



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
COMPLEJO REGIONAL CENTRO TECAMACHALCO

T E S I S

**“Evaluación de la eficiencia del desecho de
destilación de pulque en sistema hidropónico con
cultivo de Espinaca (*Spinacia oleracea*).”**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

P R E S E N T A:
ZAIRA GONZÁLEZ SORIA

D I R E C T O R:
DOC. ALFREDO ALEJANDRO GUZMÁN BECERRA

C O D I R E C T O R:
M.I.Q. JOSÉ MUÑOZ FLORES

A S E S O R E X T E R N O:
M.V.Z. JOEL MARTÍN PICHARDO RICO.

Puebla, Pue. 31 de marzo 2022

AGRADECIMIENTOS

A la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, por la oportunidad brindada para desarrollar todos los proyectos e ideas de los que formé parte durante mi trayectoria universitaria.

A la Directora del complejo Regional Centro, Mirna López y Juan Manuel Alonso Orozco, por el apoyo y la confianza para llevar a cabo cada proyecto.

Al Doc. Alfredo Alejandro Guzmán Becerra, por haber dirigido este trabajo de investigación, por compartir sus conocimientos, tiempo, experiencia y dedicación.

Al M.I.Q. José Muñoz Flores, por compartir sus conocimientos, experiencia, tiempo y dedicación; pero sobre todo por siempre tener una palabra de aliento, por motivarme y principalmente por haberme brindado su amistad.

Al M.C. Armando Torres Chocolatl, por ser uno de los mejores maestros que tuve durante mi formación profesional, por siempre impulsarme a lograr mis objetivos, por su valioso apoyo y por las charlas culturales.

Al M.V.Z. Joel Martín Pichardo Rico y su amigo el ingeniero Humberto Ordoñez López dueños de PULCATT, por todo el apoyo que me brindaron en la elección de tema de tesis, por prestarme material didáctico y de laboratorio, por todo el aprendizaje que obtuve de sus enseñanzas y las convivencias después del trabajo.

A Ana, Angel, Ivon, Marisol, por siempre impulsarme a lograr mis proyectos, por su valioso apoyo y su presencia, por su cooperación y valiosa amistad.

A Marco Antonio, por todo el apoyo que me brindó, por escucharme, por ayudarme en cada etapa del proyecto, por motivarme a seguir, a no rendirme nunca, muchas gracias.

A todas aquellas personas que se interesaron en la realización de mi tesis y en la conclusión de la misma, por su paciencia, y por tener siempre una crítica que lograra enriquecer cada capítulo.

DEDICATORIA

A mis padres:

Evaristo González Trejo

María del Carmen Soria Guzmán.

Por apoyarme siempre en cada aspecto de mi vida, por darme las alas para llegar tan lejos como quiero, por amarme incondicionalmente y estar presente en los momentos más importantes de mi vida, por confiar en mí y dejarme ser. Todo es por y para ustedes.

A mis hermanos Dante González Soria y Aarón Gonzalez Soria por ayudarme a descubrir mis vocaciones, acompañarme en cada etapa de mi vida e impulsarme a lograr cualquier cosa que me proponga por sencilla que sea, por su incondicional amor y apoyo.

A mi abuelita Ofelia, por ser la luz en mis días, por hacerme una mujer fuerte, independiente, creativa, amorosa, empática que puede lograr todo lo que se proponga.

A Porqui, por viajar y vivir conmigo mi etapa universitaria, por esperarme siempre que llegaba de la universidad con mucha alegría, por ser mi mejor amigo y compañero de aventuras.

A mí misma, por demostrarme que puedo lograr más de lo que me propongo, por tenerme paciencia, por animarme a intentarlo, aunque sea con miedo, por saberme valer en cualquier lugar, por jamás rendirme, por siempre tener esperanza.

¡GRACIAS!

ÍNDICE DE CONTENIDO

I.	INTRODUCCIÓN.....	13
II.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	15
III.	JUSTIFICACIÓN.....	16
IV.	OBJETIVOS.....	17
	OBJETIVO GENERAL	17
	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
V.	HIPÓTESIS.....	18
VI.	MARCO TEÓRICO	19
	CAPITULO I: GENERALIDADES	19
	1.1 Vinaza, descripción y origen.....	19
	1.1.1 Agave	20
	1.1.2 Antecedentes vinaza.	22
	1.1.3 Usos de las vinazas.....	22
	1.1.4 Composición química de la vinaza.	23
	1.1.5 Corrección de pH.....	24
	1.1.6 Métodos de corrección de pH.....	24
	1.1.7 Pasteurización de la vinaza.	24
	1.2 Cultivo de Espinaca.....	25
	1.2.1 Descripción botánica.	26
	1.2.2 Requerimiento ecológico y edafológico del cultivo.	27
	1.2.3 Características y exigencias nutricionales del cultivo.	28
	1.3 Solución nutritiva y sistema de cultivo.....	29
	1.3.1 Sistema de hidroponía.....	30

