	<b>Peso atómico</b>	<b>Concentración en la solución nutritiva (mg/L)</b>
Cloro	Cl	35,50	50,00 – 100,00
Hierro	Fe	56,00	0,50 – 2,00
Manganeso	Mn	55,00	0,50 – 0,80
Boro	B	11,00	0,30 – 0,60
Zinc	Zn	65,50	0,10 – 0,30
Cobre	Cu	64,00	0,05 – 0,15
Molibdeno	Mo	96,00	0,01 – 0,05

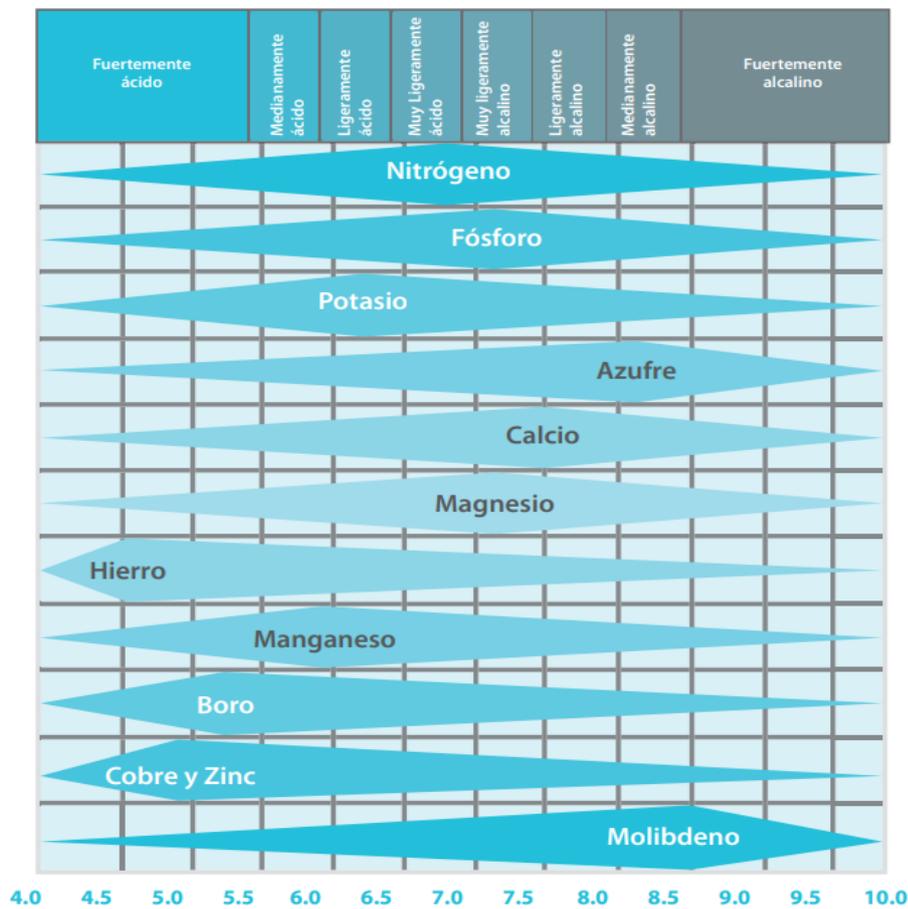
Fuente: Rodríguez y Chang (2011)

## 2.1.7. Parámetros que afectan a la solución nutritiva

### 2.1.7.1. pH

La medición de la acidez o alcalinidad de la solución nutritiva es un factor muy importante pues es capaz de interferir en la disponibilidad de los elementos nutritivos en la solución nutritiva y con esto la absorción de estas por las plantas (Gilzans, 2007). Este puede estar entre 5,5 y 7,0 en el caso de muchos cultivos, sin embargo, es preferible mantenerlo entre 6,5 y 7,0 para tener una buena asimilación de los nutrientes por parte de las plantas (Carrasco et al., 1998 y Zárata, 2015).

Una solución nutritiva que se encuentre con un pH mayor a 7,5 por ejemplo produce la disminución en la absorción del nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), de la misma forma sobre el fosfato ( $\text{PO}_4^{3-}$ ), por el contrario, al presentar un pH menor a 4,5 se interfiere en la absorción del potasio ( $\text{K}^{+2}$ ) que a su vez da lugar a un desbalance en la polaridad en la membrana celular de las células presentes en la raíz (Beltrano y Giménez, 2015). Razón por el cual debe mantener en constante vigilancia y corrección según sea el caso, usando ácidos o bases que sean compatibles con la solución nutritiva (Carrasco et al., 1998).



Fuente: Zárata (2015)

**Figura 5.** Disponibilidad de nutrientes en relación con el pH.

### **2.1.7.2. Conductividad eléctrica**

Es la capacidad que tiene el agua con contenido de sales metálicas para conducir la electricidad, de esta manera se convierte en un indicador indirecto de la cantidad de sales que contiene la solución nutritiva, también nos muestra la calidad del agua con el que trabajaremos (Gilzans, 2007). Al controlar este parámetro aseguraremos el desarrollo de la planta, ya que si ponemos en contacto las raíces con una solución hidropónica con baja conductividad la raíz absorberá los nutrientes necesarios por el contrario si lo ponemos en contacto con una solución con alta conductividad (más sales que dentro de la raíz) el agua saldrá de la raíz y corremos el riesgo de deshidratar a la planta hasta que muera (Soria, 2012).

### **2.1.7.3. Calidad de agua**

Conocer la calidad del agua a utilizar en la hidroponía es muy importante pues ello tiene influencia directa en la formulación de la solución nutritiva, se debe tener en cuenta un análisis microbiológico, y aún más su calidad química para conocer el aporte de algunos elementos minerales, tales como algunos cationes o aniones, esto nos llevará a tener un mejor control y también mayor rendimiento en la producción (Beltrano y Giménez, 2015 y Carrasco et al., 1998).

### **2.1.7.4. Volumen**

El control del volumen estará sujeto a las diferentes estaciones del año y la etapa de desarrollo donde se encuentra la planta, pues la evapotranspiración hará que se consuma más o menos agua y con esto solución nutritiva que se debe reponer durante un ciclo de cultivo, de la misma forma, al contar con poco volumen de solución nutritiva ocasionará que la temperatura se eleve afectando así también a las raíces. Esta información es importante para tener en cuenta los otros factores que también afectan a la solución nutritiva, como el pH y la conductividad eléctrica (Gilsanz, 2007).

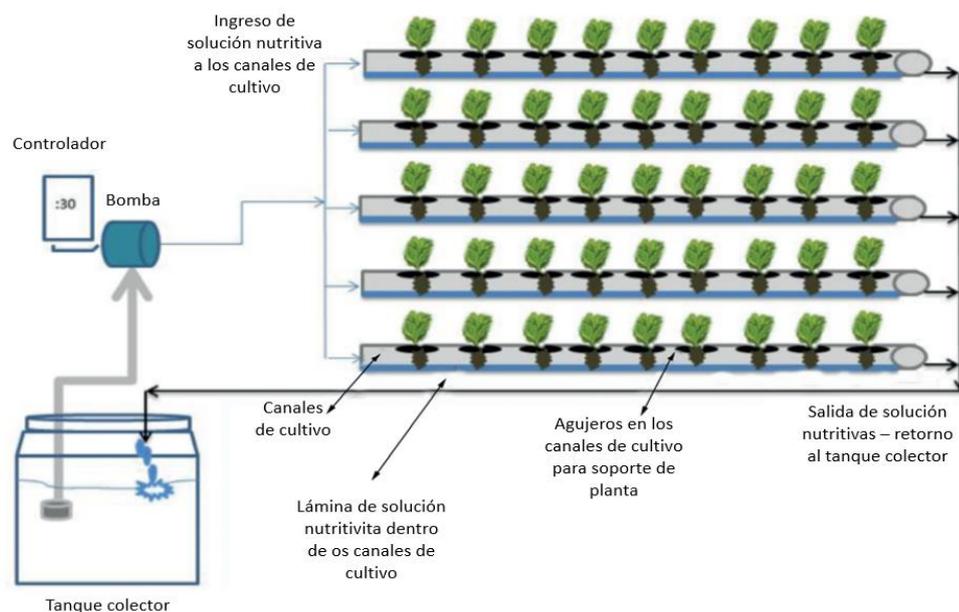
### **2.1.7.5. Oxigenación**

La cantidad de oxígeno afecta directamente al desarrollo de las plantas y el crecimiento de las raíces. Este debe estar entre 8 y 9 mgO<sub>2</sub>/L de solución hidropónica y pueden ser logrados con diferentes métodos como la incorporación de bombas de aire, recirculación de la solución, mediante agitación manual, tubos de Venturi (Gilsanz, 2007).

### 2.1.8. Sistema NFT

Es la técnica que usa una película de solución nutritiva permanente o intermitente dentro de unos canales los cuales sirven de soporte a las plantas, una de sus desventajas es el alto costo de instalación y requerimientos de manejo de equipos electromecánicos y mucho cuidado en los parámetros a considerar (Gilsanz, 2007).

El Dr. Allan Cooper usó la técnica de recirculación de la solución nutritiva llamada también NFT por sus siglas en inglés Nutrient Flow Technique, en Inglaterra a mediados de la década de los sesenta, pero esto tuvo limitantes en América latina, debido al costo de su instalación latina (Carrasco e Izquierdo, 1996), a pesar de eso, en el Perú se han instalado con normalidad este sistema, en diversas empresas de la costa, las cuales generan hortalizas de buena calidad (Rodríguez et al., 2019).



Fuente: Brenes y Jiménez (2014)

**Figura 6.** Ilustración del sistema hidropónico NFT.

#### 2.1.8.1. Componentes

##### a) Tanque colector

Es el recipiente en el que se almacena la solución nutritiva, desde la primera etapa de desarrollo de la planta hasta su etapa final, conectada a la bomba de impulsión y a la red colectora. Por lo cual, para adquirir un recipiente debemos tener en cuenta de que este sea de un material que no afecte o modifique la composición de la solución nutritiva, considerando materiales como polietileno, PVC, fibra de vidrio, también se debe tomar en

cuenta que muchas veces se encuentra enterrado, ya que debe estar en el nivel más bajo del área de cultivo, pues el retorno de la solución nutritiva es por gravedad (Rodríguez et al., 2019). El volumen del tanque está determinado por el tipo de planta, según sus requerimientos fisiológicos, también de acuerdo con la extensión del cultivo que se quiere tener y a la cantidad de solución nutritiva que se utilizará (INCAP, 2006).

#### **b) Bomba de impulsión**

Es un componente primordial pues, tiene como función principal la impulsión de la solución nutritiva, llegando a todos los conductos del sistema NFT, de tal modo que todas las plantas absorban los nutrientes, Esto debe estar en constante revisión, pues si dejara de funcionar por razones particulares, el sistema se vería afectado (Carrasco e Izquierdo, 1996). Hay variedad de modelos y tipos de bombas (sumergibles o externas), para su elección y adquisición, no solo se toma en cuenta su precio, sino también sus gastos de operación y mantenimiento, resistencia a la corrosión, caudal de operación y características de su cultivo (Rodríguez, 2019).

#### **c) Red de distribución**

Es el medio físico (tuberías de PVC, mangueras y microtúbulos) que se utiliza para transportar la solución nutritiva, su extensión estará de acuerdo con las dimensiones de la instalación de los módulos de cultivo y el área total a cultivar, la medida o diámetro dependerán del caudal necesario para el cultivo, esta red conecta a la bomba de impulsión con los canales de cultivo por lo cual las interconexiones deben estar pegadas, roscadas o usar abrazaderas que aseguren la minimización de fugas (Carrasco e Izquierdo, 1996).

#### **d) Canales de cultivo**

Un sistema hidropónico NFT no presenta ningún tipo de sustrato o plancha de soporte, por lo cual debe contener conductos (canales) que sirvan de soporte para las plantas y a la vez transporte la solución nutritiva. Los canales pueden ser de forma rectangular, circular u otras que se ajuste al tipo de plantación y con una superficie lisa que facilite el paso de la solución nutritiva (Carrasco e Izquierdo, 1996), la sección a usar dependerá de la especie a cultivar, por ejemplo, es muy frecuente encontrar *L. sativa* en canales circulares de 3" de diámetro, mientras que la acelga se cultiva en canales circulares de 4" (Rodríguez, 2019).

#### **e) Red colectora**

Recibe la solución nutritiva de los canales de cultivo y lo regresa al tanque colector. Este se instala, a lado opuesto a la red de distribución de la solución nutritiva,

y se coloca a 50 cm más arriba del nivel máximo de solución nutritiva dentro del tanque, para que la solución nutritiva pueda oxigenarse al caer dentro el tanque colector (Rodríguez, 2019).

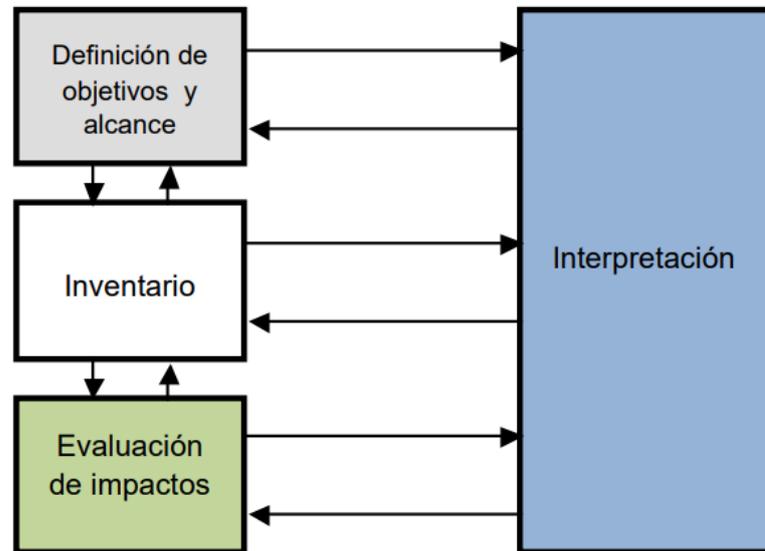
#### **2.1.8.2. Requerimientos fisicoquímicos**

El sistema hidropónico NFT presenta los siguientes requerimientos; la altura de la lámina de solución nutritiva, que debe estar por debajo de los 5 mm, así generar un espacio para la oxigenación de las raíces y evitar la pudrición de estas al no estar sumergidas; el flujo de la solución nutritiva, debe estar en aproximadamente 2 L/min, para asegurar el correcto desarrollo de las raíces, la oxigenación y absorción de nutrientes; oxigenación de la solución nutritiva, sea por la adición de un dispositivo de oxigenación o por la recirculación y caída dentro del tanque colector se debe considerar la disponibilidad de oxígeno; Longitud de los canales de cultivo, estas deben ser menores a los 15 metros para así no afectar las características de la solución nutritiva y facilitar la limpieza de los canales (Carrasco e Izquierdo, 1996).

#### **2.1.9. Análisis de ciclo de vida**

Es una herramienta de gestión ambiental, que tiene por finalidad analizar de forma objetiva, metódica, sistemática y científica, los impactos ambientales que se generan por un proceso en el desarrollo de un producto durante su ciclo de vida completo, es decir, de la cuna a la tumba (Haya, 2016). Esta metodología permite tener en cuenta los atributos relacionados a la salud, la naturaleza y los recursos, desde la extracción de materias primas, su procesamiento, transporte, transformación en un producto, distribución, utilización, mantenimiento, desmantelamiento y el tratamiento de los residuos (Pablo, 2017).

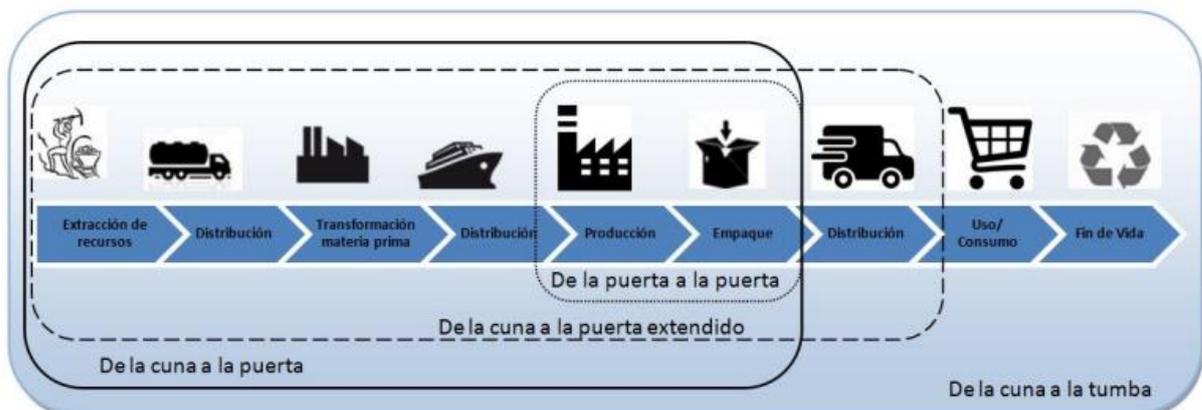
El realizar el análisis de ciclo de vida de un producto tiene muchas ventajas tanto para el consumidor, quien conocerá qué producto es el menos perjudicial para el medio ambiente, como para el productor quien puede desarrollar una mejora el producto terminado, planificación estratégica, políticas públicas, declaraciones ambientales de los productos y campañas de marketing. Los resultados del análisis darán a conocer los materiales o procesos que tienen mayor impacto en el medio ambiente, llevando a realizar mejoras trascendentes dentro del ciclo de vida, tales como, cambiar algunos insumos del producto, realizar mejoras en el diseño, contactar con otros proveedores, mejorar un proceso en la cadena de producción, usar otros materiales para el embalado, buscar otra fuente de energía, modificar el sistema, medio, o ruta de transporte (Pablo, 2017).



**Figura 7.** Etapas del Análisis de Ciclo de Vida.

### 2.1.9.1. Definición de objetivos y alcance

Esta etapa tiene por fin el dar a conocer los motivos que llevan a la realización del estudio y a quienes estará dirigido, de la misma forma la amplitud, profundidad y detalle del estudio (Haya, 2016). También la definición del objetivo debe ser clara y coherente, fijar la aplicación prevista y con todo ello responder la pregunta ¿para qué se realiza el estudio? (Muñoz, 2016 y Pablo, 2017), de la misma forma el alcance debe considerar el sistema del producto objeto de estudio, las funciones del sistema del producto, la unidad funcional, el establecimiento de los límites del sistema, de las reglas para asignar las cargas ambientales, tipos de impactos a evaluar, metodología de evaluación e interpretación, los tipos y fuentes de datos y los requisitos de la calidad de datos (Haya, 2016).



Fuente: Pablo (2017)

**Figura 8.** Límites del sistema típicamente usados en el Análisis de Ciclo de Vida.

### **2.1.9.2. Análisis del inventario de ciclo de vida**

Comprende la cuantificación de las entradas y salidas del sistema sujeto a estudio, fundamentalmente un balance de masa y energía del sistema, dentro del cual debe contener el uso de los recursos, las emisiones atmosféricas, el vertimiento de aguas residuales al suelo o aguas y la generación de residuos sólidos (Pablo, 2017 y Haya, 2016). Los datos que se obtienen en esta etapa son el inicio para la evaluación de impacto de ciclo de vida, motivo por el cual los datos deben obtenerse para cada proceso unitario que se encuentra dentro de los límites del sistema y en lo posible deben ser obtenidos de mediciones in situ, es importante indicar si los datos cumplen con los requisitos de calidad de datos, también debe considerar los diagramas de flujo, descripción de los procesos unitarios, descripción de las técnicas de recopilación de datos (Muñoz, 2016 y Haya, 2016).

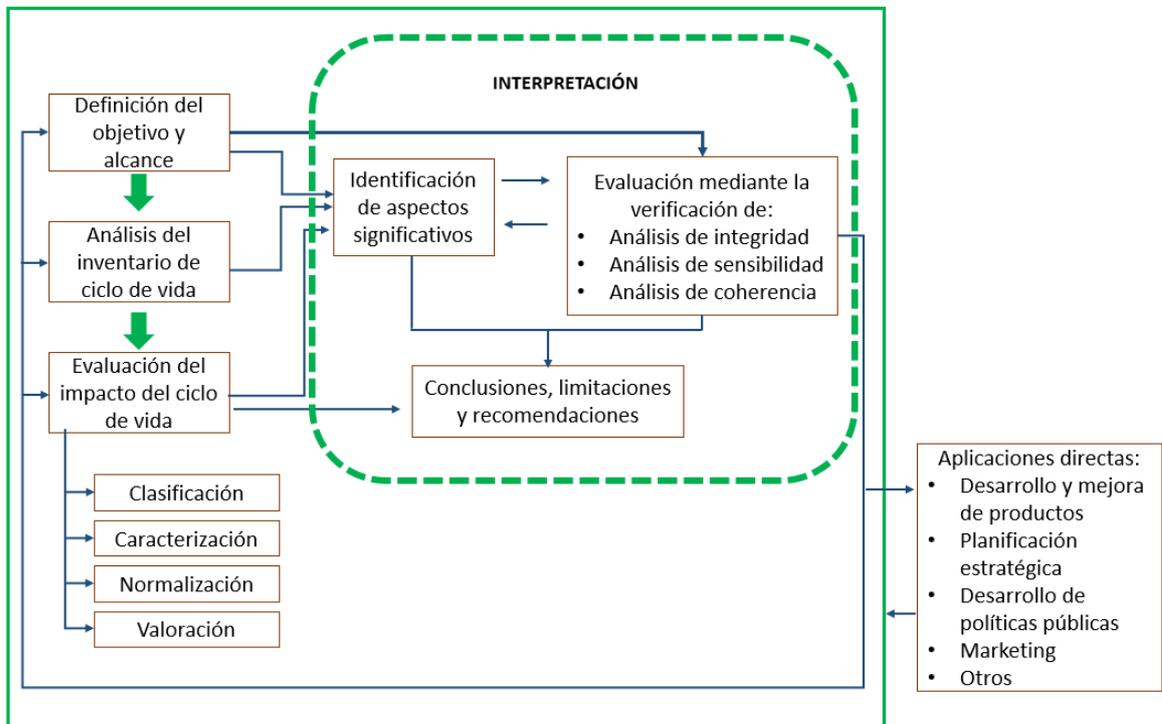
### **2.1.9.3. Evaluación de impactos**

Cosiste en un proceso que permite caracterizar y estimar los efectos de los resultados obtenidos en el análisis del inventario, donde se evalúan las modificaciones ambientales y los consumos de recursos naturales, se define un impacto como la anticipación razonable de un efecto, pues no se trata de determinar impactos reales, sino de relacionar los datos con una categoría de impacto y cuantificar la relación con cada uno de ellos. La evaluación de impacto de ciclo de vida está conformada por la selección de categoría de impacto, agrupados en impacto básicos (agotamiento del recurso abiótico, impactos al suelo, cambio climático, etc.), impacto específicos (pérdida de biodiversidad, ecotoxicidad en sedimentos marinos, impacto de la radiación ionizante, etc.) y otros (agotamiento de los recursos bióticos, desecación y malos olores en el agua); clasificación, que agrupa las cargas ambientales debido al consumo de recursos y a la generación de residuos y emisiones; caracterización, que hace mención al cálculo de la potencial contribución de cada compuesto conocido en el análisis del inventario a un efecto ambiental; existen también elementos opcionales como la normalización, agrupación, ponderación y el análisis de la calidad de datos (Pablo, 2017 y Haya, 2016).