1.3.2 Sistema de raíz flotante.....	31
CAPITULO II: METODOLOGÍA.....	33
2.1 Diagrama general.....	33
2.2 Obtención de la materia prima	34
2.3 Pruebas de laboratorio	34
2.3.1 Determinación de pH.....	34
2.3.2 Conductividad eléctrica.....	36
2.3.3 Análisis químico de la vinaza.....	39
2.4 Desarrollo experimental	40
2.4.1 Elaboración del diseño y construcción del sistema raíz flotante .	41
2.4.2 Formulación de tratamientos	44
2.4.3 Determinación de cloro residual en agua	44
2.5 Siembra en charola de germinación.....	45
2.6 Pasteurización de vinaza	45
2.7 Trasplante de plántula a sistema de raíz flotante.....	46
2.7.1 Crecimiento y desarrollo de la planta.....	48
2.7.2 Riego	48
2.7.3 Oxigenación.....	48
2.8 Variables de respuesta.....	48
CAPITULO III.	50
Resultados	50
3.1 Proceso de trasplante	50
3.2 Estado de la planta en sistema de charola flotante.....	54
Semana 1.....	54

3.3 Estado de la planta en sistema de charola flotante.....	58
Semana 2.....	58
3.4 Estado de la planta en sistema de charola flotante.....	62
Semana 3.....	62
VII. CONCLUSIONES.....	67
VIII. RECOMENDACIONES.....	69
IX. BIBLIOGRAFÍA.....	70
X. ANEXO A.....	74
Anexo 1. Construcción del sistema Charola Flotante.....	74
XI. ANEXO B.....	77
Anexo 2. Resultados agrupados por variable de respuesta.....	77

Índice de Imágenes

Imagen 1. Residuo de destilación de pulque.....	20
Imagen 2. Proceso de destilación	20
Imagen 3. Espinacas comerciales. Tomado de Friedman, E. (2019, 11 diciembre). Vegetales de hoja verde.....	26
Imagen 4. Partes de la espinaca. Tomado de Dr. Otto Wilhelm Thomé Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz 1885, Gera, Germany.....	27
Imagen 5. Sistema hidropónico. Tomado de Arackal, S. (2021, 13 junio). Planta verde en maceta negra.	31
Imagen 6. Espinaca en sistema hidropónico. Produzcamos espinacas en hidroponía Guía técnica. (2021, 3 febrero).....	32
Imagen 7. Fábrica de pulque destilado “Pulcatta”	34
Imagen 8. Medición de pH de la muestra.....	35
Imagen 9. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo, Juan C. Gilsanz. (2007). HIDROPONIA. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología.	37
Imagen 10. Medidor de conductividad eléctrica.	38
Imagen 11. Diseño de la estructura del sistema hidropónico.	41
Imagen 12. Diseño experimental del Sistema Hidropónico.	42
Imagen 13. Estructura final para diseño experimental en sistema hidropónico....	43
Imagen 14. Medición de cloro en agua.	45
Imagen 15. Pasteurización de vinaza.....	46
Imagen 16. Trasplante de espinaca	47
Imagen 17. Charola de germinación con plántula de espinaca.....	50
Imagen 18. Plántula de espinaca antes del trasplante a sistema charola flotante.	51
Imagen 19. Medición de pH al primer día de trasplante	52
Imagen 20. Medición de conductividad al primer día de trasplante.....	53
Imagen 21. Estado de la planta en la primera semana al trasplante.....	54
Imagen 22. Medición de altura.	56
Imagen 23. Estado de la planta a la segunda semana del trasplante.	58
Imagen 24. Medición de altura en la segunda semana de tratamiento.	60

Imagen 25. Estado de la planta a la tercera semana del trasplante.....	63
Imagen 26. Estado de las raíces en la tercer y última semana.	66

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Composición de Vinaza (Chapingo, 2016)	24
Cuadro 2. Combinaciones de tiempo y temperatura de pasteurización (Martínez & Rosenberger, 2013).	25
Cuadro 3. Demanda de nutrientes. Demanda de macro y micronutrientes por espinaca (<i>Spinacia oleracea</i> L.) cultivada en El Llano en Iltamas de Jalisco, México.....	28
Cuadro 4. Fuente: FAO, La Empresa Hidropónica de Mediana Escala, La técnica de la solución Nutritiva Recirculante (NFT), (1996).....	30
Cuadro 5. Informe de resultados de Laboratorio.....	39
Cuadro 6. Tratamientos y repeticiones.....	44
Cuadro 7. Tratamientos y su composición.	44
Cuadro 8. Número de hojas previo al trasplante.	51
Cuadro 9. pH al primer día de trasplante	52
Cuadro 10. Conductividad eléctrica al primer día de trasplante.	54
Cuadro 11. Número de hojas a la primera semana al trasplante	55
Cuadro 12. Color de hojas en la primera semana al trasplante.....	55
Cuadro 13. Altura de la planta en centímetros a la primera semana del trasplante.	56
Cuadro 14. Aspecto de la planta en la primera semana al trasplante.	57
Cuadro 15. pH en la primera semana al trasplante.	57
Cuadro 16. Conductividad eléctrica en la primera semana al trasplante.....	57
Cuadro 17. Número de hojas en la segunda semana al trasplante.....	59
Cuadro 18. Color de hojas en la segunda semana al trasplante.....	59
Cuadro 19. Altura de la planta en centímetros a la segunda semana del trasplante	60
Cuadro 20. Aspecto de la planta en la segunda semana al trasplante.....	61
Cuadro 21. pH en la segunda semana al trasplante.	61
Cuadro 22. Conductividad eléctrica en la segunda semana al trasplante.	62
Cuadro 23. Número de hojas en la tercera semana al trasplante.	63
Cuadro 24. Color de hojas en la segunda semana al trasplante.....	63

Cuadro 25. Altura de la planta en centímetros a la tercera semana del trasplante	64
Cuadro 26. Aspecto de la planta en la tercera semana al trasplante.	64
Cuadro 27. pH en la tercera semana al trasplante.	65
Cuadro 28. Conductividad eléctrica en la segunda semana al trasplante.	65

Índice de diagramas

Diagrama 1. Obtención de Vinaza de destilado de pulque (Obregón-Luna, 2012).	19
Diagrama 2. Cascada de productos que se pueden obtener de la planta de maguey. (Pérez, 2008)	21
Diagrama 3. Diagrama de flujo de la metodología.	33
Diagrama 4. Diagrama del desarrollo experimental	40

I. INTRODUCCIÓN

La hidroponía es una técnica de producción agrícola en la que las raíces de las plantas se riegan con una mezcla de elementos nutritivos esenciales, disueltos en agua y en lugar de suelo se puede utilizar como sustrato un material inerte. Esta técnica se puede definir como la ciencia del desarrollo de la planta sin utilizar suelos propiamente, sino un medio inerte que se le denomina a medio de cultivo sin suelo (Sánchez y Escalante, 1983), esto a su vez permite producir cosechas en contra estación con menor espacio, mayor producción utilizando una inversión inicial, ahorro de agua, que se puede reciclar, mayor control en el uso de fertilizantes e insecticidas, se evita la maquinaria agrícola (tractores, rastras, etcétera), esto a su vez requiere un mayor cuidado e higiene en el manejo del cultivo, mejor y mayor calidad del producto, altos rendimientos por unidad de superficie y aceleramiento en el proceso de cultivo, posibilidad de cosechar repetidamente la misma especie de planta al año (Beltrano 2015).

La técnica de hidroponía juega un papel muy importante en el desarrollo global de la agricultura. La presión por el incremento de la población, los cambios en el clima, la erosión del suelo, la falta y contaminación de agua, son algunos de los factores que han influenciado la búsqueda de métodos alternos de producción de alimentos.

El sistema de raíz flotante es el más sencillo de realizar, de bajo costo y no demanda uso de energía extra comparado con los demás sistemas. Consta de un recipiente donde se coloca la solución nutritiva y sobre ella flotando la plataforma de unicel que soporta las plantas. En este sistema es necesario el cambio de solución nutritiva semanalmente o parte de ella, y se debe estar oxigenando la solución nutritiva como en todo sistema hidropónico. Los cultivos que mejor se adaptan a este sistema son los de hoja, como son la lechuga, espinaca y plantas aromáticas (Gilsanz, 2017).

El objetivo de esta investigación fue evaluar el crecimiento y rendimiento de espinaca en sistema hidropónico de raíz flotante, utilizando residuos de destilación de pulque en diferentes porcentajes.

Como antecedente, Zelaya-Benavidez evaluó la toxicidad de las vinazas del mezcal en la germinación de semillas y su efecto biofertilizante en el rendimiento de hortalizas realizando dos experimentos en lechuga, pepino y tomate. El primero fue una prueba de fitotoxicidad en la germinación de semillas con diferentes concentraciones de vinaza al 2.5, 5, 10, 20, 40, 80 y 100%, el segundo consistió en la evaluación del efecto biofertilizante de las combinaciones de 100-0, 80-20, 40-60 y 20-80% de vinaza y solución nutritiva Steiner, y como testigo el 100% de la solución nutritiva.

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la producción de destilado se genera un residuo llamado vinaza, se estima que por cada litro de destilado producido se generan en promedio 10 litros de vinazas. Un problema con respecto a la generación de vinazas es que una gran cantidad de éstas no recibe tratamiento que cumpla con las características físicas, químicas y microbiológicas señaladas en la normatividad vigente (NOM-001-SEMARNAT-1996). Principalmente las vinazas producidas por pequeñas y medianas empresas, que no tienen recursos financieros para el tratamiento, terminan descargando clandestinamente el residuo en los cuerpos de agua o en los suelos.