### **2.1.9.4. Interpretación**

En esta etapa se combinan los resultados del análisis del inventario y de la evaluación del impacto, para dar lugar a unos resultados coherentes con el objetivo y alcance definidos al inicio del estudio. Esta etapa presenta la identificación de aspectos significativos, la evaluación, las conclusiones, limitaciones y recomendaciones,

también la adecuación de las definiciones de las funciones del sistema, la unidad funcional y los límites, así mismo las limitaciones identificadas por la evaluación de la calidad de los datos (Haya, 2016).



Fuente: Haya (2016)

**Figura 9.** Relación de los elementos de la etapa de interpretación con otras fases del análisis de ciclo de vida.

## 2.2. Estado del arte

Moncayo (2022), en Ecuador evaluó el efecto del biol en la producción de maíz verde hidropónico con fines de forrajeros. Para ello realizó el estudio en un invernadero hidropónico tipo túnel de la Fundación Integral a Favor de la Vida, el biol fue elaborado con estiércol de conejo fresco (10, 30 y 50%), alfalfa picada, melaza, leche descremada y levadura, para luego diluirlo en tres diferentes concentraciones (10, 20 y 30%), usando diseño completamente al azar con un arreglo factorial  $3 \times 3 + 1$  (agua), con tres repeticiones, dando los siguientes tratamientos T0 (agua), T1 (biol con 10% de estiércol de conejo al 10%), T2 (biol con 10% de estiércol de conejo al 20%), T3 (biol con 10% de estiércol de conejo al 30%),..., T8 (biol con 30% de estiércol de conejo al 20%) y T9 (biol con 50% de estiércol de conejo al 30%). Obtuvo como resultados que la concentración de nutrientes es directamente proporcional a la cantidad de estiércol de conejo, el mejor tratamiento en cuanto a la altura de la planta, longitud de raíz, rendimiento en peso fresco y materia seca, e incluso para el contenido de

proteínas fue el T1 (biol con 10% de estiércol de conejo al 10%). Concluyendo que el uso de biol a base de estiércol de conejo es una alternativa económicamente viable y que el T1 presentó los mejores resultados en todas las evaluaciones.

Urresta (2019), en Ecuador evaluó tres soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol en la producción de forraje verde hidropónico de cebada. El biol como ingrediente principal se preparó con los siguientes insumos estiércol fresco de bovino, ceniza, levadura fresca, leche, agua y melaza para luego ser distribuida en tres tratamientos T1 (solución nutritiva con 297 mL/L de biol), T2 (solución nutritiva con 391 mL/L de biol) y T3 (solución nutritiva con 223 mL/L de biol) y T4 (solución nutritiva FAO) aplicando el mismo volumen de riego. Los resultados basados en la altura de planta muestran que el T3 y T4 obtuvieron alturas de 23,89 y 24,05 cm, con respecto a contenido de clorofila de los tratamientos T1, T2 y T3 no mostraron variabilidad sin embargo están por encima del T4, en rendimiento los tratamientos T1 (7,99 kg/m<sup>2</sup>), T2 (6,17 kg/m<sup>2</sup>) y T3 (13,80 kg/m<sup>2</sup>), estuvieron por debajo del T4 (16,97 kg/m<sup>2</sup>), en el contenido de proteínas el T2 (15,55%), T3 (17,08%) y T4 (18,20%) fueron estadísticamente similares, mientras el T1 (10,60%) fue el más bajo, en contenido de fibra todos los tratamientos fueron estadísticamente similares. Se concluye que el T4 (solución nutritiva FAO) produce mayores beneficios en el forraje verde hidropónico, sin embargo, la solución hidropónica a base de biol constituye una alternativa para la producción de forraje verde hidropónico, reduciendo así los costos de producción y la dependencia a los fertilizantes químicos, de esta manera contribuyendo a la no extracción de recursos no renovables.

Limachi (2018), en Bolivia evaluó la producción de forraje hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare* L) y avena (*Avena sativa* L) con la adición de tres niveles de biol (5, 10 y 15%) en ambiente atemperado. Para ello acondicionó un ambiente con paredes de abobe y techo de plástico y usó biol procedente de los biodigestores tubulares instalados en la estación experimental Choquenaira, empleó un diseño de bloques al azar con arreglo factorial 2 x 3 + 2 con cuatro repeticiones, dando los siguientes tratamientos T1 (Cebada sin biol), T2 (cebada con biol al 5%), T3 (cebada con biol al 10%), ..., T7 (avena con biol al 10%) y T8 (avena con biol al 15%). Obtuvo como resultados que el para la longitud de hojas el biol a un 10% obtuvo los mejores resultados, para la longitud de raíz biol a un 15%, para peso en fresco el biol a un 5%, para peso en seco el biol a un 15%, para rendimiento en peso en fresco biol al 10% en la cebada y biol al 15% en avena y para el porcentaje de proteína el biol a un 15%. Concluyendo que el biol tiene mejor rendimiento en el cultivo de avena, constituyendo así una alternativa en la producción de forraje verde hidropónico.

Melo (2018), en Cusco evaluó el efecto de las soluciones nutritivas, té de estiércol y biol en producción hidropónica de tres variedades de *Lactuca Sativa* en condiciones del centro agronómico K'ayra. Para ello instaló un invernadero para el cultivo hidropónico donde instaló tres tratamientos (solución La Molina A y B, solución La Molina A y 50 mL de té de estiércol y solución La Molina A y 50 mL de biol) con cuatro repeticiones para cada variedad (White Boston, Waldmans Green y Great Lakes) de *L. Sativa*. Obtuvo como resultados que el T3 (solución La Molina A y 50 mL de biol) obtuvo los mejores valores en peso fresco de cogollo, peso fresco de raíz, peso seco de raíz, altura de planta, diámetro de cogollo, longitud de raíz y diámetro de raíz. Concluyendo que el uso de biol en un sistema de producción hidropónica ayuda para obtener mayores rendimientos de *L. Sativa*.

Ccahuana (2019), evaluó las soluciones nutritivas y biol en la producción de fresa (*Fragaria ananassa Duch*) mediante sistema hidropónico recirculante NFT (técnica de película de nutrientes) en el Cusco. La investigación fue realizada en un diseño de bloques al azar (DBCA), con arreglo factorial de 3A (5,7 y 9 mL solución nutritiva A con 2, 4 y 6 mL solución nutritiva B/L de agua respectivamente) por 4B (0, 10,15 y 20 mL biol /L de agua), 12 tratamientos, 4 repeticiones y total 48 unidades experimentales. Obtuvo como resultados que el tratamiento, 5 ml A y mL B/L de agua con biol 20 mL/L de agua, obtuvo mejores resultados en peso fresco del fruto, número de frutos por planta. Se concluye que el biol aplicado como fertilizante foliar en un cultivo hidropónico de fresas tiene resultados favorables.

Medina et al. (2022), en Trujillo evaluó la influencia de bioabono “biol” en el cultivo hidropónico de *L. Sativa* variedad Longifolia, para ello instaló un sistema hidropónico de raíz flotante con 15 camas, usó biol de estiércol vacuno elaborado en la estación experimental de bioquímica aplicada de la facultad de ciencias biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo para los tratamientos (5, 10, 15 y 20%) comparándolos con una solución hidropónica A y B estándar. Obtuvo como resultados que el tratamiento al 20% de biol obtuvo mejores valores en peso, área foliar y longitud de raíz de *L. Sativa* variedad Longifolia asemejándose y en ocasiones superando a la solución hidropónica estándar. Concluyendo que el uso de biol en el cultivo hidropónico de *L. Sativa* es una alternativa ecológica y económicamente rentable gracias a sus altas concentraciones de nutrientes como el nitrógeno, fósforo y potasio elementos esenciales en los cultivos.

Barrena et al. (2019), procesó el estiércol de bovino en un biodigestor anaeróbico en el distrito de Molinopampa para producir biogás para la cocción de alimentos y bioabonos para incrementar el crecimiento y la productividad del pasto Nicarion (*Setaria sphacelata*). Se instaló un biodigestor para la producción de biogás, con tuberías de drenaje para biosol y biol

respectivamente y se aplicaron a pastos Nicarion (*Setaria sphacelata*) en la parcela. Teniendo como resultados la producción de biogás con un rendimiento de 682 L/hora en funcionamiento de una cocina, los bioabonos han favorecido el desarrollo de los pastos un 62% a 89% más. Se concluye que la alimentación diaria del biodigestor con 240 litros de mezcla estiércol: agua (1:5), garantiza la producción diaria de biogás y de 240 litros de biol.

Neri et al. (2017), evaluó la aplicación de abonos orgánicos y biofertilizante (biol) en el cultivo de *L. Sativa* en el distrito de Chachapoyas. Se aplicaron biol, humus y guano de isla y la combinación de estas durante la nivelación del terreno para el cultivo de *L. Sativa*, aplicando el biol a los 10, 20 y 30 días después del trasplante con una dosis de 2,69 L/m<sup>2</sup> en una dilución de 1:3 en agua. Teniendo como resultado que la aplicación de biol por sí sola no tiene los mejores resultados a pesar de considerar los nutrientes que ya posee el suelo, mostrando menor valor en altura de planta, número de hojas, diámetro de planta, peso de planta y obteniendo el menor rendimiento de planta con 13,35 t/ha y el mejor rendimiento 22,94 t/ha con la combinación de los tres abonos (biol, humus y guano de isla), de esta manera se demostró la carencia de nutrientes en el biol en referencia a la demanda para la producción de *L. Sativa*. Concluyendo que el uso de abonos orgánicos en el cultivo de *L. Sativa* tienen un efecto positivo, actuando como mejoradores de la fertilidad, la cantidad de materia orgánica y disponibilidad de nutrientes.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Descripción de lugar de estudio

##### 3.1.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en dos etapas; la primera en una finca de propiedad de Darwin Portocarrero Gómez, donde se desarrolló la parte experimental (campo) y en segundo lugar el laboratorio de investigación de suelos y aguas del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES-CES) que pertenece a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), donde se desarrollaron los análisis correspondientes.

##### 3.1.2. Ubicación geográfica

Las coordenadas UTM donde se ubican los dos lugares donde se desarrolló el trabajo de investigación se muestran en la Tabla 9.

**Tabla 9.** Ubicación geográfica de los lugares.

Lugar	Coordenada Este (m)	Coordenada Norte (m)	Altitud (m.s.n.m.)
Finca	226273,29	9286719,30	1846
Laboratorio de investigación de suelos y aguas	184181,20	9310188,75	2348

##### 3.1.3. Ubicación política

La finca se encuentra ubicada en el caserío Ramos, distrito de Santa Rosa, provincia de Rodríguez de Mendoza en el departamento de Amazonas y el laboratorio de investigación de suelos y aguas del Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva en la ciudad de Chachapoyas, distrito de Chachapoyas, provincia de Chachapoyas departamento de Amazonas.

##### 3.1.1. Aspectos sociales y ambientales

###### a) Clima

La provincia de Rodríguez de Mendoza se encuentra en la parte de selva alta, presenta una temperatura promedio anual de 19,2 °C, con una precipitación total

anual de 1644,2 mm, un clima muy húmedo y semi cálido, se localiza entre 1800 y 2800 m.s.n.m. (metros sobre el nivel del mar), por otro lado, la provincia de Chachapoyas pertenece a la parte interandina con una temperatura promedio anual de 14,7 °C, con una precipitación de 805,2 mm, un clima ligeramente húmedo y templado cálido, se localiza a 1490 m.s.n.m. (Vargas, 2010).

#### **b) Zona de vida**

La provincia de Rodríguez de Mendoza presenta diferentes zonas de vida como bosque muy húmedo montano tropical (bmh-MT), bosque pluvial montano tropical (bp-MT), bosque muy húmedo premontano tropical (bmh-PT), bosque muy húmedo montano bajo tropical (bmh-MBT) y bosque húmedo premontano tropical (bh-PT), características de ceja de selva y selva alta, con formaciones vegetales del tipo Bosques perennifolios de neblina de las laderas de la cordillera oriental (1200-2800 msnm.) o ceja de montaña. Por otro lado Chachapoyas presenta bosque seco montano bajo tropical (bs- MBT), bosque seco montano tropical (bs – PT) (MINAM, 2009).

### **3.2. Materiales y equipos**

#### **3.2.1. Materiales**

Materiales para construcción de módulo, madera habilitada de 4" x 4" x 14', 2" x 3" x 7', 1" x 2" x 9',clavo de 3" y 4",cemento, fierro cuadrado 12 mm, tornillo autoperforante 10 x 1", curva PVC ¾", niple PVC ¾" x 2", adaptador ¾", abrazadera ¾", tee ¾", codo de ¾",adaptador de ½", tapón PVC ½", 2" y 3", tubos de PVC ½", ¾", 2" y 3", malla raschel 50%, agrofilm, botas, guantes, lentes, sierra, brocas, copas para metal de ½" y 2", martillo, alicate, destornillador plano y estrella, cinta teflón, manguera de 6 mm, vasos descartables, caja PVC para empotrar de 6 polos, llave térmica de 20 amperios, temporizador Schneider, tomacorriente triple, cable THW calibre 14, manguera corrugada de ¾", tanque de 80 L, jarra, balde de 20 L.

Materiales para análisis en laboratorio, botellas, vaso precipitado, probeta, pipeta, tubos de ensayo, gradillas, placas Petri, plumón.

Compuestos químicos: nitrato de potasio y calcio, superfosfato triple de calcio, sulfato de magnesio, quelato de hierro, sulfato de manganeso, ácido bórico, sulfato de zinc, sulfato de cobre, molibdato de amonio.

Medios de cultivo y enriquecimiento: Stadman Barker (MC), APA, APT, TCBS, RAPAPORT, LAURIL SULFATO, XLD

Los materiales biológicos para el sistema hidropónico se utilizaron *L. sativa* variedad crespa veranada y biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás.

### **3.2.2. Equipos**

Los equipos usados fueron, cámara fotográfica, GPS, pH-metro, conductímetro, multiparámetro, espectrofotómetro, balanza analítica, balanza gramera, estufa, campana extractora, bomba sumergible, balanza gramera, taladro.

### **3.2.3. Software**

Se usaron los Software Microsoft Office (Word, Excel 2019), Google Earth y ArcGis 10.5, SketchUp 2018, R y OpenLCA 2.0.1.

## **3.3. Criterios de investigación**

### **3.3.1. Variables de investigación**

- Variable independiente : Formulación de solución hidropónica
- Variable dependiente : Productividad de *L. sativa*
- Variables intervinientes : Factores ambientales (temperatura, humedad, cantidad de luz solar)

### **3.3.2. Tipo de investigación**

Aplicada, pues se aplicarán los conocimientos adquiridos con anterioridad en el desarrollo práctico para dar solución a un problema inmediato, para provecho de la sociedad (Vargas, 2009 y Sánchez et al., 2018), en el presente estudio se aplicaron los conocimientos en cultivos hidropónicos para aprovechar un subproducto (biol) del sistema de tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás, permitiendo que los productores que cuenten con este sistema tengan una alternativa productiva.

### **3.3.3. Diseño de investigación**

Experimental, pues se usan cuando el investigador quiere saber el efecto de una causa que se manipula, pudiéndose manipular tratamientos (variable independiente) y conocer así sus efectos sobre otras variables (dependientes) (Hernández et al., 2014), la investigación contó con 3 tratamientos (T2, T3 y T4), un testigo positivo (T1), 5 repeticiones (R1, R2, R3, R4 y R5) con 10 unidades experimentales cada uno como se muestra en la Figura y Tabla 10.

Tabla 10. Tratamientos de estudio

Tratamiento	Formulación	Repeticiones	Unidades experimentales
T1	Solución hidropónica (soluciones concentradas A, B y C) de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza	R1, R2, R3, R4 y R5	UE1, UE2, ..., UE9 y UE10.
T2	Biol al 1% + Solución concentrada B de la UNTRM	R1, R2, R3, R4 y R5	UE1, UE2, ..., UE9 y UE10.
T3	Biol al 5% + Solución concentrada B de la UNTRM	R1, R2, R3, R4 y R5	UE1, UE2, ..., UE9 y UE10.
T4	Biol al 2,5% + Solución concentrada B de la UNTRM	R1, R2, R3, R4 y R5	UE1, UE2, ..., UE9 y UE10.

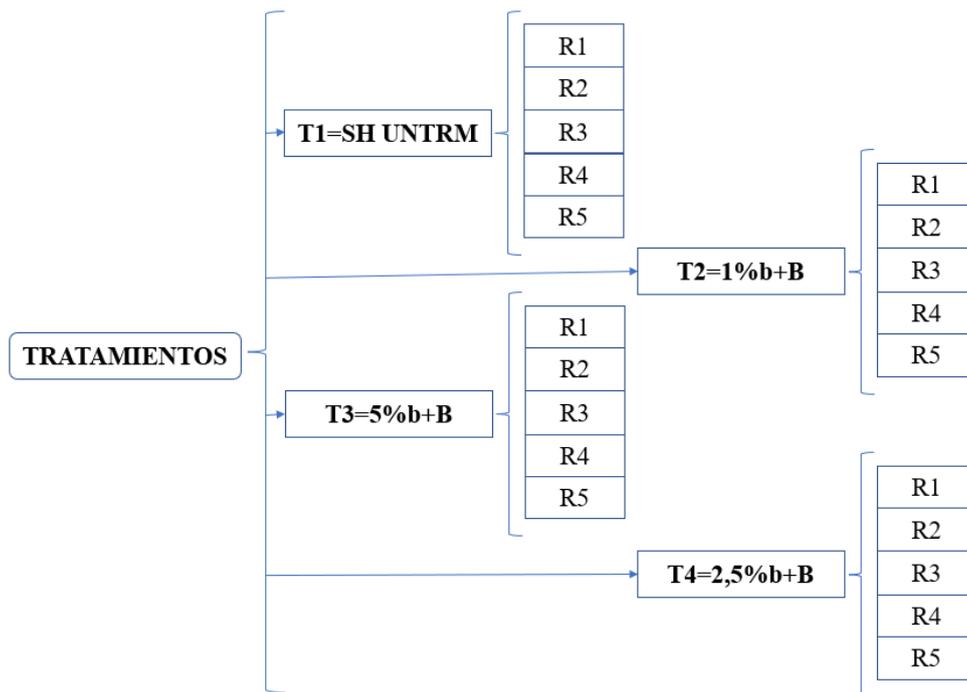


Figura 10. Diseño de investigación.

### 3.4. Metodología

#### 3.3.1. Caracterización fisicoquímica y microbiológica al biol

Se tomaron metodologías correspondientes a cada uno de los microorganismos y los parámetros fisicoquímicos, que se detallan en la Tabla 11.

**Tabla 11.** Métodos para la caracterización del biol.

<b>Parámetros microbiológicos</b>	<b>Método</b>
<i>Salmonella</i>	
Coliformes totales	Número más probable (APHA, AWWA, & WEF, 2017)
Coliformes fecales	
<i>Escherichia Coli</i>	
<i>Vibrio cholerae</i>	
<b>Parámetro fisicoquímico</b>	
pH	<b>4500-H+</b> ; APHA, AWWA, WPFC: Electrodométrico
Conductividad eléctrica	<b>2510B</b> ; APHA, AWWA, WPFC, WPFC: Electrodométrico
Sólidos totales	<b>2540B</b> del Standard Methods: Sólidos totales secados a 103 - 105
Sólidos Disueltos	APHA, AWWA, WPFC

**a) Salmonella**

Se diluyó la muestra en frascos con 54 mL de agua destilada adicionándole 6 mL de muestra de biol, y se hicieron diluciones posteriores hasta  $10^{-5}$ , luego se colocó 1 mL de cada una en tubos con 10 mL de Agua Peptona Tamponada (APT), dejando incubar durante 24 horas a una temperatura de 37 °C. Posteriormente se pasó 1 mL de cada tubo a un tubo con Rappaport, dejando incubar por 24 horas a 44 °C. De cada uno de los tubos se anteriores se sembró en estriado a una placa de Xilosa, Lisina, Desoxicolato (XLD) dejando incubar por 24 horas a 37 °C. Finalmente se evaluaron la presencia de colonias negras (no se encontraron), si se tuvieran positivos se debe realizar las pruebas bioquímicas para confirmar.

**b) Coliformes totales, fecales y *Escherichia Coli***

Se diluyó la muestra en frascos con 54 mL de agua destilada adicionándole 6 mL de muestra de biol, y se hicieron diluciones posteriores hasta  $10^{-5}$ , luego se colocó 1 mL de cada una en tubos con 10 mL de caldo lauril y colocar las campanas de fermentación Durham, dejando incubar por 48 horas a 37 °C. Se consideraron los tubos que presentan turbidez y burbujas en las campanas Durham.

– **Pruebas de confirmación de Coliformes Totales**, tomando los presuntamente positivos se colocó 1 mL de cada una en tubos con 10 mL de caldo brilla y colocar las campanas de fermentación Durham, dejando incubar durante 24 a 48 horas a 37 °C. Finalmente se hizo

lectura de los positivos si presentan gas en las campanas y turbidez.

- **Prueba confirmativa de Coliformes Fecales**, tomando de los presuntamente positivos se colocó 1 mL de cada una en tubos con 10 mL de caldo EC y colocar las campanas de fermentación Durham, dejando incubar durante 24 a 48 horas a 44 °C. Finalmente se hizo lectura de los positivos si presentan gas en las campanas y turbidez.
- **Pruebas de confirmación de *Escherichia coli***, tomando los positivos en los tubos de caldo EC, se sembró en estriado en una placa con agar Eosina y azul de metileno (EMB), dejando incubar durante 24 horas a 37 °C. Finalmente se evaluó el crecimiento de colonias verde metálicas a negras para los positivos para *Escherichia Coli*, si se encontrasen positivos proseguir con las pruebas bioquímicas.

**c) *Vibrio cholerae***

Se diluyó la muestra en frascos con 54 mL de agua destilada adicionándole 6 mL de muestra de biol, y se hicieron diluciones posteriores hasta 10-5, luego se colocó 1 mL de cada una en tubos con 10 mL de Agua de Peptona Alcalina (APA), dejando incubar durante 24 horas a una temperatura de 37 °C. Luego se sembró en estriado en una placa de Agar tiosulfato-citrato-bilis-sacarosa (TCBS), dejando incubar por 24 horas a 37 °C. Finalmente se evaluaron la aparición de colonias amarillas y planas.