Las vinazas por su contenido de materia orgánica se utilizan para riego de cultivos agrícolas ya que poseen características fisicoquímicas distintivas y aunque su composición química puede variar en función de la materia prima y del proceso de destilación, en general presentan una alta demanda bioquímica de oxígeno, pH ácido, altos contenidos de materia orgánica, potasio y calcio, así como cantidades moderadas de nitrógeno y fósforo (Alfaro & Alfaro, 1996; García & Rojas, 2006; Montenegro et al., 2009; Vargas, 2014), sin embargo, no se ha evaluado su efecto en cultivos ni en suelo. (Luis Amaíz, 2017).

Para el mejoramiento en los resultados de las cosechas se utilizan productos químicos sin tomar en cuenta el desgaste paulatino que va sufriendo el suelo conforme a su uso. Una propuesta para mejorar los suelos y a su vez aumentar la cosecha es elaborar un compuesto a base de vinaza (Finck, 2008).

¿Pero cómo obtener la correcta concentración para la elaboración de un producto? Es necesario preparar distintas concentraciones para saber cuál es la más aceptable para el cultivo de acuerdo a sus necesidades nutrimentales.

III. JUSTIFICACIÓN

El aumento exponencial de la población humana en los últimos años, de 7 mil millones de personas en el 2012 a más de 9 mil millones proyectado al 2050, ha generado una creciente necesidad por la producción de alimentos, lo cual ha llevado a mejorar la eficiencia de producción en superficies cada vez más pequeñas, utilizando la menor cantidad de recursos y aumentando la calidad de los alimentos (OCDE, 2014).

La nutrición del cultivo es uno de los factores más importantes para el control del rendimiento y de la calidad en la producción agrícola. Las vinazas, como subproducto de la destilación de alcohol, tienen una carga orgánica muy alta, que las hacen potencialmente contaminantes, afortunadamente la naturaleza de esta carga orgánica facilita su manejo y aprovechamiento (Luna, 2017), por lo cual la presente tesis se realizará con el objetivo de hacer estudios y experimentos que nos brinden información confiable y pertinente, para ofrecer un producto que logrará dos propósitos:

- La elaboración de un producto que beneficiará al ambiente.
- Reducción del impacto ambiental.

El sistema hidropónico permite aumentar la población de individuos (número de plantas por cada metro cuadrado) y evitar problemas derivados de un suelo degradado o con fitopatógenos y bacterias.

En el caso de la espinaca se plantea usar el sistema de raíz flotante donde las raíces se desarrollan en contacto directo con la solución y el agua. Se trata de una solución recirculante que se va sustituyendo y renovando cada cierto tiempo, cuando se acumulan excesivas sales en ella o sube la conductividad.

El sistema hidropónico presenta muchas ventajas como es: Un mejor control de la nutrición del cultivo al no tener interacciones con el suelo (bloqueo de nutrientes, aparición de fitopatógenos o bacterias pH, etc.), mayor aprovechamiento de agua y de nutrientes, ausencia de enfermedades comunes en los suelos agrícolas (Santos, 2011).

IV. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de desecho de destilación de pulque previamente pasteurizado en un modelo de producción hidropónico con el cultivo de Espinaca (*Spinacia oleracea*).

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Proponer la utilización de un compuesto a base de los residuos de la destilación de pulque (vinaza) previamente pasteurizado para uso en sistema hidropónico.
- Proponer un diseño experimental para distintos tratamientos en un sistema de producción hidropónico.
- Evaluar las etapas fenológicas de la espinaca en el mismo sistema.
- Analizar las respuestas de las plantas a los distintos tratamientos.

V. HIPÓTESIS

Con base en el producto elaborado con vinazas, el cultivo de espinaca tendrá los nutrimentos necesarios para su correcto desarrollo, se aprovechará de manera adecuada este deshecho, mejorando así su disposición y se reducirá su afectación al medio ambiente.

VI. MARCO TEÓRICO

CAPITULO I: GENERALIDADES

1.1 Vinaza, descripción y origen.

La vinaza es un subproducto líquido (imagen 1), obtenido de la producción de alcohol etílico (diagrama 1) a partir de la fermentación y la destilación de una materia prima, en este caso, aguamiel y pulque obtenidos de agave.

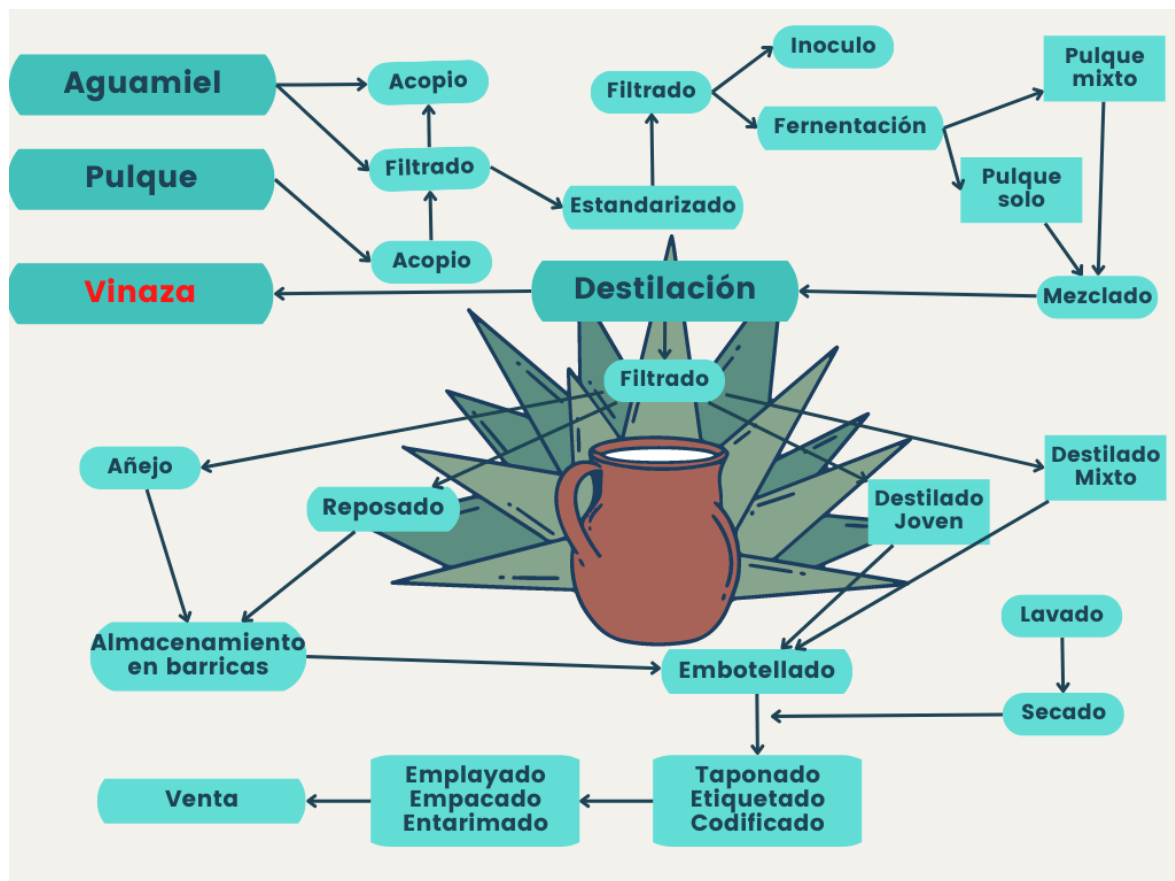


Diagrama 1. Obtención de Vinaza de destilado de pulque (Obregón-Luna, 2012).

Se caracteriza por poseer una coloración clara (imagen 2), con gran contenido de sólidos suspendidos, olor a levadura y sabor a suero. Además, posee pH ácido (3,5 - 4,5) y elevada demanda bioquímica de oxígeno (entre 70 y 80 g/L. (Pérez, 2008).



Imagen 2. Proceso de destilación



Imagen 1. Residuo de destilación de pulque

1.1.1 Agave

Descripción botánica.

- Variedad: Agave Salmiana Otto ex Salm-Dyck subsp. Salmiana “Maguey de pulque”, “Maguey manso”, “maguey mano ancha”, “yavi cui” (maguey verde), (maguey de base ancha) (Mixe).
- Taxonomía: El nombre de la subespecie se aplica principalmente a las grandes plantas cultivadas o asilvestradas, que se explotan para la producción de pulque.
- Distribución: Endémica de México, se distribuye de los estados de Durango y Coahuila a Chiapas. Hábitat cultivado o en bordes del bosque de Quercus-Pinus, bosque tropical caducifolio y matorral xerófilo, sobre suelos diversos. Elevaciones de 1500-2600 m. El 95% es perteneciente a la variedad Agave Salmiana.

- Fenología: Floración de marzo a julio. El desarrollo de la inflorescencia se inicia en octubre o noviembre del año anterior. Fructificación a partir de noviembre.
- Clima: Los agaves requieren un clima semi-seco con temperatura promedio de 20°C.
- Requerimientos nutricionales: En general, los Agaves viven en suelos rocosos y arcillosos y bien drenados, ricos en nutrientes, especialmente nitrógeno que parece ser el elemento más limitante de la actividad metabólica de algunos Agaves. Es muy importante la exposición al sol, y no debe haber más de 100 días nublados al año y preferentemente solo 65.
- Usos (diagrama 2)