**d) pH**

Se verificó el funcionamiento del potenciómetro, enjuagó con agua destilada el electrodo y secó con papel absorbente, se colocó 60 mL de muestra en un vaso precipitado, luego se lavó el electrodo, se sumergió el electrodo en el vaso precipitado con la muestra, posteriormente una vez estabilizada la medición se hizo lectura y registro de los datos.

**e) Conductividad eléctrica**

Se verificó el funcionamiento del Conductivímetro, enjuagó con agua destilada el electrodo y secó con papel absorbente, se colocó 60 mL de muestra en un vaso precipitado, luego se lavó el electrodo, se sumergió el electrodo en la muestra, posteriormente una vez estabilizada la medición se hizo lectura y registro de los datos en  $\mu\text{S}/\text{cm}$ .

**f) Sólidos totales**

Se secó un vaso precipitado en una estufa, luego se registró el peso inicial ( $P_i$ ) del vaso, se colocó 200 mL de muestra en el vaso precipitado que se llevó a una estufa a 105 °C, hasta que la muestra se evapore y queden los sólidos. Posteriormente se pesó el vaso ( $P_f$ ) y se calculó la concentración de STS con la siguiente ecuación:

$$ST \frac{mg}{L} = \frac{P_f - P_i}{V} * 100 \frac{mg}{g} \dots \dots \dots (1)$$

Donde:

Pf: peso final después de secar la muestra

Pi: peso inicial

V: volumen de la muestra

### g) Sólidos disueltos

Se verificó el funcionamiento del equipo para medir STD, enjuagó con agua destilada el electrodo y secó con papel absorbente, se colocó 60 mL de muestra en un vaso precipitado, luego se lavó el electrodo, se sumergió el electrodo en el vaso precipitado con la muestra, posteriormente una vez estabilizada la medición se hizo lectura y registró.

### 3.3.2. Composición nutricional del biol

El biol se extrajo del sistema de producción de biogás instalado en el predio ya antes mencionado. Se analizarán los macro y microelementos presentes en el biol para cuantificar su concentración y disponibilidad.

#### a) Nitrógeno

Este es uno de los elementos principales para el desarrollo de las plantas y será la suma de sus formas presentes como son los nitratos, nitritos y el amonio.

- **Nitratos**, se encendió el espectrofotómetro 30 min antes de realizar las lecturas, luego se adicionó 05 ml de la muestra en tubos de ensayo, en un tubo adicional, se rotuló el Blanco Reactivo (BR) y se adicionó 05 ml de agua desionizada, se adicionó un sobre del reactivo Nitriver5 (HACH) a cada tubo, agitó por 1 minuto, se colocó en las celdas de cuarzo parte del contenido de la muestra de cada tubo, ubicar en orden ascendente y seguido (B, 1, ...,5) de las posiciones marcadas dentro del equipo y leyó en el espectrofotómetro a 880 nm. La lectura debe realizarse entre los 30-120 minutos para obtener una lectura confiable.
- **Nitritos**, se encendió el espectrofotómetro 30 min antes de realizar las lecturas, luego se adicionó 5 ml de la muestra en los tubos de ensayo debidamente rotulados, en un tubo adicional se rotuló Blanco Reactivo (BR) y se adicionó 5ml de agua desionizada. Se adicionó un sobre del reactivo Nitriver 3 de HACH a cada tubo, se agitó por 1 minuto, se colocó en celdas de cuarzo parte del contenido de la muestra de cada tubo, ubicar en orden ascendente (BR, M1, ..., M5) y seguido (B, 1, ...,5) de las posiciones marcadas dentro del equipo, se configuró el equipo para lectura para nitritos y se presiona correr análisis, se leyó y registró la lectura del espectrofotómetro a 543 nm. Los resultados se obtienen en unidades de mg/L, la lectura debe realizarse entre los 30-120 minutos.
- **Amonio**, para iniciar el proceso se encendió el espectrofotómetro 30 min antes de realizar las lecturas, se adicionó 5 ml de las muestras en fioles de 50 ml y llenó con agua desionizada

hasta la mitad. Se adicionó 2 ml del reactivo de Nessler y 3 gotas de solución de sal ROCHE 50%, se aforó la fiola con agua destilada hasta los 50 ml, se hizo un blanco con agua destilada y los reactivos de Nessler y solución de sal ROCHE 50%, se colocó las muestras preparadas en las celdas de cuarzo, se leyó y registró la lectura en el espectrofotómetro a 380 nm y el resultado en mg/L.

**b) Fósforo**

Se midió a partir de los fosfatos siguiendo el siguiente procedimiento: Para iniciar el proceso se encendió el espectrofotómetro 30 min antes de realizar las lecturas, se tomó 5 ml de las muestras y colocó en los tubos de ensayo debidamente rotulados, en un tubo adicional, se rotuló Blanco Reactivo (BR) y agregarle 5ml de agua desionizada. Se adicionó en cada tubo de ensayo un sobre del reactivo Phosver 3 de HACH y agitó durante 20 segundos, se hizo un blanco con agua destilada y un sobre del reactivo Phosver 3 de HACH, se dejó reaccionar durante 8 minutos, se colocó las muestras de agua en las celdas y leer la absorbancia en el espectrofotómetro a 543 nm, el resultado estará en mg/L.

**c) Potasio, Calcio, Magnesio, Sodio, Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre, Molibdeno, Boro, Cloro.**

Se homogenizó la muestra, se adicionó 10 mL de muestra en un tubo rotulado y limpio con una micropipeta, se adicionó 1,0 mL de HNO<sub>3</sub> al 50% a todas las muestras, se llevó los tubos a un calentador de bloques en una campana y ajustar la temperatura a 105 °C, se digirió la muestra durante un mínimo de 2 horas, se almacenó a 4 °C hasta que esté listo para el análisis, llevar al espectrofotómetro de emisión atómica para la lectura.

**3.3.3. Determinación de la productividad de *L. sativa* por efecto de la aplicación de diferentes formulaciones de una solución hidropónica del biol**

Para determinar la productividad de *L. sativa*, hicieron varios procesos hasta llegar a la evaluación la planta dentro de un sistema hidropónico tipo NFT.

**a) Diseño e instalación de sistema hidropónico**

En base a los antecedentes se diseñó un sistema hidropónico tipo NFT, con capacidad para 100 plantas de *L. sativa* que estuvieron divididas en 2 módulos para 50 plantas cada una (Anexo B), el sistema estuvo compuesto por un invernadero para cobertura del sistema, con canales de cultivo de 3", sistema de tuberías para recirculación de ¾", 2 tanques colectores, dos bombas sumergibles, un sistema eléctrico desde donde se controlaban los tiempos de recirculación de la solución nutritiva.

**b) Formulación de las soluciones hidropónica concentradas y biol.**

Las soluciones hidropónicas concentradas A, B y C fueron obtenidas en presentación comercial del Centro de Producción Hidropónica del INDES-CES de la UNTRM para T1, seguidamente para T2, T3 y T4 se usó biol en diferentes concentraciones juntamente con la solución concentrada B de la UNTRM como fuente de micronutrientes.

- **Preparación de biol**, en este trabajo de investigación el biol usado fue obtenido de un biodigestor componente de un sistema de tratamiento de aguas mediante digestión anaeróbica, se sacó 2 litros de biol y pasó por un filtro de geotextil y tela de algodón para bajar la cantidad de sólidos totales presentes.
- **Formulación de mezclas**, se tomó la formulación de la solución hidropónica La Molina usada en el cultivo de la *L. Sativa* para tratar de compensar las deficiencias que hay dentro del biol y así usarlo como alternativa a la solución hidropónica comercial.

**c) Evaluación del efecto de la formulación en el cultivo de *L. sativa***

Se llevó a germinación en arena gruesa desinfectada con hipoclorito de sodio al 10%, las semillas de *L. sativa*, transcurridos una semana se instalaron en una bandeja en un sistema de raíz flotante para su aclimatación por 15 días y luego 30 días en los canales de cultivo, un total de 50 plantines para cada repetición. Seguidamente se puso en funcionamiento el sistema, se midieron los parámetros (Tabla 12), para cada una de las repeticiones y se mantuvo la solución nutritiva a más del 75% del volumen del tanque de acumulación.

**Tabla 12.** Parámetros medidos en el presente estudio.

<b>Parámetro</b>	<b>Frecuencia</b>	<b>Método</b>	<b>Instrumento</b>
pH	Cada 3 días	Electrométrico	Conductivímetro Waterproof ECTestr11
Conductividad Eléctrica	Cada 3 días	Electrométrico	Potenciómetro Waterproof IP 57
Número de hojas	A los 45 días	Manual	--
Tamaño de raíz	A los 45 días	Manual	Cinta métrica Truper
Diámetro de área foliar	A los 45 días	Manual	Cinta métrica Truper

### 3.3.4. Análisis de ciclo de vida del sistema de producción hidropónica de *L. sativa*

#### a) Definición de objetivos y alcances

Se tomó como objetivo la realización del análisis de ciclo de vida para la producción de 100 unidades de *L. sativa* en un sistema hidropónico tipo NFT, analizando los componentes dentro del sistema, los insumos a utilizar, los materiales y con ello los posibles impactos ambientales de los procesos dentro del sistema. Por otro lado, el alcance se enmarcó en el modelo de la “cuna a la puerta”.

#### b) Inventario de ciclo de vida

Se desarrolló el diagrama de flujo considerando los ingresos y salidas de todo el sistema, se registró cada uno de los materiales e insumos utilizados en todo el proceso, enmarcando dos etapas importantes, la primera es la instalación, seguida de la puesta en funcionamiento del sistema hidropónico tipo NFT. Finalmente se obtuvo un listado donde se especifica cada insumo y material, su cantidad y la unidad de medida correspondiente, que fueron tomadas a detalle en cada una de las etapas de la ejecución del presente estudio.

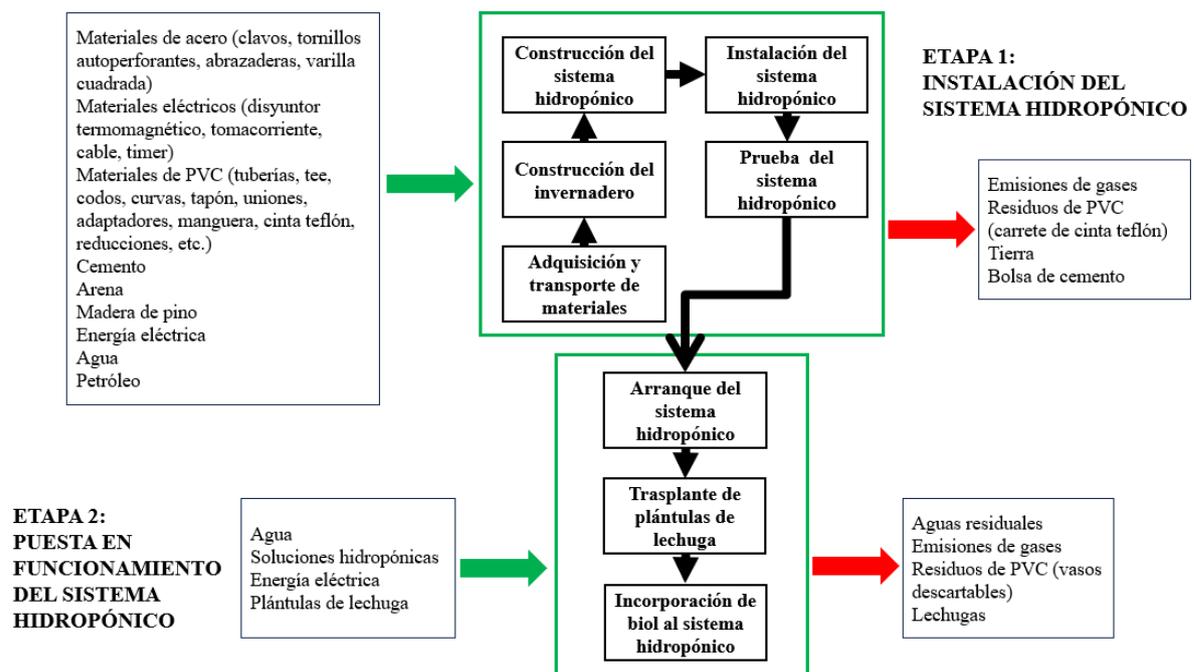
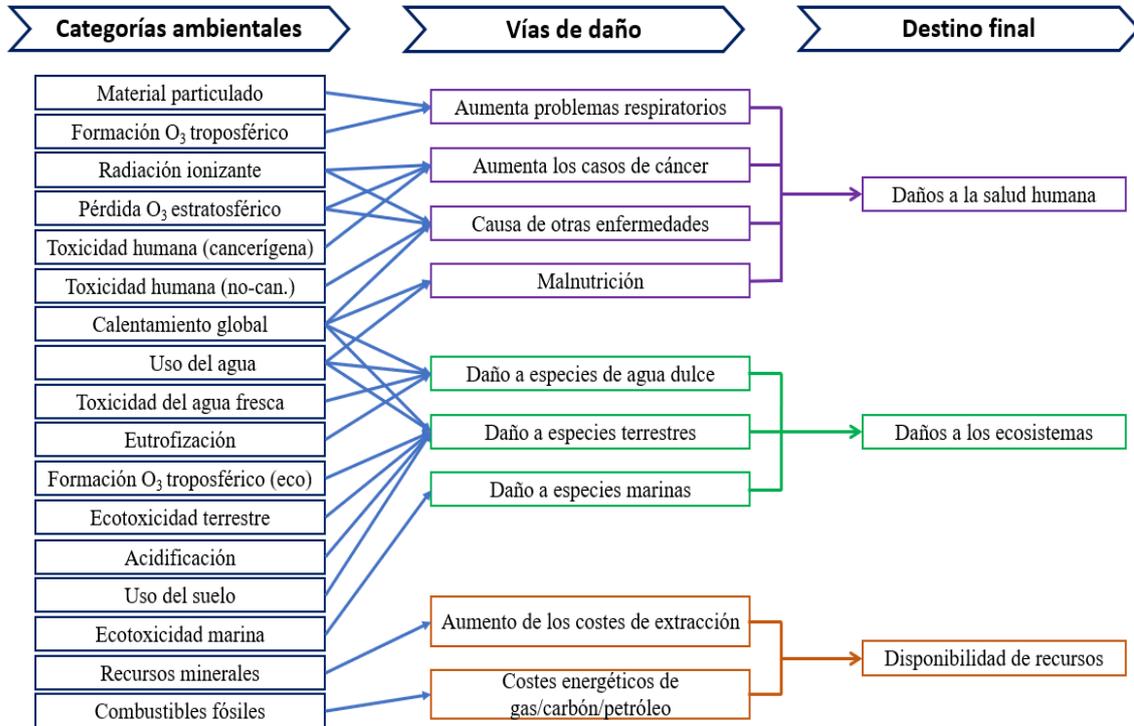


Figura 11. Flujograma estándar para el ACV del sistema hidropónico tipo NFT de *L. sativa*.

#### c) Evaluación de impactos

Para la evaluación de los impactos producidos por sistema hidropónico (producción), se pueden diferenciar los métodos en dos grupos, el primero es el Midpoint que define dentro de sus términos los impactos o daños al ambiente (eutrofización, ecotoxicidad, acidificación, etc.), el segundo el Endpoint los impactos o daños al hombre y a los sistemas naturales. En la Figura 12 se puede visualizar la relación que existe entre los

indicadores ambientales, las vías de daño y los indicadores de destino final. Los datos del Inventario de ciclo de vida fueron analizados en el software de acceso gratuito OpenLCA 2.0.1. usando la base método de evaluación de efectos Recipe 2016 Midpoint (I).



**Figura 12.** Relación entre los indicadores ambientales, vías y destino final.

#### d) Interpretación

Esta etapa constituyó la interpretación y explicación de los gráficos obtenidos del software OpenLCA 2.0.1. resultado del ingreso de datos del inventario de ciclo de vida, los indicadores de cada categoría de impacto, que muestran aquellos procesos con mayor impacto y las categorías de impacto más significativas.

### 3.5. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se aplicó el diseño completamente al azar (DCA) con 3 tratamientos ( T2, T3, y T4) y un testigo positivo (T1), 5 repeticiones (R1, R2, R3, R4 y R5) y 10 unidades experimentales por cada repetición, se desarrolló el análisis de los parámetros agronómicos de la *L. sativa*, número de hojas, longitud de raíz y diámetro del área foliar, los parámetros fisicoquímicos de la solución nutritiva a lo largo de 45 días (tiempo de experimento), se usó un nivel de significancia del 5%. En primer lugar, se realizó un análisis inferencial (ANOVA o Kruskal-Wallis), para ello se analizaron los supuestos de normalidad y homogeneidad de los datos, finalmente al encontrar diferencias significativas ( $p \geq 0,05$ ) se realizó una prueba post hoc, Tukey (pH) si es un ANOVA y Nemenyi (número de hojas, longitud de raíz, diámetro del área foliar y conductividad eléctrica) si es Kruskal-Wallis.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Características fisicoquímica y microbiológica del biol

El biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás, sistema que cuenta con un biodigestor cúbico con un tiempo de operación de un mes y se encuentra instalado en el caserío Ramos del distrito de Santa Rosa, provincia Rodríguez de Mendoza, en el departamento de Amazonas, el cuál fue tomado para el desarrollo experimental de este estudio, presenta un pH de 6,48 con una conductividad eléctrica de 521  $\mu\text{S}/\text{cm}$  y 4597 mg/L de sólidos totales (Tabla 13).

**Tabla 13.** Parámetros fisicoquímicos del biol.

Parámetro	Método	Unidad de medida	Valor
pH	Método 4500- H+; APHA; AWWA, WEF		6,48
Conductividad eléctrica	Método 2510 B; APHA, AWWA, WEF	$\mu\text{S}/\text{cm}$	521
Sólidos totales	Método 2540 B; APHA, AWWA, WEF	mg/L	4597

Las características fisicoquímicas del biol fueron influenciadas por su producción, pues es el resultado del tratamiento de biodigestión anaeróbica de aguas mieles de café para la producción de biogás. Un sistema desarrollado por Barrena et al. (2019) en el cual mediante uso de un biodigestor y por fermentación anaeróbica se produce biogás y se obtiene como subproducto el biol o biofertilizante líquido. La fermentación anaeróbica se desarrolla en niveles de pH cercanos al neutro (7), para un proceso satisfactorio (Lorenzo y Obaya, 2005) de manera teórica y en un caso práctico en valores entre 6,8 a 7,2 en la producción de biogás en digestores anaerobios (Hach, 2019), valores similares al del biol utilizado y afectado directamente por sus componentes principales que son las aguas mieles del café y el estiércol de ganado vacuno, pues las aguas mieles de café son ácidas como menciona Torres et al. (2019) con niveles de pH entre 4,025 ( $\pm 0,035$ ) con fermentación de 24 horas a 3,995 ( $\pm 0,021$ ) con fermentación a 14 horas y Rodríguez et al., (2000) con pH de 4,6 en aguas de despulpe y lavado, por otro lado el estiércol de ganado vacuno es ligeramente alcalino como lo mencionan Bernal y Orosco (2019) con valores de pH de 7,45 y Sierra (2005) con valores de pH entre 6,3 a 7,0.

Los parámetros microbiológicos del biol fueron, 28 NMP/100mL de coliformes totales, 28 NMP/100mL de coliformes fecales, <1,8 NMP/100mL de *E. Coli*, no presentando *Salmonella* ni *V. Cholerae* (Tabla 13). La cantidad de coliformes fecales y totales (28 NMP/100mL), hacen que este biol pueda ser usado directamente en los cultivos que tengan contacto directo con el agua en el riego como lo establecía el D.S. N° 015-2015-MINAM Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (1000 NMP/100mL) en la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), subcategoría D1 (vegetales de tallo bajo y alto), cabe mencionar que en la legislación actual D.S. N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Agua, no se toma en consideración este parámetro en la categoría 3, subcategoría D1 haciéndola más flexible. El biol se utilizó para la formulación de los tratamientos que fueron suministrados al sistema hidropónico NFT, que en su funcionamiento al recircular la solución nutritiva entran en contacto directo con el sistema radicular y el tallo de la planta.

**Tabla 14.** Parámetros microbiológicos del biol.

Parámetro	Método	Unidad de medida	Valor
Coliformes totales	Técnica estandarizada de fermentación en tubo múltiple de coliformes totales	NMP/100mL	28
Coliformes fecales	Método 9221 - C, APHA, AWWA, WEF Procedimiento de NMP para coliformes fecales	NMP/100mL	28
<i>E. Coli</i>	Método 9225 - B, APHA, AWWA, WEF Diferenciación de bacterias coliformes	NMP/100mL	<1,8
<i>Salmonella</i>	Método 9260 - B, APHA, AWWA, WEF Procedimientos generales cualitativos de aislamiento e identificación de <i>Salmonella</i>	Presencia/ Ausencia	Ausencia
<i>V. Cholerae</i>	Método 9260 - H, APHA, AWWA, WEF	Presencia/ Ausencia	Ausencia

La presencia de *Escherichia coli* (<1,8 NMP/100mL) se encuentra por debajo de lo establecido en el D.S. N° 004-2017-MINAM Estándares de Calidad Ambiental para Agua (1000 NMP/100mL) en la categoría 3 (riego de vegetales y bebida de animales), subcategoría

D1 (riego de vegetales), la supervivencia de esta bacteria a la digestión anaeróbica se debe a que es una anaerobia facultativa (Rodríguez, 2022), pudiendo sobrevivir sin presencia de oxígeno como en las lagunas anaeróbicas hasta por 12 años (Alfaro et al., 2015). Por otro lado, la digestión anaerobia es usada como tratamiento de efluentes o lodos en los cuales se logra reducir el número de patógenos presentes como la *Salmonella* (Castro et al., 2020) ayudando así a la ausencia de *Salmonella* y *Vibrio Cholerae*, Acosta (2019), analizó un biol a base de estiércol vacuno mediante digestión anaeróbica registrando también la ausencia de *Salmonella*, coincidiendo también con Leiva (2018) y con este estudio.

#### 4.2 Composición nutricional del biol

Los datos presentados en la Tabla 15 muestra los parámetros no metálicos del biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás, que se tomaron como base para el balance nutricional de las formulaciones con el biol como alternativa en las soluciones nutritivas, 6800,00 ppm de nitrato, 6,10 ppm de nitritos y 179,30 ppm de amonio los cuales suman un total de 6985,40 ppm de nitrógeno disponible, 314,00 ppm azufre disponible a partir de los sulfatos y 1470,70 ppm de fósforo disponible a partir de los fosfatos.