Primer Fase	Segunda Fase	Tercer Fase
Planta	Planta	Planta
Penca para la industria gastronómica	Penca para la industria gastronómica	Penca para la industria gastronómica
Penca para forraje	Penca para forraje	Penca para forraje
Mixiote	Mixiote	Mixiote
Aguamiel y Pulque	Aguamiel y Pulque	Aguamiel y Pulque
	Jarabe de maguey	Jarabe de maguey
	Destilado de pulque	Destilado de pulque
	Dulces, mermeladas, tostadas y otros	Dulces, mermeladas, tostadas y otros
	Gusano rojo	Gusano rojo
	Fibras	Fibras
	Turismo rural	Turismo rural
		Frútanos
		Envasado
		Bioetanol

Diagrama 2. Cascada de productos que se pueden obtener de la planta de maguey. (Pérez, 2008)

1.1.2 Antecedentes vinaza.

La vinaza posee una elevada carga orgánica, lo cual, ha hecho pensar que su aplicación al suelo puede ser benéfica para aprovechar esa materia orgánica como una enmienda orgánica que proporcione nutrientes al suelo, con antecedentes de su uso en Brasil. (Prato García, 2015).

En otros países también se producen vinazas procedentes de la industria del alcohol. En Brasil, India, China, Pakistán, Tailandia, México, Colombia, Australia, Sudáfrica y Cuba se producen vinazas de caña de azúcar. En Europa (Alemania, Francia, Polonia y Reino Unido), Norte América (Canadá y Estados Unidos), Asia (Corea del Sur, Japón) y la India se producen vinazas de remolacha. Las características de dichas vinazas varían dependiendo la materia prima utilizada para su producción, sin embargo, comparten diferentes características como son la elevada carga orgánica y el pH ácido (Moran-Salazar et al., 2016). Diversos autores han mostrado que el aprovechamiento de las vinazas de otras industrias presenta efectos positivos y negativos cuando se adicionan al suelo. Aunque es importante considerar que los efectos serán dependientes de la dosis de aplicación, del tipo de suelo y sus características, de las condiciones climáticas y del tipo de plantas, entre otras (Popolizio D. T., 2017).

Resalta el hecho que son muy pocos los trabajos encontrados en la literatura sobre el efecto de las vinazas en cultivos agrícolas y en suelos cuando se utilizan como enmienda orgánica.

1.1.3 Usos de las vinazas.

Existen varias tecnologías para el manejo y aprovechamiento de las vinazas de una destilería. La aplicación de una u otra depende de las particularidades del mercado de cada región, economía de escala de las mismas y otros factores de carácter social o público.

Entre las principales tecnologías se tienen las siguientes.

- Producción de proteína unicelular, a través de fermentación aeróbica.
- Producción de gas metano, a través de fermentación anaeróbica.
- Componentes de raciones animales.
- Empleo de la levadura como fertilizante.
- Utilización agrícola sustituyendo total o parcialmente las fertilizaciones minerales.
- Producción de levadura forrajera.
- Compostaje (regulación de temperatura).
- Producción de dióxido de carbono (CO₂). (Chapingo, 2016)

1.1.4 Composición química de la vinaza.

La composición química de la vinaza varía de acuerdo a la naturaleza y composición de la materia prima que se utilice, las condiciones climáticas, el proceso de elaboración del alcohol, el método de fermentación, el tipo de levadura, entre otros. La vinaza está compuesta por materiales orgánicos y nutrientes minerales (cuadro 1), que forman parte de compuestos y constituyentes vegetales como aminoácidos, proteínas, lípidos, ácidos diversos, enzimas, bases, ácidos nucleicos, clorofila, lignina, quinonas, ceras, azúcares.

COMPOSICIÓN DE LA VINAZA	
BRIX	60°Bx
Cenizas insolubles	9.17%
Cenizas solubles	15.47%
Cenizas totales	24.64%
Nitrógeno total	0.79%
Alcalinidad CO₃²⁻	0.68%
Cloruros Cl	3.20%
Sulfatos SO²⁻	4.38%
Fosfatos PO₄³⁻	0.01%

Potasio K₂O	7.62%
Sodio Na₂O	1.18%
Silicatos SiO₃²⁻	0.12%

Cuadro 1. Composición de Vinaza (Chapingo, 2016)

1.1.5 Corrección de pH

La disponibilidad de los nutrientes o sales se encuentra dada por el pH de la solución, un pH de 5.8 se considera idóneo para el cultivo de espinaca, sin embargo, un rango de 5.6 a 6.0 es aceptable para el desarrollo del cultivo (Arcos et al., 2011).

De forma general, en los cultivos de hidroponía las plantas son más susceptibles a los cambios de pH, por lo cual es recomendable mantenerlo en un intervalo de 6.5 a 7.0. (Zárate, 2015).

Dado que el pH de la vinaza de destilado de pulque es generalmente de 5.5 es recomendable ajustar su pH con algunos productos.

1.1.6 Métodos de corrección de pH.

La dolomita agrícola es un producto mineral natural ecológico que tiene la función de corregir el pH de los suelos ácidos por la presencia de Calcio (Ca). Incorpora un contenido de Mg adecuado para potenciar la función fotosintética de la planta, al tratarse de un componente esencial en la "Clorofila". (Espinosa, 2009).

La cal agrícola genera un efecto positivo para que vuelvan a estar los nutrientes y/o los fertilizantes que tiene disponibles. Cuando el pH está demasiado ácido o muy alcalino las raíces y plantas no crecen adecuadamente. Debe haber un equilibrio en el pH (Espinosa, 2009).

1.1.7 Pasteurización de la vinaza.

La pasteurización es un proceso que combina tiempo y temperatura (cuadro 2), cuyo objetivo es destruir los microorganismos patógenos que se pueden encontrar en

alimentos o sustancias. Además, disminuye la flora asociada, lo cual prolonga la vida útil del producto sin alterar su composición química y sus características organolépticas. (Vanegas, 2019).

TEMPERATURA (°C)	TIEMPO
63	30 minutos
72	15 segundos
89	1,0 segundos
90	0,5 segundos
94	0,1 segundos
96	0,05 segundos
100	0,01 segundos

Cuadro 2. Combinaciones de tiempo y temperatura de pasteurización (Martínez & Rosenberger, 2013).

1.2 Cultivo de Espinaca

Antiguamente se consideraba la espinaca (imagen 3), como la mejor de las hortalizas, siendo muy apreciada por su valor nutritivo y su riqueza vitamínica. Sin embargo, todavía se reconoce a la espinaca como una de las hortalizas de mayor aporte de vitamina A, destacándose además por el elevado contenido de calcio, fósforo, hierro, potasio y sodio. Medicinalmente, es algo emoliente, laxante y su alto aporte de hierro la caracteriza como un alimento de elevado poder anti anémico.



Imagen 3. Espinacas comerciales. Tomado de Friedman, E. (2019, 11 diciembre). Vegetales de hoja verde.

1.2.1 Descripción botánica.

- Raíz: El sistema radicular de la espinaca es de tipo pivotante lo que proporciona un buen anclaje a la planta, sin embargo, es poco ramificada debido a que su desarrollo radicular es superficial, por lo que es importante que la humedad se encuentre en esa zona.
- Hoja: Caulíferas, más o menos alternas y pecioladas, de forma y consistencia muy variable, en función de la variedad de color verde oscuro. El peciolo es cóncavo y a menudo rojo en su base, de longitud variable, que va disminuyendo poco a poco a medida que soporta las hojas de más reciente formación y desapareciendo en las hojas que se sitúan en la parte más alta del tallo.
- Flores: Las flores masculinas (imagen 4), agrupadas en número de 6-12 en las espigas terminales o axilares prestan color verde y están formadas por un periantio con 4.5 pétalos y 4 estambres. Las flores

femeninas se reúnen en glomérulos axilares, con ovarios uniovulares, estilo único y estigma dividido en 3-5 segmentos (InfoAgro, 2010).

- Tallo: El tallo es regularmente erecto con una longitud aproximada de 30 cm, pero en plantas saludables puede alcanzar una altura de 1m, lugar donde se sitúan las flores.



Imagen 4. Partes de la espinaca. Tomado de Dr. Otto Wilhelm Thomé Flora von Deutschland, Österreich und der Schweiz 1885, Gera, Germany

1.2.2 Requerimiento ecológico y edafológico del cultivo.

- Clima: El clima al que se adapta este cultivo debe ser templado. La temperatura optima va de 15° a 18° C y es tolerante a ligeras heladas, pero no a la temperatura superior a 25°C.
- Humedad: La humedad relativa va de 95 a 100%. La espinaca se beneficia mucho de la frescura del terreno, especialmente cuando se inicia el calor.
- Suelo: El suelo preferido para la espinaca es el fértil, de buena estructura física y bien drenada, ricos en materia orgánica. La

espinaca responde bien a la presencia de nitrógeno en el suelo (Goites, 2008).

1.2.3 Características y exigencias nutricionales del cultivo.

Las exigencias nutricionales de la espinaca en sistema hidropónico varían mucho en función del ciclo de cultivo, variedad, marco de siembra (cuadro 3), etc.

Demanda de macro y micronutrientes por espinaca (<i>Spinacia oleracea</i> L.) para la producción de 22,6 T/ha	
Macronutrientes	kg / ha
N	35
P	3
K	80
Ca	11
Mg	10
S	3
Micronutrientes	g / ha
Fe	362
Mn	204
Cu	20
Zn	83
B	77

Cuadro 3. Demanda de nutrientes. Demanda de macro y micronutrientes por espinaca (*Spinacia oleracea* L.) cultivada en El Llano en Iltamas de Jalisco, México.

Aunque de forma general la fertilización deberá realizarse de acuerdo a la siguiente proporción: N-P-K 3-1-3. El suministro de macronutrientes debe ser muy rico y abundante, aunque habrá que tener en cuenta la fertilidad del suelo.