**Tabla 15.** Parámetros inorgánicos no metálicos del biol.

<b>Parámetros inorgánicos no metálicos</b>			
<b>Parámetro</b>	<b>Método</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Valor</b>
Nitratos	Método 7039; HACH	ppm N-NO <sub>3</sub>	6800,00
Nitritos	Método 7507; HACH	ppm N-NO <sub>2</sub>	6,10
Sulfatos	Método 375.4; HACH	ppm SO <sub>4</sub> -2	314,00
Fosfatos	Método 7190; HACH	ppm PO <sub>4</sub> -3	1470,70
Amonio	Método 4500 NH <sub>3</sub> C; APHA, AWWA, WEF	ppm N-NH <sub>3</sub>	179,30

La concentración de nitrógeno (6985,40 mg/L) está relacionada directamente a la naturaleza del estiércol de ganado vacuno que tiene un alto contenido de nitrógeno, como menciona Iglesias (1994) con 4,4 g N/kg de estiércol, otros autores mencionan que el 1,47% (Guevara y Alarcón, 2019) y 2% (Pedraza, 2001) de estiércol es nitrógeno. De la misma forma, la concentración de fósforo (1470,70 mg/L) tiene influencia del estiércol como menciona Iglesias (1994) con 0,9 g P/kg de estiércol, otros autores mencionan que el 0,6337% (Guevara y Alarcón, 2019) y 5,4% (Pedraza, 2001), gracias a este contenido es que se producen bioles con alta carga nutricional como lo reportó Cabos et al. (2019) con una concentración de 2100 mg/L de nitrógeno, 202,8 mg/L de fósforo después de una digestión anaeróbica de 30 días.

En el tratamiento de aguas mieles de café mediante digestión anaerobio es importante el monitoreo del amonio pues esta especie se encuentra en equilibrio con el amoniaco y puede ser un inhibidor de las bacterias metanogénicas produciendo el descenso en el crecimiento de la población, en concentraciones mayores a 3000 mgN-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> /L el ion amonio se vuelve tóxico independientemente del pH (López, 2016 y Campos, 2001), razón por el cual los residuos con grandes cantidades de nitrógeno suelen causar problemas en la operación de digestores anaeróbicos sino se oxida de forma eficaz el amonio para dar lugar a los nitratos y nitritos (Lorenzo y Obaya, 2005 y López, 2016). La concentración de amonio en el biol puede alertar de una mala operación o dosificación de los insumos del sistema de digestión anaerobia, siendo en el biol usado para esta investigación 31,80 ppm una concentración muy baja.

Entre los parámetros metálicos o elementos que forman parte del balance nutricional del biol tenemos, con mayores concentraciones tenemos al calcio (8533,19 ppm), potasio (7447,10 ppm), magnesio (3338,51 ppm) y sodio (3055,01 ppm), con las menores tenemos al cobre (0,70 ppm) y al molibdeno (0,005) ppm (Tabla 16), estos forman parte de los macro y micronutrientes esenciales para el desarrollo de las plantas.

**Tabla 16.** Parámetros metálicos del biol.

Parámetro	Método	Unidad de medida	Valor
Boro		ppm B	6,76
Calcio		ppm Ca	8533,19
Cobre		ppm Cu	0,70
Hierro		ppm Fe	3,29
Magnesio	Método 3120- B; APHA, AWWA, WEF:	ppm Mg	3338,51
Manganeso	Método de plasma de acoplamiento inductivo (ICP) para MP-AES	ppm Mn	0,73
Potasio		ppm K	7447,10
Sodio		ppm Na	3055,01
Zinc		ppm Zn	3,93
Molibdeno		ppm Mo	0,005

Dentro de los parámetros metálicos analizados encontramos el contenido de potasio que también es un macroelemento importante en el desarrollo de las plantas con una concentración de 7447,10 ppm, superando valores de algunos estudios realizados como, 2504,80 mg/L (Cabos et al.,2019), 4720,40 mg/L (Acosta, 2019), 1019,72 mg/L (Peñañiel y Ticona, 2015). El contenido de sodio (3055,01 ppm) fue superior a lo reportado en otras investigaciones 465,50 mg/L (Peñañiel y Ticona, 2015).

### 4.3 Productividad en el cultivo de *L. sativa* por efecto de la aplicación de diferentes formulaciones de una solución hidropónica del biol

Los datos mostrados en la Tabla 17 presenta un resumen de los indicadores evaluados en la aplicación de cada tratamiento en el cultivo de *L. sativa*, la combinación del biol al 2,5% más la solución concentrada B de la UNTRM mostró las mejores características con 18 hojas por planta, una longitud de raíz de 25,05 cm y un diámetro de área foliar de 29,05 cm en promedio, manteniendo un pH de 6,639 y una conductividad eléctrica de 1,91mS/cm en promedio durante los 45 que duró el ciclo de cultivo desde la adaptación al sistema de raíz flotante hasta la evaluación de las características agronómicas y posterior cosecha.

**Tabla 17.** Indicadores evaluados en cada tratamiento de la investigación.

Tratamientos	Indicadores				
	pH	CE (mS/cm)	Número de hojas	Longitud de raíz (cm)	Diámetro de área foliar (cm)
T1	6,406	1,955	18	25,80	28,70
T2	6,183	2,150	17	21,00	23,90
T3	6,176	2,295	16	24,10	19,60
T4	6,639	1,910	18	25,05	29,05

#### 4.3.1. Componentes nutricionales de las diferentes formulaciones

En el contenido nutricional de las diferentes soluciones hidropónicas y formulaciones desarrolladas en la investigación fueron comparadas con el rango propuesto por Rodríguez y Chang (2011) para las concentraciones de los micro y macronutrientes presentes en las formulaciones de soluciones nutritivas, el tratamiento que más se asemeja es el biol al 2,5% más Solución concentrada B de la UNTRM , en nivel intermedio el biol al 1% más Solución concentrada B de la UNTRM y el más alejado el biol al 5% más Solución concentrada B de la UNTRM y de separado la solución hidropónica de la UNTRM que es una formulación comercial (Tabla17), todos los tratamientos contienen los nutrientes aportados por el agua utilizada en la preparación.

Los nutrientes por los cuales están formados las soluciones nutritivas en el cultivo hidropónico son requeridos por las plantas en cantidades variables, diferenciando a los macroelementos o macronutrientes o elementos mayores que agrupan al nitrógeno (N), fósforo

(P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S) que son requeridas en cantidades mayores, de los microelementos o micronutrientes o elementos menores que agrupan al hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), boro (B) y molibdeno (Mo), que son requeridas en cantidades mucho menores en comparación al grupo anterior (Carbone, 2015), todos estos nutrientes o elementos son necesarios para el crecimiento y desarrollo de la *L. sativa* y se encuentran en las distintas formulaciones de los tratamientos (T1, T2, T3 y T4) usados.

**Tabla 18.** Contenido nutricional de los diferentes tratamientos.

Contenido	Rango* (ppm)	T1=UNTRM (ppm)	T2=1%b+B (ppm)	T3=5%b+B (ppm)	T4=2.5%b+B (ppm)
N	150,00 – 250,00	199,43	69,94	349,70	174,85
P	30,00 – 50,00	52,16	14,71	73,54	36,77
K	200,00 – 300,00	310,29	99,59	397,93	211,47
Ca	120,00 – 200,00	201,09	85,61	428,07	214,03
Mg	20,00 – 50,00	56,31	81,47	215,34	131,67
S	50,00 – 100,00	48,39	51,59	64,42	56,40
Fe	0,50 – 2,00	1,20	1,23	1,36	1,28
Mn	0,50 – 0,80	0,75	0,76	0,79	0,77
Mo	0,01 – 0,05	0,08	0,08	0,08	0,08
Cu	0,05 – 0,15	0,15	0,16	0,19	0,17
Zn	0,10 – 0,30	0,21	0,25	0,40	0,31
B	0,30 – 0,60	0,5	0,07	0,34	0,17

\*. Fuente: Rodríguez y Chang, 2011

B: Solución concentrada B de la UNTRM, b: biol

La concentración de nitrógeno debe estar entre 150 y 250 ppm (Rodríguez y Chang, 2011), el biol al 1% más la solución concentrada B (69,94 ppm) estuvo por debajo del límite inferior, razón por el cual se observó coloración amarillenta en algunas hojas de algunas unidades experimentales de este tratamiento, coincidiendo con Carbone (2015) quien menciona que, al ser el nitrógeno uno de los macroelementos con mayor presencia en las plantas, pues forma parte de las proteínas formando así las estructuras subcelulares y diferentes organoides, su deficiencia se exterioriza por clorosis (amarillamiento) en las hojas desde la parte inferior hacia la superior, afectan también a las raíces haciendo que estas sean más débiles y alargadas. La solución nutritiva debe aportarlo mediante un equilibrio de nitrato y amonio, de esta manera se genera un equilibrio anión – catión dentro de la planta, mientras que el biol al 5% más la solución concentrada B (349,70 ppm) estuvo por encima del límite produciéndose así un exceso

de nitrógeno que se manifestó con la quemadura de los bordes de algunas hojas coincidiendo con Carbone (2015), por su parte el biol al 2,5% más la solución concentrada B (174,85 ppm) y la solución hidropónica de la UNTRM (199,43 ppm) estuvieron dentro del rango.

La concentración de fósforo debe estar entre 30 y 50 ppm (Rodríguez y Chang, 2011), el biol al 1% más la solución concentrada B (14,71 ppm) estuvo por debajo del límite inferior, razón por el cual se observó una coloración púrpura muy clara en algunas unidades experimentales como menciona Carbone (2015), las deficiencias de fósforo obligan al movimiento del mismo desde las hojas más viejas a las nuevas, también se reduce el crecimiento de la planta, mientras que la solución hidropónica de la UNTRM (52,16 ppm) y el biol al 5% más solución concentrada B (73,54 ppm) estuvieron por encima del límite superior, en la aplicación de estos tratamientos no se observaron consecuencias por exceso, por su parte el biol al 2,5% más solución concentrada B (36,77ppm) se mantuvo dentro del rango.

La concentración de potasio debe estar entre 200 y 300 ppm (Rodríguez y Chang, 2011), el biol al 1% más la solución concentrada B (99,59 ppm) estuvo por debajo del límite inferior, esta deficiencia también podría causar el amarillamiento de las hojas basales y su posterior necrosis si la deficiencia es alta o se mantiene por un largo periodo (Carbone, 2015), el biol al 5% más la solución concentrada B (397,93 ppm) y la solución hidropónica de la UNTRM (310,29 ppm) estuvieron por encima del límite superior pudiendo afectar la absorción de boro, calcio, hierro y magnesio (Bailón et al., 2007), solo el biol al 2,55 más la solución concentrada B (211,47 ppm) se mantuvo dentro del rango.

Las concentraciones de macronutrientes secundarios fueron, calcio debe estar entre 120 y 200 ppm (Rodríguez y Chang, 2011), el biol al 15 más solución concentrada B (85,61 ppm) estuvo por debajo del límite inferior, los otros tratamientos estuvieron por encima del límite superior, sin presentarse signos de exceso ni deficiencia. Magnesio debe estar entre 20 y 50 ppm (Rodríguez y Chang, 2011), todos los tratamientos estuvieron por encima del límite superior esto pudo ocasionar la carencia de absorción de potasio (Bailón et al., 2007). Azufre debe estar entre 50 y 100 ppm (Rodríguez y Chang, 2011), todos los tratamientos estuvieron dentro del rango, no presentando deficiencias ni excesos.

Las concentraciones de micronutrientes por su parte fueron, para hierro, todos los tratamientos se mantuvieron dentro del rango, para manganeso, de la misma manera todos los tratamientos se mantuvieron dentro del rango, para molibdeno, todos se mantuvieron por encima del límite superior, para cobre, solo el biol al 1% más la solución concentrada B se mantuvo dentro del rango, los otros tratamientos estuvieron encima del límite superior, para zinc, el biol al 5% y 2,5% más la solución concentrada B se mantuvieron por encima del límite

superior y los otros tratamientos se mantuvieron dentro del rango, finalmente para boro, el biol al 1% y 2,5% más la solución concentrada B se mantuvieron por debajo del límite inferior y los otros tratamientos se mantuvieron dentro del rango.

Las diferencias que existieron entre el contenido nutricional de las formulaciones de soluciones hidropónicas con el uso de biol con relación a la solución hidropónica comercial de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza se muestran en la Tabla 19, el biol al 1% más la solución concentrada B presenta una alta deficiencia en los macroelementos potasio (-199,12 ppm) y nitrógeno (-120,91 ppm), el biol al 5% más la solución concentrada B presenta un alto exceso en los macroelementos calcio (255,17 ppm), magnesio (167,34 ppm) y potasio (99,23 ppm), seguidamente el biol al 2,5% más la solución concentrada B presenta deficiencia en macroelementos como potasio (-87,24 ppm), nitrógeno (-16,00 ppm) y fósforo (15,23 ppm) y un exceso en magnesio (83,67 ppm) y calcio (41,13 ppm).

**Tabla 19.** Deficiencia o exceso nutricional entre el testigo y los tratamientos.

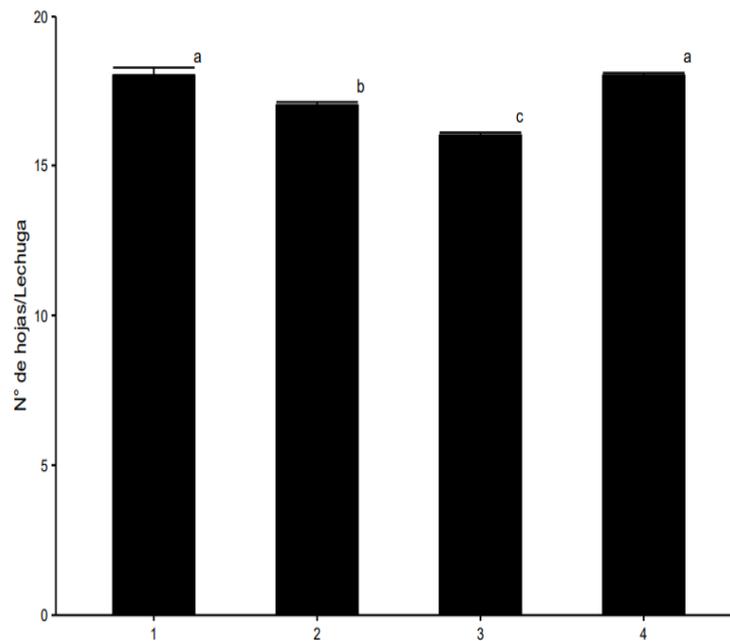
Contenido	T1=UNTRM (ppm)	T2=1%+B (ppm)	T3=5%+B (ppm)	T4=2.5%+B (ppm)
N	-	-120,91	158,85	-16,00
P	-	-37,29	21,54	-15,23
K	-	-199,12	99,23	-87,24
Ca	-	-87,29	255,17	41,13
Mg	-	33,47	167,34	83,67
S	-	3,21	16,03	8,01
Fe	-	0,03	0,17	0,08
Mn	-	0,01	0,04	0,02
Mo	-	0,00	0,00	0,00
Cu	-	0,01	0,04	0,02
Zn	-	0,04	0,20	0,10
B	-	-0,43	-0,16	-0,33

#### 4.3.2. Características agronómicas de *L. sativa*

##### a) Número de hojas

Los datos del número de hojas para los efectos de los diferentes tratamientos presentaron diferencias significativas en la prueba Kruskal-Wallis ( $X^2 = 79,298$  y  $p = 0.001$ ). La Figura 13 presenta los resultados de la prueba de Nemenyi, donde se pudo

comparar las medianas para el número de hojas de los diferentes tratamientos, donde la solución hidropónica de la UNTRM y el biol al 2,5% más la solución concentrada B son estadísticamente iguales razón por la cual se encuentran en el mismo grupo (a) y presentan una mediana de 18 hojas, mientras que los otros tratamientos difieren de las dos anteriores. El número de hojas no estuvo influenciado por la posición de las repeticiones (tubos), al no presentar diferencias significativas en la prueba de Kruskal-Wallis ( $X^2 = 4,9974$  y  $p = 0,2876$ ), mostrando de esa forma que no existe diferencia entre las repeticiones.



Letras diferentes significan diferencias significativas

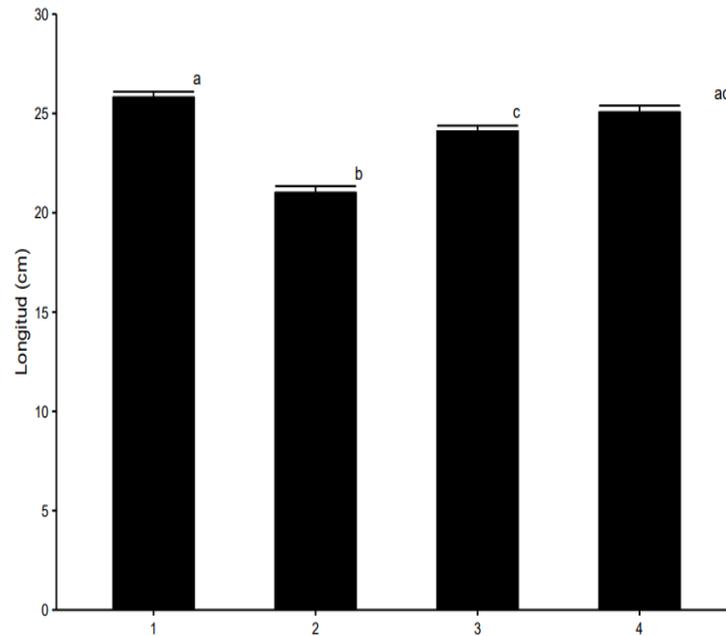
**Figura 13.** Prueba de Nemenyi para la comparación del número de hojas.

Jeannot et al. (2020) menciona que el tiempo de maduración de la *L. sativa* en cultivo hidropónico es de aproximadamente 45 a 50 días y se puede realizar la cosecha recomendablemente desde los 49 días o siete semanas, partiendo de lo anterior se hicieron las evaluaciones después de los 45 días, cuando la planta tenía un tamaño comercial y con signos de madurez. Neri et al. (2017) al aplicar biol obtuvo plantas de *L. sativa* con 18 hojas en promedio, muy similar a Pianto y Ñaupá (2020) con 18,7 hojas en promedio, corroborando así los resultados obtenidos en esta investigación.

#### **b) Longitud de raíz**

Los datos de la longitud de raíz para los efectos de los diferentes tratamientos presentaron diferencias significativas en la prueba Kruskal-Wallis ( $X^2 = 53,556$  y  $p = 0.001$ ). La Figura 14 muestra los resultados de la prueba de Nemenyi donde se pudo comparar las medianas para la longitud de raíz, donde la solución hidropónica de la UNTRM

(25,80 cm) y el biol al 2,5% más la solución concentrada B (25,05 cm) son estadísticamente iguales razón por la cual se encuentran en el grupo (a), por su parte el biol al 1% más la solución concentrada B difiere con los demás. La longitud de la raíz de las plantas no estuvo influenciada por la posición de las repeticiones (tubos), pues no presentaron diferencias significativas al realizar la prueba de Kruskal-Wallis ( $X^2 = 93382$  y  $p = 0,05318$ ), mostrando de esa forma que no existe diferencia entre las repeticiones.



Letras diferentes significan diferencias significativas

**Figura 14.** Prueba de Nemenyi para la comparación de la longitud de raíz.

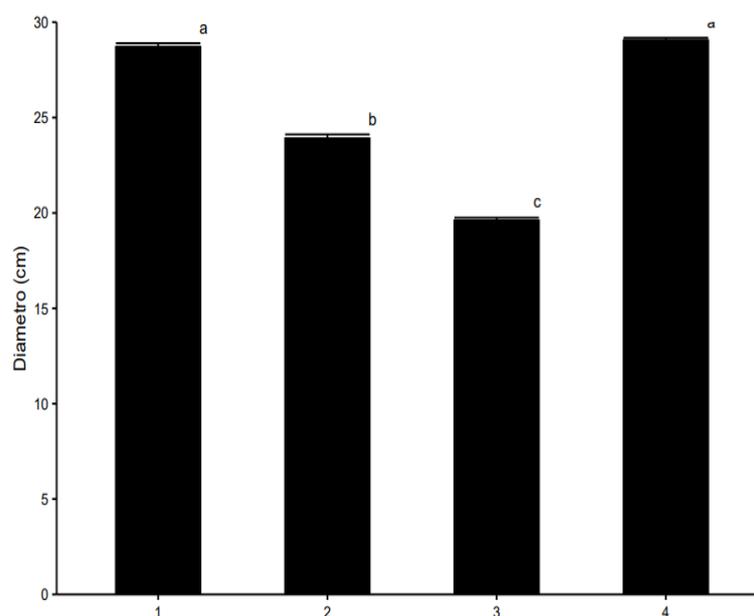
La raíz de *L. sativa* tiene una longitud aproximada de 25 cm (Jeannot et al., 2020) pudiendo llegar hasta los 60 cm (INIA,2017), la longitud de la raíz puede ser afectada por la concentración de sales en la solución nutritiva que puede inhibir el crecimiento de las plantas hasta llegar a morir por desecación, para contrarrestar esta situación se debe tener un control del volumen de la solución nutritiva y un cambio periódico de la misma (Smithers Oasis, 2018). El sistema NFT ayuda a la visibilidad de las raíces para poder llevar un control fitosanitario y tomar decisiones en cualquier etapa de desarrollo de las plantas (Zárate, 2015), otra característica crucial es que gran parte sino es todo el sistema radicular está sumergida en la solución nutritiva haciendo que las raíces no deban crecer tanto en busca de los nutrientes (Ríos et al., 2020), estos nutrientes se encuentran en forma de iones (cationes y aniones) y se encuentran en constante movimiento favoreciendo su absorción (Jeannot et al., 2020).

Ruscitti (2015) menciona que el agua se mueve siguiendo un gradiente de potencial hídrico, poseyendo las raíces de las plantas un potencial elevado por la gran distribución de las acuaporinas (proteínas), el sistema NFT al presentar una película de

solución nutritiva en los canales de cultivo tiene gran disposición de los nutrientes razón por el cual las raíces no crecen tanto sino que desarrollan gran cantidad de raíces secundarias y pelos radicales, la disposición de oxígeno (aireación) en la solución nutritiva tiene un papel muy importante en la absorción de nutrientes ayudando al desarrollo de las raíces y a la realización de sus funciones, la deficiencia de oxígeno puede llevar a la acumulación de CO<sub>2</sub> en las raíces, afecta a la disponibilidad del hierro, permitiendo la acumulación de manganeso en las hojas e inhibiendo la absorción del potasio y nitrógeno (Carbone, 2015), por lo descrito anteriormente se pueden corroborar los resultados de esta investigación con un promedio de 25,80 cm (T1), 25,05 cm (T4), 24,10 cm (T3) y 25,05 cm (T2).

### c) Diámetro de área foliar

Los datos del diámetro del área foliar para los efectos de los diferentes tratamientos presentaron diferencias significativas en la prueba Kruskal-Wallis ( $X^2 = 53,556$  y  $p = 0.001$ ). La Figura 15 muestra los resultados de la prueba Nemenyi donde se pudo comparar las medianas para el diámetro del área foliar de los diferentes tratamientos, donde la solución hidropónica de la UNTRM (28,70 cm) y el biol al 2,5% más la solución concentrada B (29,05 cm) son estadísticamente iguales razón por la cual se encuentran en el mismo grupo (a) y los otros tratamientos son estadísticamente diferentes. El diámetro del área foliar no estuvo influenciado por la posición de las repeticiones (tubos), pues no presentaron diferencias significativas al realizar la prueba de Kruskal-Wallis ( $X^2 = 1,1701$   $p = 0,883$ ), mostrando de esa forma que no existe diferencia entre las repeticiones.



Letras diferentes significan diferencias significativas

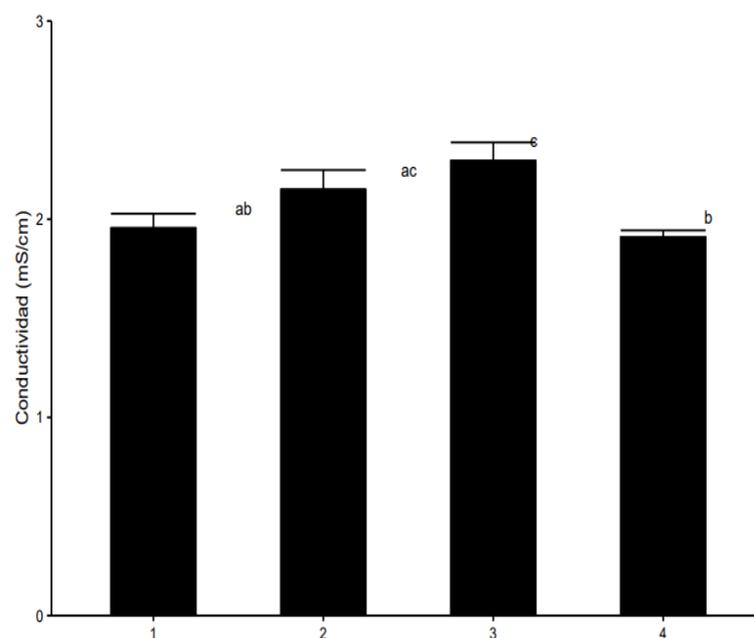
**Figura 15.** Prueba de Nemenyi para la comparación del diámetro del área foliar.

Neri et al. (2016) cosechó plantas de *L. sativa* con diámetros de 26,89 cm con la aplicación de biol, Medina et al. (2022) con diámetros de área foliar entre 18,56 y 27,11 cm, Pomboza et al. (2016) entre 22,91 y 25,90 cm, en este estudio se obtuvo resultados similares con promedios de 19,60 a 29,05 cm de diámetro del área foliar con un ciclo de cultivo de 45 días, gracias a la disponibilidad de nutrientes completa y de fácil absorción en una solución nutritiva (Andreau et al., 2015), secundado por el cultivo protegido (invernadero) que genera un microclima que favorece el crecimiento de los vegetales (Martínez y Garbi, 2015).

### 4.3.3. Parámetros químicos de la solución nutritiva

#### a) Conductividad eléctrica

Los datos registrados de la conductividad eléctrica de los diferentes tratamientos presentaron diferencias significativas en la prueba Kruskal-Wallis ( $X^2 = 30,884$  y  $p = 0.001$ ). La Figura 16 presenta los resultados de la prueba de Nemenyi donde se pudo comparar las medianas para la conductividad eléctrica de los diferentes tratamientos, donde la solución hidropónica de la UNTRM (1,955 mS/cm) y el biol al 1% más la solución concentrada B (2,150 mS/cm) son estadísticamente iguales razón por la cual se encuentran en el mismo grupo (a) y el biol al 2,5% más la solución concentrada B (1,910 mS/cm) es diferente estadísticamente. La conductividad eléctrica se mantuvo estable para los diferentes tratamientos durante los 45 días de evaluación, pues no presentaron diferencias significativas al realizar la prueba de Kruskal-Wallis ( $X^2 = 10,472$  y  $p = 0,789$ ), mostrando de esa forma que no existe diferencia entre los días de medición, sino que se mantuvieron las mismas condiciones.



Letras diferentes significan diferencias significativas

**Figura 16.** Prueba de Nemenyi para la conductividad eléctrica de los tratamientos.

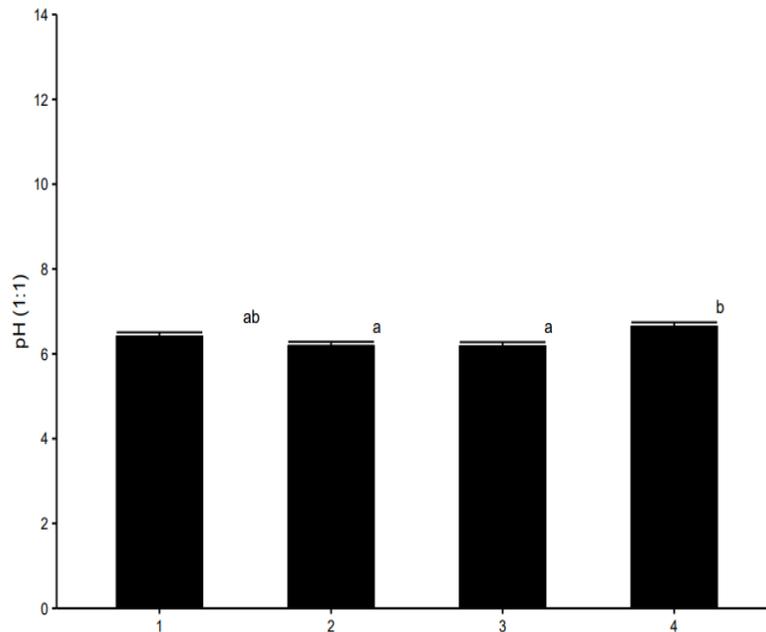
La conductividad eléctrica de la solución nutritiva debe mantenerse en un rango de 1,8 a 2,3 mS/cm (Andreau et al., 2015), mientras que Jeannot et al. (2020) sostiene que en las dos primeras semanas del contacto de las plantas y la solución nutritiva debe estar entre 0,8 y 1,5 mS/cm, y estar por debajo de 1,8 mS/cm durante el resto del periodo de cultivo, si encontrara por encima del rango se debe adicionar agua y de esta manera encontrar un nivel de concentración de sales dentro del rango, ya que este parámetro es una medida indirecta de la concentración de iones (aniones y cationes) y de esa manera conocer la disponibilidad de nutrientes en la solución nutritiva (Smithers Oasis, 2018), en esta investigación se mantuvo la conductividad eléctrica dentro del rango en T1 y T4, mientras que T2 y T3 superaron los niveles de conductividad durante los 45 días que duró cada ciclo de cultivo.

#### **b) pH**

Los datos registrados del pH de los diferentes tratamientos presentaron diferencias significativas al realizar el ANOVA ( $p = 0,005$ ). La Figura 16 presenta los resultados de la prueba de Tukey donde se pudo comparar las medianas para el pH de los diferentes tratamientos, los primeros tres tratamientos son estadísticamente iguales razón por la cual se encuentran en el mismo grupo (a), de la misma manera la solución hidropónica de la UNTRM (6,604) y el biol al 2,5% más la solución concentrada B (6,639) son estadísticamente iguales y pertenecen al mismo grupo (b). El pH se mantuvo estable para los diferentes tratamientos durante los 45 días de evaluación, pues no tuvieron diferencias significativas al realizar la prueba ANOVA ( $p = 0,689$ ), mostrando de esa forma que no existe diferencia entre los días de medición, sino que se mantuvieron las mismas condiciones en cuanto al pH.

De acuerdo con Favela et al. (2006) y Smithers Oasis, (2018) el pH de la solución nutritiva debe estar entre 5,5 y 6,5, Jeannot et al. (2020) coloca el intervalo entre 5,8 y 6,5 y Zárate (2015) restringe un poco más este intervalo con valores de 6,0 a 7,5 y especifica que para el cultivo de *Lactuca Sativa* debe estar entre 6,0 a 7,0. Carbone (2015) menciona que el pH tiene una influencia directa en la absorción de los nutrientes en sus diferentes formas iónicas, valores de  $\text{pH} \geq 7,5$  disminuyen la absorción de nitrógeno (nitrato), mientras que un  $\text{pH} \leq 4$  disminuye la absorción de potasio, Zárate (2015) refiere que el manejo de este parámetro es de suma importancia para conocer la disponibilidad de los nutrientes presentes en la solución nutritiva, al tener valores menores a 5 el nitrógeno, potasio, calcio y magnesio están poco disponibles y con valores superiores a 6,5 el hierro, fósforo, manganeso, boro, zinc y cobre se encuentran poco disponibles. El pH de la solución nutritiva durante esta

investigación se mantuvo de 6,176 a 6,639 haciendo que los nutrientes estuvieran disponibles durante los 45 días que duró el ciclo de cultivo.



Letras diferentes significan diferencias significativas

**Figura 17.** Prueba de Tukey para el pH de los tratamientos.

#### 4.4 Ciclo de vida del sistema de producción hidropónica de *L. sativa*

##### 4.4.1. Objetivos y alcance

###### a) Objetivo

El presente estudio tiene como objetivo realizar el análisis de ciclo de vida para la producción de 100 unidades de *L. sativa* en un sistema hidropónico tipo NFT con uso de biol, analizando los componentes dentro del sistema, los insumos a utilizar, los materiales y con ello los posibles impactos ambientales de los procesos dentro del sistema. La información producida en este estudio estará a disposición de productores, investigadores, entidades científicas y públicas que estén interesadas en la evaluación de los impactos ambientales producidos por el cultivo de *L. sativa* en sistema hidropónico.

###### b) Alcance

El estudio enmarca desde la compra de los materiales hasta la cosecha, se trabajó como unidad funcional 100 planta de *L. sativa* producida en el sistema hidropónico NFT con el uso de biol como alternativa a las soluciones hidropónicas de formulación química que se vende en el mercado local y nacional. De manera ideal se tendrían que considerar todos los procesos en la producción de *L. sativa* hidropónica, sin embargo, existen algunas limitantes como la accesibilidad a la data o intervención en algunos procesos.

#### 4.4.2. Inventario de ciclo de vida

El recuento de entradas y salidas que se consideraron y se calcularon en la etapa de instalación del sistema hidropónico, se presentan a continuación:

**Tabla 20.** Entradas y salidas en la etapa de instalación del sistema hidropónico.

Ítem	Entradas	Cantidad	Unidad
1	Madera de pino	155,73	kg
2	Material metálico	51,00	kg
3	Material de PVC	98,01	kg
4	Agua	80,00	L
5	Arena	160,00	kg
6	Piedra chancada	30,00	kg
7	Cemento	42,50	kg
8	Diesel	60,00	gal
9	Superficie utilizada	15,00	m <sup>2</sup>
10	Energía eléctrica	70,00	kWh
11	Material de cobre	2,60	kg
<b>Salidas</b>			
1	Dióxido de carbono	629,02	CO <sub>2</sub> eq
2	Residuos PVC	6,00	kg

- Madera de pino, utilizado en toda la estructura del invernadero (postes, tijerales y cintas).
- Material metálico, donde se consideraron los materiales de acero (varilla cuadrada, clavos, tornillos, etc.).
- Materiales de PVC, se consideraron todos los materiales de PVC (policloruro de vinilo) usados (tubos, accesorios, llaves, cajas, etc.).
- Agua, fue usada en la mezcla del concreto para afirmar los postes del invernadero.
- Arena, fue usada en la mezcla del concreto para afirmar los postes del invernadero.
- Piedra chancada, fue usada en la mezcla del concreto para afirmar los postes del invernadero, al no contar en la zona con hormigón.

- Cemento, fue usada en la mezcla del concreto para afirmar los postes del invernadero.
- Diesel, usada para el transporte de los materiales y personal durante el trabajo
- Superficie utilizada, área en el cual fue instalado el sistema.
- Energía eléctrica, usada por diferentes herramientas eléctricas (taladro, amoladora, etc.).
- Material de cobre, usada para las instalaciones eléctricas.
- Dióxido de carbono, calculado del consumo de energía y combustible
- Residuos PVC, residuos de todos los materiales de PVC usados

Los datos presentados en la Tabla 21 muestran el recuento de entradas y salidas que se consideraron y se calcularon en la etapa de puesta en funcionamiento del sistema hidropónico:

**Tabla 21.** Entradas y salidas en la etapa de puesta en funcionamiento del sistema hidropónico.

Ítem	Entradas	Cantidad	Unidad
1	Agua	950,00	L
2	soluciones hidropónicas	5,00	L
3	Energía eléctrica	5,40	kWh
4	Biol	23,75	L
Salidas			
1	Dióxido de carbono	3,56	CO <sub>2</sub> eq
2	Aguas residuales	30,00	L

- Agua, usado en la preparación de las soluciones nutritivas.
- Soluciones hidropónicas, usada en la preparación de las soluciones nutritivas.
- Energía eléctrica, usada para la recirculación de las soluciones nutritivas
- Biol, usada para la formulación de las diferentes soluciones nutritivas
- Dióxido de carbono, calculado del consumo de energía eléctrica.
- Aguas residuales, aguas que contienen solución nutritiva después de un ciclo de cultivo.

#### 4.4.3. Evaluación de impactos

El resumen de la evaluación de impactos ambientales producidos por las dos etapas se muestra en la Tabla 21, primero la instalación del sistema hidropónico NFT con sus

diferentes componentes (invernadero, sistema NFT, etc.) y seguidamente la puesta en funcionamiento del sistema hidropónico NFT para la producción de *L. Sativa* durante 45 días que dura el ciclo del cultivo, impactos ambientales que afectan a la salud humana (material particulado, formación de O<sub>3</sub>, radiación ionizante, agotamiento del O<sub>3</sub> estratosférico, toxicidad cancerígena humana, toxicidad no cancerígena, calentamiento global y consumo de agua), ecosistemas ambientales (calentamiento global, consumo de agua, ecotoxicidad de agua dulce, eutrofización de agua dulce, formación de O<sub>3</sub> en sistemas terrestres, ecotoxicidad terrestre, acidificación terrestre, uso del suelo, ecotoxicidad marina y eutrofización marina) y disponibilidad de recursos (escasez de recursos naturales y escasez de recursos fósiles).

**Tabla 22.** Resumen de la evaluación de impactos ambientales.

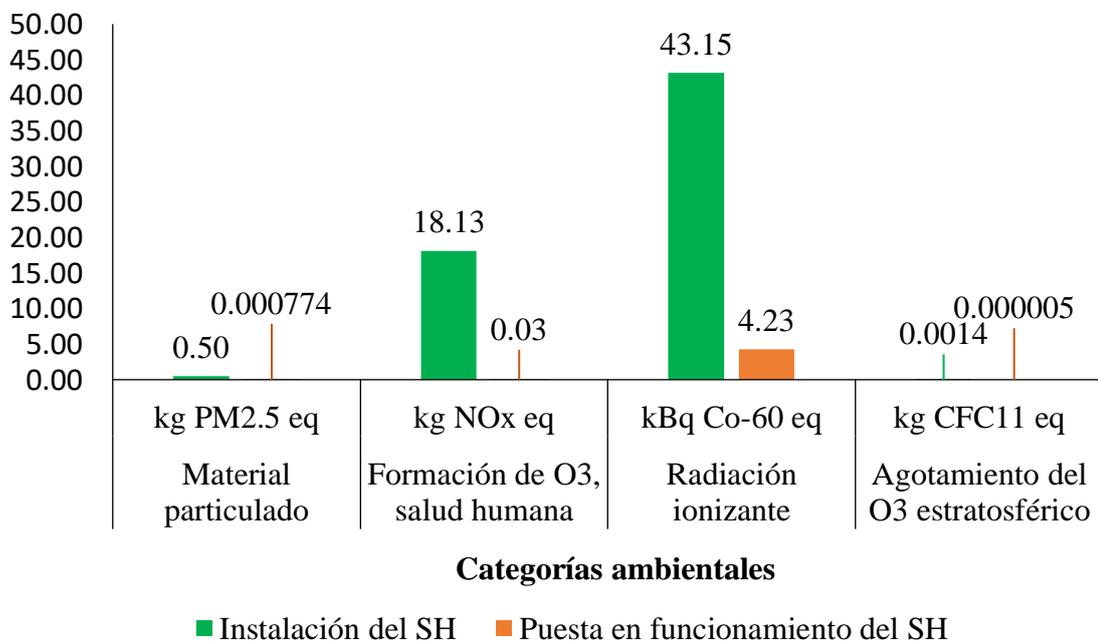
<b>Categoría de impacto</b>	<b>Unidad de medida</b>	<b>Instalación del SH</b>	<b>Puesta en funcionamiento del SH</b>
Material particulado	kg PM2.5 eq	0.50	0.000774
Formación de O <sub>3</sub> , salud humana	kg NOx eq	18.13	0.03
Radiación ionizante	kBq Co-60 eq	43.15	4.23
Agotamiento del O <sub>3</sub> estratosférico	kg CFC11 eq	0.0014	0.000005
Toxicidad cancerígena humana	kg 1,4-DCB	4.55	0.01
Toxicidad no-cancerígena humana	kg 1,4-DCB	114.46	0.25
Calentamiento global	kg CO2 eq	150.76	28.27
Consumo de agua	m <sup>3</sup>	18.18	0.03
Ecotoxicidad en agua dulce	kg 1,4-DCB	0.66	0.02
Eutrofización de agua dulce	kg P eq	0.05	0.00
Formación de O <sub>3</sub> , ecosistemas terrestres	kg NOx eq	18.23	0.03
Ecotoxicidad terrestre	kg 1,4-DCB	328.42	6.33
Acidificación terrestre	kg SO2 eq	54.41	0.10
Uso del suelo	m <sup>2</sup> a crop eq	74.66	0.00
Ecotoxicidad marina	kg 1,4-DCB	1.60	0.01
Eutrofización marina	kg N eq	0.26	0.001
Escasez de recursos minerales	kg Cu eq	1.27	0.002
Escasez de recursos fósiles	kg oil eq	344.60	6.63

Existe gran diferencia entre los impactos generados por la instalación del sistema hidropónico y los producidos por la puesta en funcionamiento del sistema hidropónico, sin embargo, para la instalación se consideran todas las entradas y salidas que serán únicas

durante todo el tiempo de vida del sistema sin considerar los materiales que se puedan usar en el mantenimiento preventivo o correctivo del sistema, por su parte en la puesta en funcionamiento se consideran las entradas y salidas para un ciclo de cultivo.

#### 4.4.1. Interpretación

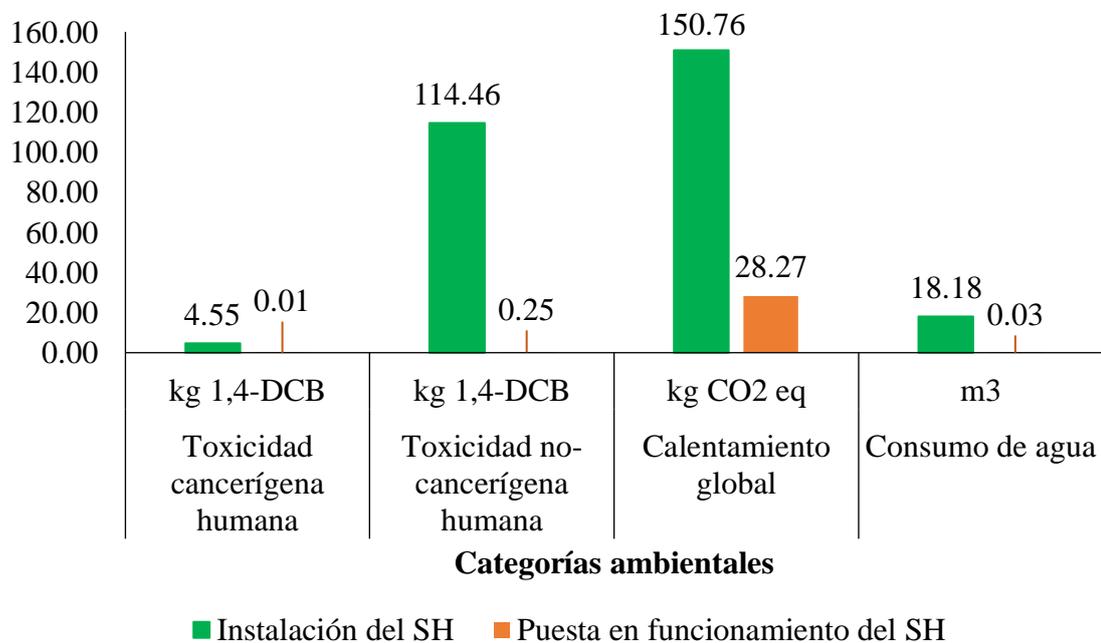
Los primeros impactos ambientales que dañan la salud humana aumentando los problemas respiratorios se muestran en la Figura 18, la producción de material particulado con un total de 0,500774 Kg PM 2,5 eq, considerados como partículas finas son respirables al 100% (Leal, 2019) y pueden causar irritación en las vías respiratorias afectando principalmente a los niños y adultos mayores o personas que sufren problemas cardíacos o pulmonares (Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos -EPA, 2023) y formación de O<sub>3</sub> con 18,16 kg NO<sub>x</sub> eq. También los que contribuyen al aumento de casos de cáncer, la radiación ionizante con 47,38 kBq Co-60 eq y el agotamiento de O<sub>3</sub> estratosférico (capa de ozono) con 0,001405 kg CFC11 eq, la unidad de medida es a causa de la destrucción de la capa de ozono por los clorofluorocarbonados (CFC) al liberar los átomos de cloro que catalizan y destruyen hasta 100 000 moléculas de O<sub>3</sub> (EPA, 2001), permitiendo así el paso de la radiación ultravioleta B cancerígena que puede llegar a desarrollar el cáncer a la piel (Sánchez, 2006).



**Figura 18.** Impactos ambientales que afectan la salud del ser humano.

Otros impactos ambientales que dañan la salud humana que aumentan los casos de cáncer se muestran en la Figura 19, toxicidad cancerígena humana con 4,56 kg 1,4-DCB, el diclorobenceno (DCB) puede producir cáncer en el ser humano pues ha sido

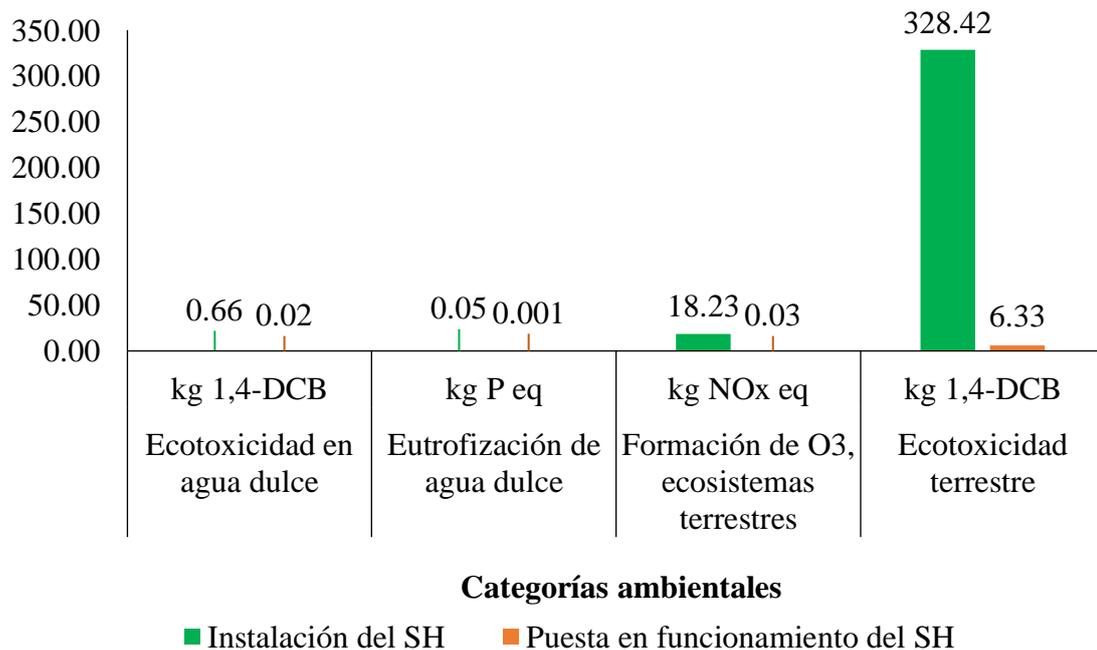
demostrado que causa cáncer al hígado y riñón de animales (Departamento de salud y servicios para personas mayores en New Jersey, 1998). Los que aumentan la mala nutrición, el calentamiento global 179,03 kg CO<sub>2</sub> eq, el Instituto de nutrición de Centro América y Panamá – ICAP (2017) sostiene que el aumento de 4 °C en la temperatura impactará directamente en la reducción de cosechas, disponibilidad de alimentos y subida de los precios, los cultivos que se verán más afectados serán el trigo, maíz, frijol y arroz, así mismo, la biodisponibilidad de las vitaminas y minerales, todo esto antes del año 2100 y el consumo de agua con 18,21 m<sup>3</sup> que afecta directamente a la agricultura y de esta manera a los alimentos al producir cada vez más por la gran demanda que existe gracias al crecimiento de la población (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO, 2013).



**Figura 19.** Impactos ambientales que afectan la salud humana y dañan los ecosistemas.

Los impactos que producen otras enfermedades en los seres humanos agrupan a la radiación ionizante con 47,38 kBq Co-60 eq, aquellas radiaciones que presentan energía suficiente para dañar a las células vivas a nivel atómico, llegando a dañar hasta el material genético (EPA, 2023), es considerado material radioactivo sustancias que superan los 70 kBq/kg (Garcés y Rangel, 2018), por lo expuesto anteriormente la radiación generada en esta investigación no es significativa, y el agotamiento de O<sub>3</sub> estratosférico (capa de ozono) con 0,001405 kg CFC11 eq, toxicidad no cancerígena humana con 114,21 kg 1,4-DCB, calentamiento global 179,03 kg CO<sub>2</sub> eq y consumo de agua con 18,21 m<sup>3</sup>.

Los impactos ambientales que dañan los ecosistemas, causando daños a las especies de agua dulce son el calentamiento global 179,03 kg CO<sub>2</sub> eq, el cambio climático tiene efectos directos en los ecosistemas de agua dulce al generarse variaciones en las precipitaciones, inundaciones y sequías, produciendo cambios en las características del agua dulce a su vez cambios en los ciclos reproductivos, crecimiento, enfermedades, etc. a las especies que allí habitan (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – UNESCO, 2017) y el consumo de agua con 18,21 m<sup>3</sup> mostrados en la Figura 19. Las categorías, ecotoxicidad en agua dulce con 0,68 kg 1,4-DCB, y la eutrofización de agua dulce con 0,051 kg P eq (Figura 20), el crecimiento incontrolado de las algas en los ecosistemas acuáticos a causa de la acumulación de nutrientes principalmente fósforo y nitrógeno (eutrofización) agotan el oxígeno disponible en el agua, el cual es necesario para el desarrollo de muchas especies presentes en estos ecosistemas y la disminución del paso de luz hace que los organismos fotótrofos mueran (García, 2016), por ello es importante el tratamiento de las aguas residuales provenientes del sistema hidropónico en el riego de cultivos o áreas verdes.

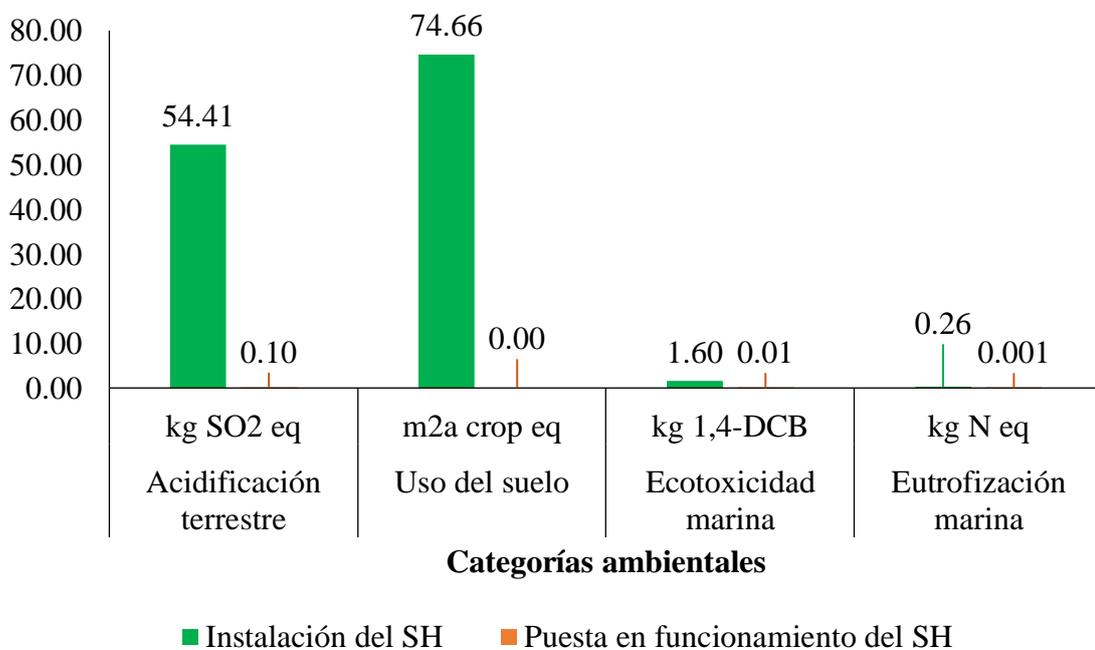


**Figura 20.** Impactos ambientales que dañan los ecosistemas.

Otros impactos ambientales que afectan a los ecosistemas causando daños a las especies terrestres (Figura 20) son la formación de O<sub>3</sub>, sistemas terrestres con 18,26 kg NOx eq, el ozono en la tropósfera es capaz de degradar a la mayoría de materiales y a los organismos vivos dentro de su rango de acción mediante la respiración, principalmente afecta a los vegetales ingresando por los estomas en el intercambio gaseoso y sus daños se pueden llegar hasta el grado de afectar la capacidad de germinar, cantidad de frutos e incluso el número

de semillas (Mantilla et al., 2010), la ecotoxicidad terrestre con 334,75 kg 1,4-DCB, en conjunto con la acidificación terrestre con 54,51 kg SO<sub>2</sub> eq, la acidificación del espacio terrestre (suelo) suele producirse de manera natural o por la intervención del hombre que gracias a las actividades productivas y extractivas modifican el pH del suelo (<5) generando así problemas en el desarrollo de las plantas y otros organismos presentes (Iturri, 2015), uso de suelo con 76,76 m<sup>2</sup>a crop eq mostrados en la Figura 21, el calentamiento global 179,03 kg CO<sub>2</sub> eq y consumo de agua con 18,21 m<sup>3</sup> mostrados en la Figura 19, el desarrollo de esta investigación contribuyó en cada una de estas categorías que afectan a los ecosistemas terrestres.

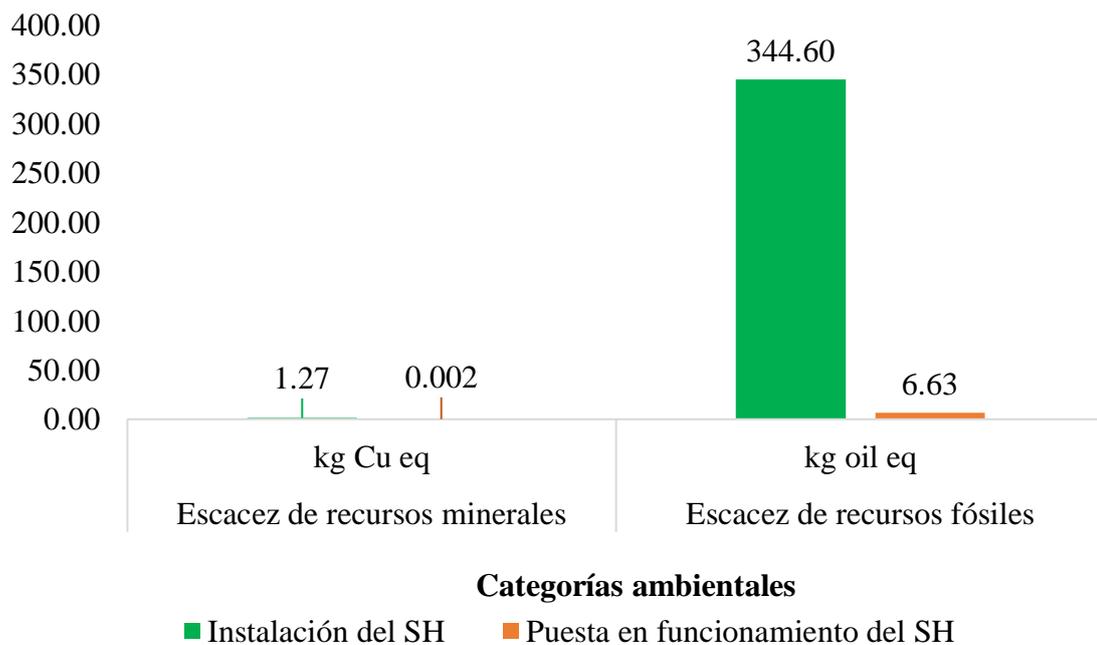
También están los impactos ambientales que afectan a los ecosistemas causando daño a las especies marinas como la ecotoxicidad marina con 1,61 kg 1,4-DCB y la eutrofización marina con 0,261 kg N eq mostrados en la Figura 21, las actividades humanas que se desarrollan en las zonas costeras y sus alrededores generan residuos o efluentes que van directamente a los ecosistemas marinos como los compuestos nitrogenados que ocasionan la eutrofización de estos espacios originando así el deterioro y cambios en el medio marino en cortos periodos de tiempo (Sánchez et al., 2010), esta investigación se desarrolló a una gran distancia de la zona costera del Perú, sin embargo, el análisis de ciclo de vida considera estas categorías por ser parte de los impactos generados por la producción de alguno de los materiales e insumos utilizados.



**Figura 21.** Impactos ambientales que dañan los ecosistemas.

Los impactos ambientales que afectan la disponibilidad de recursos (Figura 22) por el aumento de los costos de extracción con la escasez de recursos minerales con 1,272

Kg Cu eq, la propia naturaleza no renovable de los recursos extraídos por la minería genera que estos sean cada vez más escasos y los compromisos medioambientales que se asumen también son más rigurosos aumentando así los costos para la extracción (Kuramoto y Glave, 2007) y por los costos energéticos de gas/carbón/petróleo con la escasez de recursos fósiles con 351,23 kg oil eq, los principales recursos fósiles son los hidrocarburos y de este grupo el petróleo usado como combustible y base para el desarrollo de otros combustibles y productos derivados, en los últimos años las reservas comenzaron a agotarse generando la escasez de este recurso, con ello también el alza en sus costos de producción y venta, produciendo así una sensación de inseguridad energética en el mundo (Estenssoro, 2011), el diésel un derivado del petróleo fue el insumo que más aportó en las diferentes categorías al ser usado para el transporte de los materiales e insumos desde la ciudad de Chachapoyas hasta el caserío Ramos en la provincia de Rodríguez de Mendoza donde se instaló el módulo de producción hidropónica.



**Figura 22.** Impactos ambientales que afectan la disponibilidad de recursos.

## V. CONCLUSIONES

1. El biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás, presenta características fisicoquímicas y microbiológicas que la hacen apta para el uso en cultivos hidropónicos.
2. El biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás está compuesto por macronutrientes (nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio y azufre) y micronutrientes (hierro, manganeso, molibdeno, cobre, zinc y boro).
3. La mayor productividad de *L. sativa* por efecto de la aplicación de diferentes formulaciones de una solución hidropónica con biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás se obtuvo con la formulación de 2,5% de biol más la solución concentrada B de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
4. Los mayores impactos ambientales se generan en la instalación del sistema de producción hidropónica de *L. sativa*, principalmente en la escasez de recursos fósiles, ecotoxicidad terrestre y calentamiento global, por su parte en el funcionamiento del sistema presenta impactos relativamente pequeños.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Realizar investigaciones futuras en el uso de biol procedente del tratamiento de aguas mieles de café mediante la producción de biogás, en cultivos agrícolas como piña, café o caña de azúcar desarrollados en el área de influencia de los proyectos de sistemas de tratamiento de aguas residuales de café.
2. Realizar investigaciones futuras con bioles procedentes del tratamiento de aguas mieles de otros cultivos como el cacao.
3. Considerar en futuras investigaciones el análisis nutricional de la especie producida en sistema hidropónico para conocer el aporte de nutrientes en su consumo.
4. Promover la inclusión del análisis de ciclo de vida en los proyectos de investigación, productivos, desarrollados con un enfoque participativo de todas las partes involucradas.
5. Considerar el tiempo de vida de las infraestructuras y los ciclos de producción con los que se lograría aproximar los impactos ambientales generados.
6. Realizar capacitaciones técnicas en operación, mantenimiento, manejo de residuos sólidos, etc. a los usuarios de los sistemas instalados en las investigaciones si estas se realizan a nivel campo con las instalaciones de sistemas o módulos.
7. Dar a conocer el presente estudio a las autoridades competentes del departamento de Amazonas para generar proyectos que engloben el tratamiento de aguas residuales y otros desechos y así desarrollar una economía circular.
8. Promover juntamente con la Municipalidad Provincial de Rodríguez de Mendoza proyectos alternativos con el uso de biol para diferentes cultivos, uniendo a los distritos ganaderos donde puedan instalarse sistemas de producción de biogás.

## VII. REFERENCIAS

- Acosta, R. (2019). Características físicas, químicas, microbiológicas y efectividad agronómica del abono líquido biol obtenido por digestión anaerobia de estiércol de animales con rastrojo. [Tesis de maestría, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo]. Repositorio Digital. <https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/6031/BC-TES-TMP-3309%20ACOSTA%20VIDAURRE.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos -EPA (2001). La disminución de la capa de ozono. <https://www.epa.gov/sites/default/files/documents/ozono.pdf>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos -EPA. (2023). Efectos del material particulado (PM) sobre la salud y el medioambiente. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-del-material-particulado-pm-sobre-la-salud-y-elmedioambiente#:~:text=Efectos%20sobre%20la%20salud&text=s%C3%ADntomas%20respiratorios%20aumentados%2C%20como%20irritaci%C3%B3n,pulmonares%2C%20ni%C3%B1os%20y%20adultos%20mayores.>
- Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos -EPA. (2023). Efectos de la radiación sobre la salud. <https://espanol.epa.gov/espanol/efectos-de-la-radiacion-sobre-la-salud>
- Aguilera, Y. Consuegra, R. y Rapado, M. (1997). *International Symposium on Radiation Technology for Conservation of the Environment: Treatment of coffee wastewater by gamma radiation*. International Atomic Energy Agency. <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/575290>
- Aguilera, Y. Consuegra, R. y Rapado, M. (1997). *International Symposium on Radiation Technology for Conservation of the Environment: Treatment of coffee wastewater by gamma radiation*. International Atomic Energy Agency. <https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/575290>
- Alfaro, M. Salazar, F. y Meyer, L. (2015). Buenas prácticas para reducir la carga de patógenos en purines. Salazar, F y Alfaro, M. (Ed.), *Tratamientos para reducir la carga de patógenos en purines* (pp. 27-42). <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/6454/NR40317.pdf?sequence=8&isAllowed=y>

- Andreau, R. Giménez, D. y Beltrano, J. (2015). Soluciones nutritivas II. Beltrano, J. y Giménez, D. (Ed.), *Cultivo en hidroponía* (pp. 91-109)
- Aparcana, S. y Jansen, A. (2008) *Estudio sobre el valor fertilizante de los productos del proceso “fermentación anaeróbica” para producción de biogás*. German Profec – Perú SAC. [http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas\\_ntz.pdf](http://www.german-profec.com/cms/upload/Reports/Estudio%20sobre%20el%20Valor%20Fertilizante%20de%20los%20Productos%20del%20Proceso%20Fermentacion%20Anaerobica%20para%20Produccion%20de%20Biogas_ntz.pdf)
- Arcila, J. Farfán, F. Moreno, A. Salazar, F. e Hincapié, E. (2007). *Sistemas de producción de café en Colombia*. [http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/12/Sistemas-produccion-C3%B3n-caf%C3%A9-Colombia\\_.pdf](http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2017/12/Sistemas-produccion-C3%B3n-caf%C3%A9-Colombia_.pdf)
- Arhoun, B. (2017). Digestión y codigestión anaerobia de residuos agrícolas, ganaderos y lodos de depuradora. [Tesis doctoral Recursos Hídricos y Medio Ambiente, Universidad de Málaga]. <https://core.ac.uk/download/pdf/214842277.pdf>
- Asociación de Exportadores (ADEX). (2009). Ficha de requisitos técnicos de acceso al mercado de Estados Unidos – Requisitos no arancelarios. <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/Lechuga%20fresca.pdf>
- Bailón, H. Castillo, I. Pablo, M. Topiño, Y. Velásquez, M. y La Rosa, R. (2007). Respuesta fisiológica de *Raphanus sativus* L. frente a tres concentraciones de Mg<sup>2+</sup>. *Biologist*. 5(1). 11-18 [https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologist/v05\\_n1/pdf/a03v5n1.pdf](https://sisbib.unmsm.edu.pe/bvrevistas/biologist/v05_n1/pdf/a03v5n1.pdf)
- Barrena, M. A. Cubas, F. Gosgot, W. Ordinola, M. C. y Rascón, J. (2019). Sistema de producción de biogás y bioabonos a partir del estiércol de bovino, Molinopampa, Chachapoyas, Amazonas, Perú. *Revista Arnaldoa*, 26 (2), 725-734. <http://www.scielo.org.pe/pdf/arnal/v26n2/a14v26n2.pdf>
- Beltrano, J. y Giménez. (2015). *Cultivo en hidroponía*. [http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento\\_completo.pdf?sequence=1](http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46752/Documento_completo.pdf?sequence=1)
- Bernal, J. y Orozco, J. (2019). Comparación del estiércol bufalino y bovino como potenciales inóculos en el proceso de digestión anaerobia. [Trabajo de título profesional, Universidad Pontificia Bolivariana]. Repositorio Digital <https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/8441/39175.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Burbano, C. (2019). *Análisis de la contaminación ambiental ocasionada por las aguas mieles, producto del beneficio húmedo del café, para la implementación de la NTC ISO 14001:2015. Quality, Health, Safety & Environment.* <https://repository.unad.edu.co/jspui/bitstream/10596/26747/1/dapancheb.pdf>
- Cabos, J. Bardales, C. B. León, C. A. y Gil, L. A. (2019). Evaluación de las concentraciones de Nitrógeno, Fósforo y Potasio del biol y biosol obtenidos a partir de estiércol de ganado vacuno en un biodigestor de geomembrana de policloruro de vinilo. *Arnaldoa*. 26(3). 1165-1176. <https://dx.doi.org/10.22497/arnaldoa.263.26321>
- Campos, A. E. (2001). Optimización De La Digestión Anaerobia De Purines De Cerdo Mediante Codigestión Con Residuos Orgánicos De La Industria Agroalimentaria. [Tesis Doctoral, Universidad de Lleida]. Repositorio Digital <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8229/Tecp1de1.pdf;jsessionid=97E50042BA7D57C107F312584FAD3A07?sequence=1>
- Carbone, A. (2015). Nutrición mineral. Beltrano, J. y Giménez, D. (Ed.), *Cultivo en hidroponía* (pp. 62-72)
- Carrasco, G. e Izquierdo, J. (1996). *La empresa hidropónica de mediana escala: la técnica de la solución nutritiva recirculante (NFT) – Manual técnico.* <https://rubielmontoya.files.wordpress.com/2012/10/hidroponia-fao-2.pdf>
- Carrasco, G. Rebolledo, P. Tapia, L. Figueroa, J. e Izquierdo, J. (1998). *Memorias, Semanario nacional sobre hidroponía.* <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/34636/NR27123.pdf?sequence=4&isAllowed=y>
- Castro, R. Solís, M. M. Chicatto, V y Solís, A. (2020). Producción de biogás mediante codigestión de estiércol bovino y residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista internacional de contaminación ambiental*. 36(3). 529-539. <https://doi.org/10.20937/RICA.53545>
- Ccahuana, R. (2019). soluciones nutritivas y biol en producción de fresa (*Fragaria ananassa* Duch) mediante sistema hidropónico recirculante NFT en K'ayra – Cusco. [Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional. [http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4969/253T20190752\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4969/253T20190752_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y).

- De La Rosa, J. (2012). *Análisis físico y químico de fertilizante orgánico (biol) producido por biodigestores a partir de estiércol de ganado*, [Memoria de residencia profesional Ingeniería en Agronomía, Instituto Tecnológico Del Altiplano De Tlaxcala]. <https://xdoc.mx/documents/analisis-fisico-y-quimico-de-fertilizante-organico-biol-5deab77bcb45c>
- Departamento de salud y servicios para personas mayores en New Jersey. (1998). Hoja informativa sobre sustancias peligrosas. <https://www.nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/0643sp.pdf>
- Esteban, M. (2014). Codigestión anaerobia de lodo de EDAR con residuos orgánicos de diferente naturaleza: combinación de técnicas experimentales y herramientas matemáticas. [Tesis doctoral, Universidad de Navarra]. <https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/35814/1/Myriam%20Esteban.pdf>
- Estenssoro, F. (2011). Crisis ambiental y desarrollo energético: un problema político. En Cubillos, A y Estenssoro, F (Ed), *Energía y medio ambiente una ecuación difícil para América latina: los desafíos del crecimiento y desarrollo en el contexto del cambio climático*. (pp. 9-21). <https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/engov/20130827052932/engMAalCubillosEstenssoro.pdf>
- Favela, E. Preciado, P. y Benavides, A. (2006). Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Feijoo, G. y Moreira, M. T. (2020). Análisis de ciclo de vida y huella de carbono-casos prácticos. Universidad de Santiago de Compostela. DOI:10.13140/RG.2.2.11030.50240/1.
- Fernández, Y. Sotto, K. y Vargas, L. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generado. *Revista Producción Limpia*. 15 (1), 93-110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>
- Fluker, R. Meléndez, J. Leiva, D. Chávez J. y Rascón, J. (2018). Impacto f the discharge of honey waters on the El Motostream in the El Mito farmhouse, San Nicolás district (Rodríguez de Mendoza -Amazonas). *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, 2(1), 57-64. <http://dx.doi.org/10.25127/aps.20181.385>.

- Garay, J. y Rivero, J. (2014). Biosistema para purificar aguas residuales del beneficio húmedo de café, distrito La Coipa, departamento de Cajamarca, 2014. *Revista de Investigación Científica Manglar*. 11(1). 43-50. <http://dx.doi.org/10.17268/manglar.2014.006>
- Garcés, N. y Rangel, C. Y. (2018). Evaluación de impacto ambiental de la explotación de Asfaltita, en la mina Juan Pablo II, de La Esperanza N.S. mediante el análisis de ciclo de vida. [Trabajo de Maestría, Universidad Santo Tomás]. Repositorio digital. <https://1library.co/document/dy42m6rq-universidad-facultad-ingenieria-industrial-maestria-gestion-integral-floridablanca.html>
- García, M. (2016). Eutrofización: una visión general. *Revista científica, tecnológica y humanística* *CienciaAcierta*. 12(47). <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/09/26/eutrofizacion-una-vision-general/>
- Gil, L. Leiva, F. Cabos, J. Jara, E. Bardales, C. y León, C. (2022). Influencia de las concentraciones del “biol” en el crecimiento y desarrollo de *Medicago sativa* (Fabaceae) “alfalfa”. *Arnaldoa*. 29(1), 149-162. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.291.29109>
- Gilsanz, J. (2007). *Hidroponía*. Instituto Nacional De Investigación Agropecuaria.
- Giró, A. (2008). *Evaluación del rendimiento de lechuga (Lactuca sativa L.) cultivada en un sistema acuapónico, realizado en la Empresa Agrícola Santa Agustina Xolhuitz, Nuevo San Carlos, Retalhuleu* [Trabajo de graduación, Centro de Estudios del Mar y Acuicultura, Universidad De San Carlos De Guatemala] [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/24/24\\_0155.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/24/24_0155.pdf).
- Granados, C. (agosto, 2004). El impacto ambiental del café en la historia costarricense. *Diálogos Revista Electrónica* 4(2). <https://doi.org/10.15517/dre.v4i2.6280>
- Guerrero, J. (2007). *Estudio de Diagnóstico y Diseño de Beneficios Húmedos de Café*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2007). <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/18888/CDNI21107987e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guerrero, J. (2007). *Estudio de Diagnóstico y Diseño de Beneficios Húmedos de Café*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (2007). <https://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/18888/CDNI21107987e.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Guevara, R. L. y Alarcón, A. J. (2019). Caracterización macronutricional y comparación de biol producido con estiércol de ganado vacuno y de gallina. [Trabajo de Investigación de título profesional, Universidad Nacional de Jaén]. Repositorio Digital [http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/128/1/Guevara\\_LRL\\_Alarc%c3%b3n\\_BA\\_J.pdf](http://repositorio.unj.edu.pe/bitstream/UNJ/128/1/Guevara_LRL_Alarc%c3%b3n_BA_J.pdf)
- Hach. (2019). La monitorización del digestor anaerobio ayuda a evitar contratiempos en el proceso y a maximizar la producción de biogás - Caso práctico: Medina County Sanitary Engineers: Planta de tratamiento de aguas. [https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/87050/EZ\\_VFA\\_Biogas.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/87050/EZ_VFA_Biogas.pdf)
- Haya, E. (2016). *Análisis de ciclo de vida*. Escuela de Organización Industrial
- Haya, E. (2016). *Análisis de ciclo de vida*. Escuela de Organización Industrial
- Hernández, R. Fernández, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ª. ed.). McGraw-Hill.
- Ibáñez, W. Arcos, J. Ortiz, L. y Ortega, B. (2021). Diseño de una planta de tratamiento de aguas miel de Kilamupi café. *Revista Polo del Conocimiento*. 6(3), 1039-1061. DOI: 10.23857/pc.v6i3.2420.
- IDEAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía). (2007). Biomasa: Digestores anaerobios. [https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones\\_idae/documentos\\_10737\\_biomasa\\_digestores\\_anaerobios\\_a2007\\_0d62926d.pdf](https://www.idae.es/sites/default/files/documentos/publicaciones_idae/documentos_10737_biomasa_digestores_anaerobios_a2007_0d62926d.pdf)
- Iglesias, L. (1994). *El estiércol y las prácticas agrarias respetuosas con el medio ambiente*. [https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd\\_1994\\_01.pdf](https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1994_01.pdf)
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA)*. (2017). *Boletín INIA* (374). [http://bosques.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/29500/INIA\\_Libro\\_0051.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bosques.ciren.cl/bitstream/handle/123456789/29500/INIA_Libro_0051.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Instituto de nutrición de Centro América y Panamá – ICAP (2017). Cambio climático y nutrición, Análisis y propuestas metodológicas para evaluar el impacto y respuesta en Centroamérica y República Dominicana. <https://bvssan.incap.int/local/M/ME-170.pdf>
- Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (IANCAP). (2006). Hidroponía: Sistema de cultivo NFT. [https://www.sica.int/busqueda/busqueda\\_archivo.aspx?Archivo=medu\\_94764\\_2\\_02062015.pdf](https://www.sica.int/busqueda/busqueda_archivo.aspx?Archivo=medu_94764_2_02062015.pdf)

- Instituto Nacional De Investigación Agraria. (marzo, 2008). Tecnologías apropiadas para la conservación in situ de los cultivos nativos: producción y uso del biol (2).* [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/115/1/Uso\\_Biol\\_Lima\\_2008.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/20.500.12955/115/1/Uso_Biol_Lima_2008.pdf)
- Iturri, L.A. (2015). Evidencias de acidificación de suelos loésicos agrícolas de argentina. [Tesis doctoral, Universidad Nacional del Sur]. Repositorio digital. [https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2338/Tesis%20de%20doctor%20en%20agronom%C3%ADa\\_ITURRI.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/2338/Tesis%20de%20doctor%20en%20agronom%C3%ADa_ITURRI.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jaramillo, J. Andrea, P. Espitia, E. Tamayo, P. Argüello, O. y Guzmán, M. (2014). *Modelo Tecnológico para el cultivo de lechuga en el oriente Antioqueño.* [https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13758/75472\\_65800.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repository.agrosavia.co/bitstream/handle/20.500.12324/13758/75472_65800.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Jaulis, J. Juscamaita, J. Villanueva, E. Gutiérrez, J. y Dilas, J. (2022). Limpieza del agua miel proveniente del beneficiado húmedo del café mediante polímeros naturales orgánicos. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica Alpha Centauri.* 3(3). 2-10. <https://doi.org/10.47422/ac.v3i3.84>
- Jeannot, I. Ríos, J.P. y Santiesteban, P. (2020). Cultivos hidropónicos, estudio técnico y económico a nivel de prefactibilidad. Universidad Tecnológica Nacional. <https://ria.utn.edu.ar/bitstream/handle/20.500.12272/5849/Proyecto%20lechuga%20hidroponica.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Kuramoto, J. y Glave, M. (2007). La minería peruana: lo que sabemos y lo que nos falta por saber. En Grupo de Análisis para el Desarrollo – GRADE (Ed.), *Investigación, políticas y desarrollo en el Perú* (pp. 135-181).
- Leal, J. (2019). Efectos de la contaminación atmosférica percibidos de manera inconsciente por la ciudadanía, en el área metropolitana de la ciudad de Monterrey, Nuevo León, México. *Revista Salud Pública.* 21(4). 423-429. DOI: <https://doi.org/10.15446/rsap.V21n4.74959>
- Leiva, B. F. (2018). Elaboración de biofertilizante a partir de estiércol de ganado vacuno y efluente del proceso de fermentación cervecera mediante fermentación homoláctica. [Tesis de título profesional, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Repositorio Digital. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3740/leiva-trujillo-brigitte-fabiola.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Limachi, J. P. (2018). Evaluación de tres dosis de biol aplicada a la producción de forraje hidropónico en, avena (*Avena sativa* L.) y cebada (*Hordeum vulgare* L) en ambiente atemperado. [Tesis de grado Ingeniera Agrónoma, Universidad Mayor de San Andrés]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.umsa.bo/bitstream/handle/123456789/18495/T-2569.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- López, A. (2016). Análisis de la dinámica del nitrógeno en un sistema continuo acoplado contactor de membrana hidrofóbica/ reactor anaerobio. [Trabajo de título profesional, Universidad Politécnica de Cataluña]. Repositorio Digital. <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/89206/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Lorenzo, Y. y Obaya, M. C. (2005). La digestión anaerobia. Aspectos teóricos. Parte I. *ICIDCA. Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar*. 39(1). 35-48. <https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- Mamani, B. (2011). *Sistemas de producción vegetal II*. [https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4781/sistemas\\_de\\_produccion\\_vegetal\\_2.pdf](https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/4781/sistemas_de_produccion_vegetal_2.pdf)
- Mantilla, E. Castell, N. Salvador, R. Azorín, C. Millán, M. Vicente, J. y Juan, L. (2010). Ozono troposférico y calidad de aire. <https://mediambient.gva.es/documents/20549779/161512949/Ozono+troposf%C3%A9rico+y+calidad+del+aire.+Libro+completo/c0ae3c3e-5588-433f-a0b6-daf473a9c0a9>
- Martínez, S. y Garbi, M. (2015). Modificación artificial del ambiente: Cultivos protegidos. Soluciones nutritivas II. Beltrano, J. y Giménez, D. (Ed.), *Cultivo en hidroponía* (pp. 140-166)
- Medina, A. Quipuzco L. y Juscamaita, J. (2015). Evaluación de la calidad de biol de segunda generación de estiércol de ovino producido a través de biodigestores. *Anales Científicos*, 76 (1): 116-124.
- Medina, K. M. E. Leiva F. A. Rodríguez, A. D. Gil, L. A. Bardales, C. B. León, C. A. (2022). Influence of Concentrations of bio-fertilizer “biol” in the hydroponic cultivation of *Lactuca sativa* var. *longifolia* (Asteraceae) *Revista Arnaldoa*, 29(1), 137-148. <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.291.29108>

- Melo, L. (2018). Efecto de las soluciones nutritivas, té de estiércol y biol en la producción hidropónica de 3 variedades de lechuga (*Lactuca sativa* L) en K'yara – Cusco. [Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco]. Repositorio Institucional. [https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6708/253T20180515\\_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/6708/253T20180515_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Mendoza, K. (2016). *Preparación, uso y manejo de abonos orgánicos*. [https://www.ciaorganico.net/documypublic/502\\_pub\\_p682\\_pub.pdf](https://www.ciaorganico.net/documypublic/502_pub_p682_pub.pdf)
- Ministerio del Ambiente. (diciembre, 2009). *Boletín de Indicadores Ambientales de la Región Amazonas (12)*. <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/12198/265.pdf>
- Mireia, E. (2016). *Tecnologías apropiadas para la caficultura, Aprovechamiento de residuos*. Asociación Catalana D'Enginyeria Sence Fronteres
- Moncayo, E. (2022). Efecto de biol de estiércol de conejo en el desarrollo de forraje verde hidropónico de maíz (*Zea mays* L.) [Trabajo de titulación Ingeniero Agrónomo, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Digital. <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/27060/3/FAG-CIA-MONCAYO%20EDISSON.pdf>
- Morales, E. Hurtado, R. Chavez, S. Martos E. y Sanchez, T. (2021). Sistemas de tratamiento y reutilización de aguas mieles de café: Un enfoque de desarrollo sustentable para los caficultores de países en desarrollo. *Revista Pakamuros*. 9(2), 97-110. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v9i2.185>
- Moreno, M. A. (2014). Uso de roca caliza para el ajuste del pH de las aguas mieles del café. *Agua, Saneamiento y Ambiente*. 9(1). 10-15. <https://revistas.usac.edu.gt/index.php/asa/article/view/1455/924>
- Muñoz, E. (08 - 10 de junio dev2016). *Introducción al análisis de ciclo de vida* [Conferencia]. V seminario internacional de ACV en Ibero-América, Viña del Mar, Chile. [https://www.pactoglobal.cl/mailling/mailling2016/documentos/mayo/Presentacion\\_Comision\\_Medio\\_Ambiente\\_12-05-16\\_Escuela\\_de\\_Ingenieria\\_Ambiental\\_UNAB.pdf](https://www.pactoglobal.cl/mailling/mailling2016/documentos/mayo/Presentacion_Comision_Medio_Ambiente_12-05-16_Escuela_de_Ingenieria_Ambiental_UNAB.pdf)
- Navarrete, J. A. (2011). Validación primaria de la técnica para la detección de *Salmonella sp* en abonos orgánicos mediante la prueba Elisa (TECRA) vía 3M bajo la norma técnica colombiana ICONTEC (NTC 5167). [Trabajo de grado Microbióloga Agrícola y Veterinaria, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio Digital.

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/8911/tesis844.pdf?sequence=1>

Neri, J.C. Collazos, R. Huamán, E. Oliva M (2017). Application of organic manure and biofertilizer in the cultivation of lettuce (*Lactuca sativa* L) district of Chachapoyas. *Revista de Investigación en Agroproducción Sustentable*, 1(1), 38-46. DOI:10.25127/aps.20171.348

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura – FAO. (2013). *Informe sobre temas hídricos*. <https://www.fao.org/3/i3015s/i3015s.pdf>

Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura – UNESCO. (2017). *Ecosistemas de agua dulce: Ríos y lagos*. [https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/guia\\_ecosistemas\\_agua\\_dulce\\_final.pdf](https://www.uncclearn.org/wp-content/uploads/library/guia_ecosistemas_agua_dulce_final.pdf)

Ortiz, O. Rojas, M. Quispe, G. y Sanchez, J. (2012). *Informe final del proyecto “Desarrollo de bioinsumos para la producción sostenible de hortalizas con pequeños agricultores para una soberanía alimentaria en los andes”*. Centro Internacional de la Papa. [https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/10914\\_Informe\\_tecnico\\_final.pdf](https://www.fontagro.org/new/uploads/adjuntos/10914_Informe_tecnico_final.pdf)

Pablo, A. (2017). *Guía metodológica: análisis de ciclo de vida*. Universidad Tecnológica Nacional. [http://semaforo.hol.es/assets/pdf/2\\_diseno/informacion-ampliada-de-evolucion-del-ciclo-de-vida.pdf](http://semaforo.hol.es/assets/pdf/2_diseno/informacion-ampliada-de-evolucion-del-ciclo-de-vida.pdf)

Pablo, A. (2017). *Guía metodológica: análisis de ciclo de vida*. Universidad Tecnológica Nacional. [http://semaforo.hol.es/assets/pdf/2\\_diseno/informacion-ampliada-de-evolucion-del-ciclo-de-vida.pdf](http://semaforo.hol.es/assets/pdf/2_diseno/informacion-ampliada-de-evolucion-del-ciclo-de-vida.pdf)

Parra, R. (2015). Digestión anaeróbica: mecanismos biotecnológicos en el tratamiento de aguas residuales y su aplicación a la industria alimentaria. *Revista Producción + Limpia*. 10(2), 142-159. [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1909-04552015000200014](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1909-04552015000200014)

Pedraza, C. (2001), *Fertilización – Uso del estiércol bovino*. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68849/NR19078.pdf?sequence=5&isAllowed=y>

Peñafiel, W. y Ticona, D. (2015). Elementos nutricionales en la producción de fertilizante biol con diferentes tipos de insumos y cantidades de contenido rumial de bovino-Matadero

- municipal de La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*. 2(1), 87-90. [http://www.scielo.org/bo/pdf/riiarn/v2n1/v2n1\\_a11.pdf](http://www.scielo.org/bo/pdf/riiarn/v2n1/v2n1_a11.pdf)
- Pianto, J. y Ñaupá, K. C. (2020). Evaluación agronómica del cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa* L.) con tres tipos de abonos orgánicos (biol, humus de lombriz y bocashi). [Trabajo de grado Licenciado en Educación Agropecuaria, Universidad Nacional de Educación Enrique Guzmán Valle]. Repositorio digital. <https://repositorio.une.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14039/7457/TESIS%20%20PIANTO%20FERNANDEZ%20JOEL%20%20%20C3%91AUPA%20CURO%20KATIA%20CAROLINA%20%20FAN.pdf?sequence=4>
- Pomboza, P. León, O. A. Villacís, L. A. Vega, J. y Aldáz, J. C. (2016). Influencia del biol en el rendimiento del cultivo de *Lactuca sativa* L variedad Iceberg. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. 4(2). 84-92. [http://www.scielo.org/bo/pdf/jsab/v4n2/v4n2\\_a05.pdf](http://www.scielo.org/bo/pdf/jsab/v4n2/v4n2_a05.pdf)
- Pozo, G. (2019). Caracterización de biol producido en biodigestores de tipo tradicional y de cúpula fija. [Proyecto de Investigación de grado Ingeniero Agropecuario, Universidad Estatal Amazónica]. Repositorio Digital. <https://repositorio.uea.edu.ec/bitstream/123456789/632/1/T.AGROP.B.UEA.1152>
- Reyes, E. (2017). Generación de biogás mediante el proceso de digestión anaerobia, a partir del aprovechamiento de sustratos orgánicos. *Revista Científica de FAREM – Estilí: Medio Ambiente, Tecnología y Desarrollo Humano*. 6(24), 60-81. <https://rcientificaesteli.unan.edu.ni/index.php/RCientifica/article/view/1374/1453>
- Ríos, M.J. García, C. M. y Tarazona, M. L. (2020). Proyecto de emprendimiento de cultivo de lechugas hidropónicas utilizando la técnica de película nutritiva o NFT. [Trabajo de Maestría, Universidad del Rosario]. Repositorio digital. <https://repository.urosario.edu.co/server/api/core/bitstreams/bcf7776d-5f0b-4f5b-ad38-e4077491ad2f/content>
- Rodríguez, A. Chang, M. Paqui, L. y Orosco, J. (2019). *Curso práctico de hidroponía*. Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Rodríguez, A. y Chang, M. (2011). *Soluciones nutritivas en hidroponía*. Universidad Nacional Agraria La Molina
- Rodríguez, G. (2022). Principales características y diagnóstico de los grupos patógenos de *Escherichia coli*. *Salud Pública de México*. 44(5). 464-475.

[https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0036-36342002000500011#back1](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0036-36342002000500011#back1)

- Rodríguez, S. Pérez, R. M. y Fernández M. (2000). Estudio de la biodegradabilidad anaerobia de las aguas residuales del beneficio húmedo del café. *Interciencia*. 25(8). 386-390  
<https://www.redalyc.org/pdf/339/33905005.pdf>
- Ruscitti, M. (2015). El agua en la planta. Beltrano, J. y Giménez, D. (Ed.), *Cultivo en hidroponía* (pp. 33-44)
- Saavedra, G. Corrandini, F. Antúnez, A. Felmer, S. Estay, P. y Sepúlveda P. (2017). *Manual de producción de lechuga*. <https://biblioteca.inia.cl/handle/20.500.14001/6703>
- Sánchez, D. L. (2022). Caracterización fisicoquímica de las aguas mieles generadas en una finca cafetera del municipio del Pital (Departamento de Huila). *Revista SENNOVA: Revista Del Sistema de Ciencia, Tecnología e Innovación*. 6(1). 11-24.  
<https://doi.org/10.23850/23899573.5368>
- Sánchez, F. (2006). Consideraciones sobre la capa de ozono y su relación con el cáncer de piel. *Revista médica de Chile*. 134(9). 1185-1190. <http://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872006000900015>
- Sánchez, G. Blas, N. y Chau, G. (2010). *Informe nacional sobre el estado del ambiente marino del Perú*. Ministerio de la Producción <https://www.minam.gob.pe/comuma/wp-content/uploads/sites/106/2019/04/Calidad-Marina-IMARPE.pdf>
- Sánchez, H. Reyes, C. y Mejía, K. (2018). *Manual de términos en investigación científica, tecnológica y humanística*. Universidad Ricardo Palma. <https://www.urp.edu.pe/pdf/id/13350/n/libro-manual-de-terminos-en-investigacion.pdf>
- Sánchez, L. (2017). Manual para la construcción de sistemas de tratamiento de aguas residuales en beneficios pequeños de café. UTZ certified. [https://utz.org/wp-content/uploads/2016/07/Sistema-de-Tratamiento-de-aguas-residuales\\_Manual.pdf](https://utz.org/wp-content/uploads/2016/07/Sistema-de-Tratamiento-de-aguas-residuales_Manual.pdf)
- Sierra, (2005). El pH urinario, el pH en el estiércol y la temperatura rectal como indicadores de hipocalcemia, acidosis rumial o infecciones uterinas en vacas de transición. [Trabajo de grado, Escuela Agrícola Panamericana Zamorano]. Repositorio digital <https://bdigital.zamorano.edu/server/api/core/bitstreams/0e122452-0af5-4c73-a405-af0beafadc2f/content>

- Sistema Biobolsa (2022). Manual de biol. [https://sswm.info/sites/default/files/reference\\_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf](https://sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SISTEMA%20BIOBOLSA%20s.f.%20Manual%20del%20BIOL.pdf)
- Smithers Oasis, (2018). Manual de hidroponía. <https://www.guao.org/sites/default/files/biblioteca/Manual%20de%20hidropon%C3%ADa.pdf>
- Soria, J. (2012). *Sexto curso de hidroponía básica para principiantes*. Hidroponía y Acuarística Del Caribe. <https://xdoc.mx/preview/6-curso-de-hidroponia-basica-para-principiantes-5dc5cd5a625bb>
- Torres, L. S. Sanín, A. Arango, A. y Serna, J. A. (2019). Caracterización fisicoquímica y microbiológica de aguas mieles del beneficio del café. *Revista Ion*. 32(2). 59-66. <https://revistas.uis.edu.co/index.php/revistaion/article/view/10619/10461>
- Urresta, A. (2019). Evaluación de tres soluciones nutritivas con diferentes niveles de biol en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (*Hordeum vulgare L.*) [Trabajo de grado Ingeniero Agropecuario, Universidad Técnica del Norte]. Repositorio Digital. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9858/2/03%20AGP%20249%20TRABAJO%20GRADO.pdf>
- Vargas, J. (2010). *Clima, informe temático. Proyecto Zonificación Ecológica y Económica del departamento de Amazonas, convenio entre el IIAP y el Gobierno Regional de Amazonas*. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL510.pdf>
- Vargas, Z. R. (2009). La investigación aplicada: una forma de conocerlas realidades con evidencia científica. *Revista Educación*. 33(1). 155-165.
- Zambrano, D. Isaza, J. Rodríguez, N. y López, U. (1999). Tratamiento de aguas residuales del lavado de café. <https://www.cenicafe.org/es/publications/bot020.pdf>
- Zárate, M. A. (2015). *Manual de hidroponía*. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual\\_de\\_hidroponia.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf)

# **ANEXOS**

**Anexo A. Datos de las características agronómicas de *L. sativa* L.**

**Tabla 23.** Número de hojas para cada tratamiento y repetición.

TRATAMIENTO	UE	REPETICIÓN				
		1	2	3	4	5
1	1	19	18	20	20	17
	2	16	16	18	16	21
	3	20	18	16	18	21
	4	15	20	18	18	18
	5	17	18	15	20	18
	6	18	18	21	19	17
	7	18	18	20	16	18
	8	16	21	18	18	20
	9	17	15	20	18	21
	10	18	18	21	18	18
2	1	17	17	17	16	18
	2	18	16	17	17	17
	3	16	16	17	16	17
	4	18	16	17	16	18
	5	18	17	16	15	18
	6	15	17	17	17	16
	7	17	16	17	17	16
	8	17	17	17	16	17
	9	18	16	18	18	17
	10	17	18	18	17	16
3	1	16	15	16	17	16
	2	17	15	16	16	16
	3	17	15	16	16	16
	4	16	16	17	16	17
	5	15	16	16	16	16
	6	15	15	16	15	17
	7	16	15	17	16	16
	8	16	15	17	16	16
	9	17	16	17	15	16
	10	15	17	16	15	15
4	1	18	18	18	17	18
	2	18	19	18	18	16
	3	18	17	18	18	18
	4	17	17	18	18	18
	5	18	17	19	18	18
	6	18	17	19	18	17
	7	17	18	18	17	17
	8	17	18	17	17	18
	9	18	18	18	18	18
	10	18	18	17	18	17

**Tabla 24.** Longitud de raíz para cada tratamiento y repetición.

TRATAMIENTO	UE	REPETICIÓN				
		1 (cm)	2 (cm)	3 (cm)	4 (cm)	5 (cm)
1	1	28.40	25.70	27.00	26.50	19.50
	2	25.80	27.60	24.10	27.80	22.80
	3	26.00	27.40	24.50	24.10	24.80
	4	27.20	25.80	26.80	23.70	26.30
	5	27.40	26.30	24.20	26.00	27.40
	6	25.10	26.80	23.80	26.80	21.80
	7	25.80	27.00	24.50	25.30	24.80
	8	26.30	26.10	28.20	25.40	21.60
	9	20.90	26.40	27.40	20.70	23.70
	10	22.50	26.70	21.90	24.50	27.40
2	1	22.50	23.10	24.00	23.10	21.00
	2	21.40	20.50	25.00	20.80	21.40
	3	19.70	24.10	24.30	20.10	22.00
	4	18.40	19.00	26.40	20.00	22.50
	5	26.40	18.40	25.70	19.40	20.80
	6	25.40	19.60	21.20	19.60	20.30
	7	27.30	18.70	23.50	18.60	21.50
	8	21.60	24.00	24.00	18.30	19.80
	9	21.00	22.60	20.30	18.30	20.10
	10	20.40	25.30	20.40	21.00	20.90
3	1	24.00	22.50	26.00	24.00	25.80
	2	21.90	22.80	21.50	24.10	26.00
	3	22.70	21.90	24.10	24.10	24.20
	4	23.50	20.00	23.70	25.30	24.50
	5	24.60	26.00	24.60	19.20	24.10
	6	24.70	25.40	25.20	20.80	26.10
	7	28.00	23.40	23.40	19.70	20.40
	8	26.30	25.10	23.00	24.10	26.00
	9	24.70	19.00	23.50	26.00	24.50
	10	25.00	25.40	21.00	24.30	23.80
4	1	27.60	25.60	24.80	24.60	25.20
	2	25.00	25.00	24.00	28.00	26.10
	3	26.30	25.30	24.60	20.60	20.80
	4	25.40	19.00	24.30	21.40	20.50
	5	25.40	27.10	28.20	23.40	20.40
	6	24.80	25.30	26.10	25.50	25.10
	7	26.10	25.00	28.30	25.60	26.30
	8	29.00	25.80	27.40	20.10	27.00
	9	24.20	21.90	28.10	24.30	24.30
	10	24.30	20.60	20.40	26.10	24.00

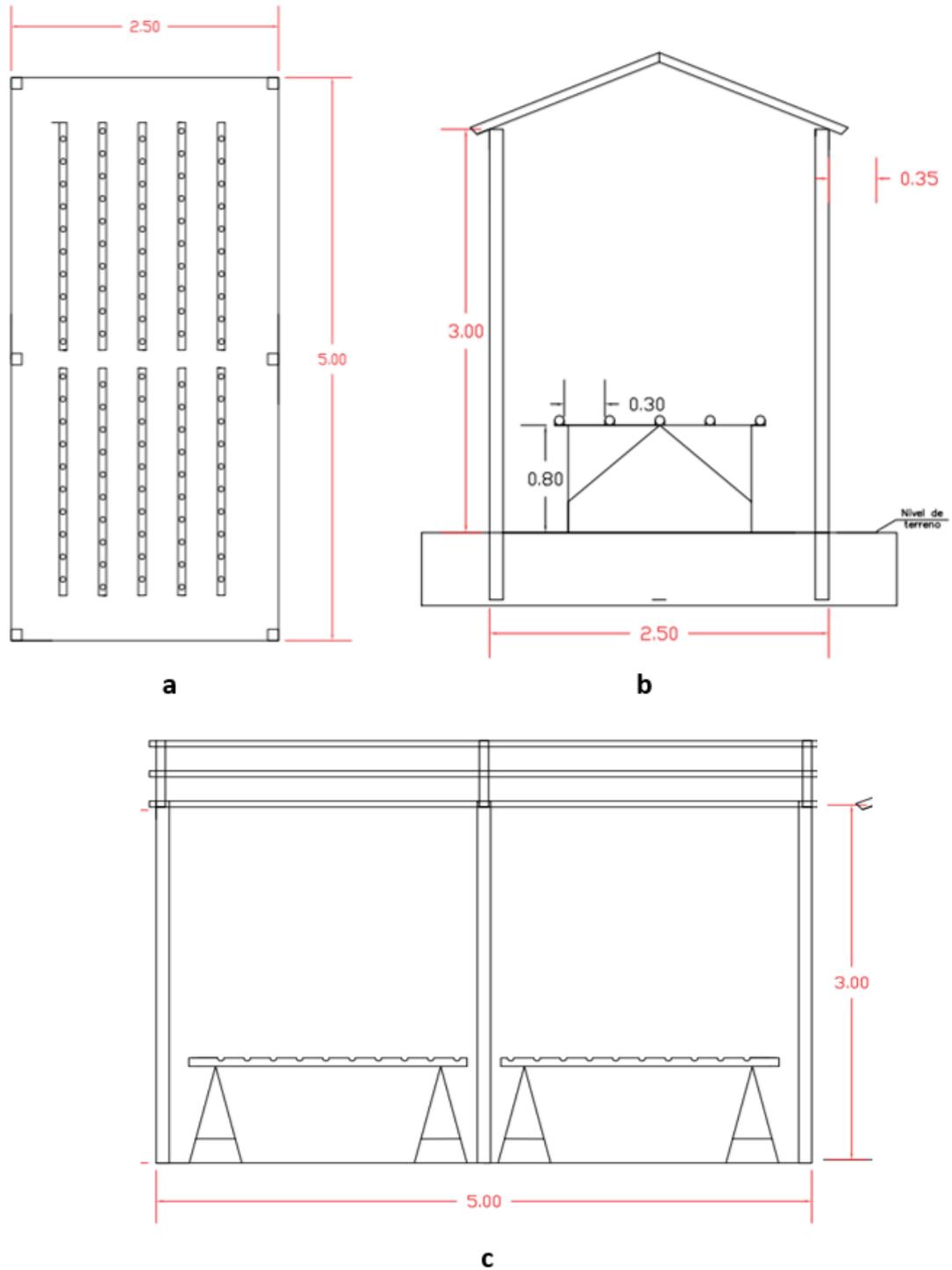
**Tabla 25.** Diámetro de área foliar para cada tratamiento y repetición.

TRATAMIENTO	UE	REPETICIÓN				
		1 (cm)	2 (cm)	3 (cm)	4 (cm)	5 (cm)
1	1	30.1	28.0	32.0	31.2	27.5
	2	28.4	27.6	30.4	27.6	30.4
	3	29.0	29.3	28.2	28.0	31.0
	4	27.1	30.3	29.1	27.6	29.7
	5	29.2	28.1	26.5	28.8	30.2
	6	28.2	27.4	28.4	28.4	24.8
	7	28.6	28.7	28.1	26.9	29.3
	8	27.4	31.0	28.5	30.1	30.0
	9	28.0	26.8	29.8	30.4	29.8
	10	29.4	27.4	29.5	30.0	28.7
2	1	25.4	25.8	24.7	24.3	23.6
	2	26.0	24.6	25.0	24.5	20.8
	3	23.5	24.5	23.1	23.2	20.4
	4	24.0	23.7	24.2	25.0	24.6
	5	23.4	24.8	23.6	22.0	25.3
	6	22.9	22.9	26.1	23.1	21.1
	7	24.6	22.7	25.8	23.5	20.7
	8	25.0	25.4	24.9	22.4	22.5
	9	24.6	23.6	26.5	21.8	22.4
	10	23.9	26.4	23.9	20.8	23.0
3	1	19.8	20.9	21.3	21.1	19.2
	2	20.3	19.5	20.4	20.2	18.7
	3	20.4	19.4	19.6	18.9	18.5
	4	19.6	20.0	20.3	20.5	19.3
	5	18.4	21.1	19.9	20.3	18.0
	6	19.6	19.8	20.4	18.3	18.3
	7	20.0	18.9	20.5	19.2	18.1
	8	20.4	19.6	19.8	18.7	18.4
	9	22.0	19.4	20.0	17.9	16.8
	10	19.5	20.3	18.7	18.3	17.0
4	1	29.0	28.5	29.5	26.9	29.4
	2	28.9	30.1	30.0	30.1	27.9
	3	29.4	26.9	29.8	28.7	30.0
	4	29.0	28.2	28.9	29.4	29.7
	5	29.8	28.5	30.4	29.6	28.9
	6	28.7	27.9	30.5	31.2	28.5
	7	27.9	29.2	28.0	30.0	28.0
	8	28.6	30.4	28.4	27.0	29.1
	9	30.0	29.3	29.1	29.0	28.6
	10	29.7	29.6	29.0	28.2	29.2

**Tabla 26.** Parámetros químicos de los tratamientos.

<b>Día</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>pH</b>	<b>Ce (mS/cm)</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>pH</b>	<b>Ce (mS/cm)</b>
1	1	6.64	3.00	3	6.32	3.50
3	1	6.21	2.10	3	6.70	2.50
6	1	5.98	1.86	3	6.14	2.51
9	1	7.21	1.95	3	6.16	2.34
12	1	7.27	1.98	3	6.52	2.31
15	1	6.14	1.89	3	6.43	2.20
18	1	6.34	2.23	3	5.28	2.15
21	1	5.96	2.12	3	6.71	2.31
24	1	6.12	1.75	3	5.72	2.24
17	1	6.43	1.88	3	6.75	2.32
30	1	6.64	1.79	3	5.86	2.14
33	1	6.50	2.11	3	5.90	2.17
36	1	6.34	1.94	3	6.12	3.10
39	1	6.58	1.96	3	5.95	2.28
42	1	6.16	1.87	3	6.06	2.24
45	1	5.98	2.20	3	6.20	2.27
1	2	6.70	3.50	4	6.80	1.90
3	2	5.47	2.40	4	6.56	1.65
6	2	5.63	2.20	4	6.81	2.00
9	2	5.37	2.21	4	5.87	2.11
12	2	6.45	2.05	4	7.15	1.86
15	2	6.37	2.14	4	6.62	1.95
18	2	6.59	1.92	4	6.57	1.64
21	2	6.38	1.75	4	6.37	1.87
24	2	6.26	1.92	4	6.12	1.90
17	2	5.86	2.00	4	5.81	1.82
30	2	6.32	2.22	4	6.90	1.94
33	2	5.98	2.41	4	6.92	1.87
36	2	6.41	2.16	4	7.12	2.13
39	2	6.36	2.30	4	6.88	2.04
42	2	6.27	1.95	4	6.79	1.92
45	2	6.51	1.98	4	6.93	1.94

## ANEXO B. Diseño del sistema hidropónico NFT



**Figura 23.** Diseño del sistema hidropónico NFT.

Donde: **a)** vista en planta, **b)** vista frontal y **c)** vista lateral del invernadero

**ANEXO C. Panel fotográfico**

**Figura 24.** Medición del área a utilizar para la instalación del sistema hidropónico.



**Figura 25.** Construcción del invernadero para el sistema hidropónico.



**Figura 26.** Instalación de componentes del sistema hidropónico NFT.



**Figura 27.** Preparación de soluciones concentradas A, B y C de la UNTRM.



**Figura 28.** Soluciones hidropónicas concentradas A, B y C de la UNTRM.



**Figura 29.** Muestras de biol.



**Figura 30.** Análisis de parámetros fisicoquímicos del biol.



**Figura 31.** Siembra de inóculos para análisis microbiológico del biol.



**Figura 32.** Germinación de *L. sativa* L.



**Figura 33.** Trasplante de plántulas de *L. sativa* L.



**Figura 34.** Plántulas de *L. sativa* L. en adaptación a sistema hidropónico.



**Figura 35.** Aplicación del tratamiento 1.



**Figura 36.** Aplicación del tratamiento 2.



**Figura 37.** Aplicación del tratamiento 3.



**Figura 38.** Aplicación del tratamiento 4.



**Figura 39.** Sistema radicular de *L. sativa* L. hidropónica.



**Figura 40.** Medición de la longitud de la raíz.



**Figura 41.** Medición del diámetro del área foliar.



**Figura 42.** Preparación de biol.



**Figura 43.** Preparación de solución nutritiva.



**Figura 44.** Medición de pH y conductividad eléctrica de la solución nutritiva.



**Figura 45.** Producción de *L. sativa* L. hidropónica.

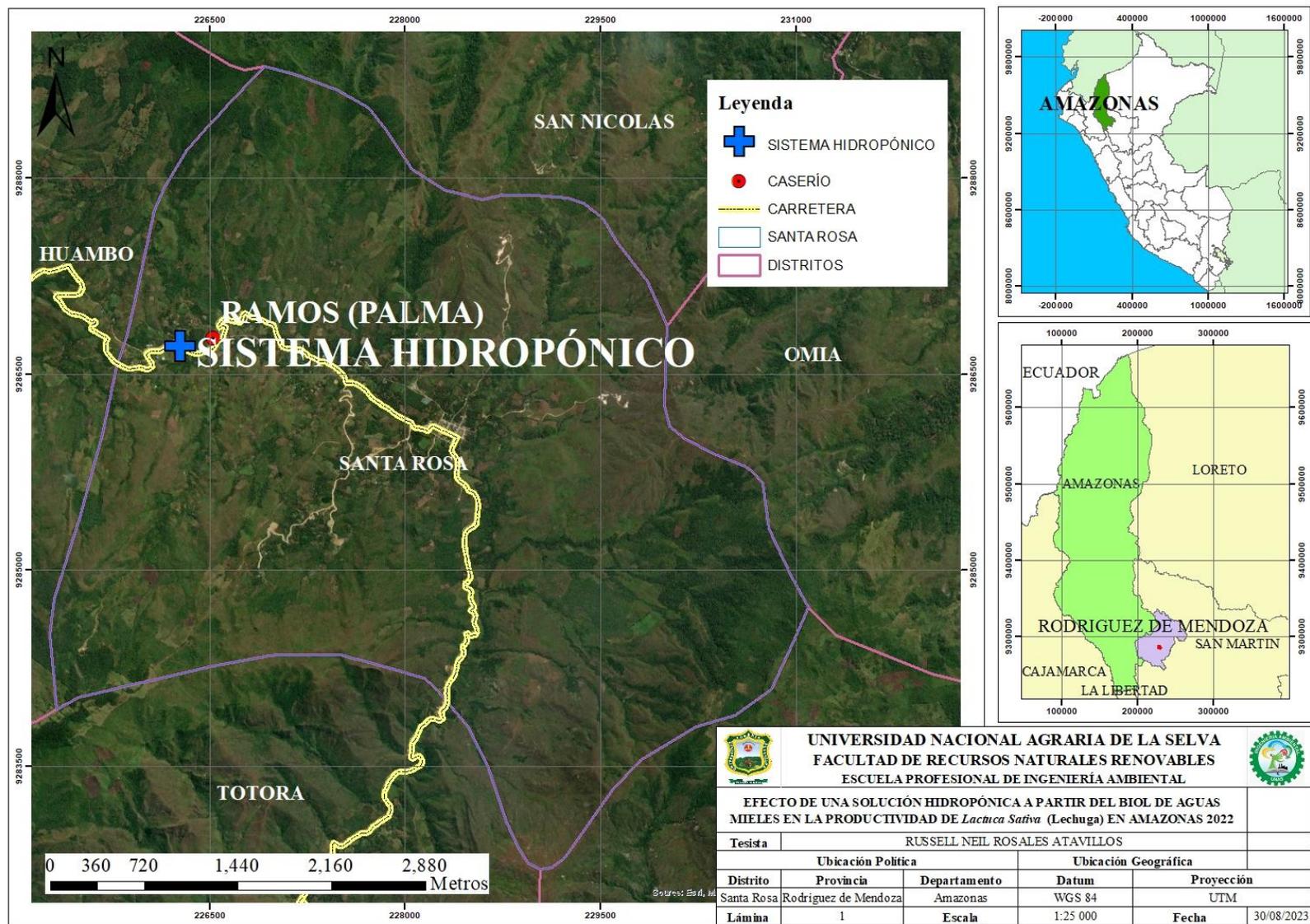


Figura 46. Ubicación de la instalación del sistema hidropónico.

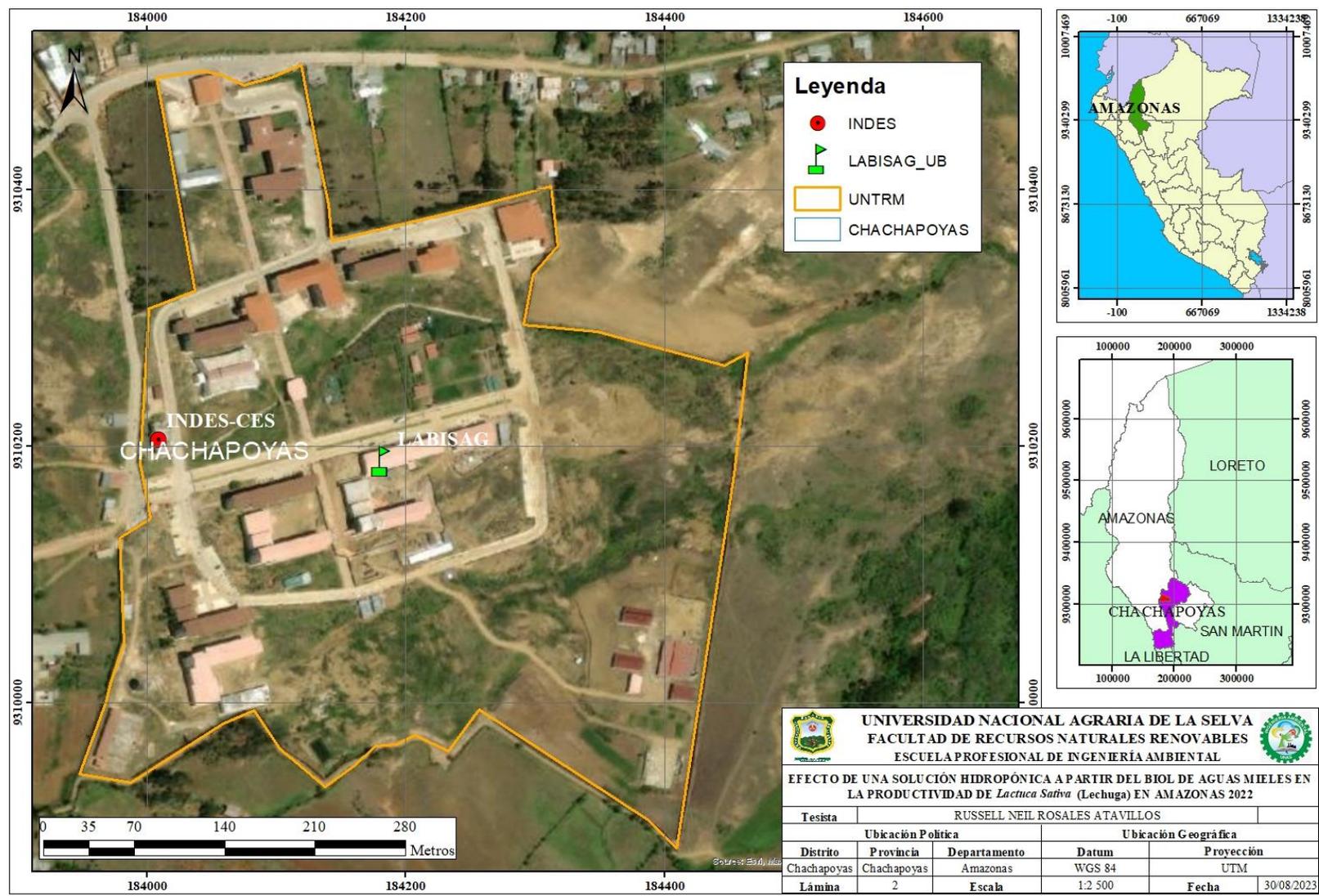


Figura 47. Ubicación de las instalaciones de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.