El potasio reduce la concentración de ácido oxálico, contribuye a dar carnosidad a las hojas y a mantenerlas túrgidas durante un largo periodo. El fósforo actúa reduciendo también la concentración de ácido oxálico, pero favorece la rapidez de la elevación. El nitrógeno aumenta la concentración de la vitamina C. El fósforo y el potasio se distribuyen durante la preparación del terreno, mientras que el nitrógeno se adiciona antes de la siembra en una proporción del 30 %. En

cobertura el nitrógeno se aportará con una frecuencia de 15-20 días. También es conveniente emplear el potasio en abonado de cobertera.

La carencia de boro se manifiesta en la espinaca con una reducción en altura, una clorosis intensa y las raíces muestran un color negruzco. En suelos con pH elevado la carencia de manganeso provoca una clorosis foliar, mientras que las nerviaciones quedan de color verde.

La administración de estiércol no debe realizarse directamente, sino en el cultivo que precede al de espinaca, ya que el ciclo de desarrollo de la espinaca es muy rápido y no le da tiempo a beneficiarse de éste, las raíces son muy delicadas y se hacen más susceptibles al ataque de hongos (especialmente con estiércol fresco) y con dicho estiércol se diseminan semillas de malas hierbas (SIAP, 2019).

1.3 Solución nutritiva y sistema de cultivo

Dentro del campo de la hidroponía, la solución nutritiva es un elemento de suma importancia, el resultado del sistema hidropónico se halla en función de la misma y sus características químicas, esta tiene como objetivo satisfacer las necesidades nutricionales de forma permanente, manteniendo los niveles adecuados de los elementos o nutrientes esenciales para garantizar la viabilidad del cultivo (Arcos et al., 2011).

La selección de las sales a utilizar depende de diversos factores (cuadro 4), entre ellos la proporción o cantidad relativa de iones requeridos por el cultivo (mg l^{-1}), ya que esta varía de una especie a otra; el grado de solubilidad que poseen las sales, requiriendo para cultivos hidropónicos un alto grado de la misma; el coste del fertilizante, el cual dependerá y será proporcional la calidad del mismo; finalmente es importante tener en cuenta la disponibilidad del producto en el mercado (Resh, 2001).

Elemento	H. y Arnon	Hewit	Fao	Jensen	Larsen	Cooper	Steiner
Concentración en ppm							
N	210	168	150-225	106	172	200-236	167
P	31	41	30-45	62	41	60	31
K	234	156	300-500	156	300	300	277
Mg	34	36	40-50	48	48	50	49
Ca	160	160	150-300	93	180	170-185	183
S	64	48		64	158	68	
Fe	2.5	2.8		3.8	3	12	2-4
Mn	0.5	0.54	0.5-1	0.81	1.3	2	0.62
B	0.5	0.54	0.-0.4	0.46	1	0.3	0.44
Cu	0.02	0.064	0.1	0.05	0.3	0.1	0.02
Zn	0.05	0.065	0.1	0.09	0.3	0.1	0.11
Mo	0.01	0.04	0.05	0.03	0.07	0.2	

Cuadro 4. Fuente: FAO, *La Empresa Hidropónica de Mediana Escala, La técnica de la solución Nutritiva Recirculante (NFT)*, (1996)

1.3.1 Sistema de hidroponía

El cultivo en hidroponía, es una modalidad en el manejo de plantas, que permite su cultivo sin suelo. Mediante esta técnica se producen plantas principalmente de tipo herbáceo (imagen 5), aprovechando sitios o áreas no convencionales, sin perder de vistas las necesidades de las plantas, como luz, temperatura, agua y nutrientes. En el sistema hidropónico los elementos minerales esenciales son aportados por la solución nutritiva. Los rendimientos de los cultivos hidropónicos pueden duplicar o más los de los cultivos en suelo. La disponibilidad de agua y nutrientes, los niveles de radiación y temperatura del ambiente, la densidad de siembra o disposición de las plantas en el sistema hidropónico, la acción de patógenos o plagas, etc., incidirán fuertemente en el rendimiento del cultivo (Beltrano, 2015).



Imagen 5. Sistema hidropónico. Tomado de Arackal, S. (2021, 13 junio). Planta verde en maceta negra.

1.3.2 Sistema de raíz flotante.

El sistema de raíz flotante es ideal para el cultivo de plantas de bajo tamaño por ejemplo las espinacas (imagen 6), y algunas plantas aromáticas, al tener las condiciones ambientales adecuadas propicia que el ciclo de la planta disminuya y obtengas cosechas con buenos rendimientos antes de lo esperado.

Ésta técnica consiste básicamente en desarrollar nuestras plantas sobre largas superficies de unicel que se mantienen a flote sobre contenedores con solución nutritiva que es oxigenada de manera frecuente. Este sistema permite obtener producciones automatizadas, y si se cuenta con las herramientas adecuadas, requerirá de cuidados mínimos (como el control de plagas) y el tiempo de cosecha de la mayoría de los cultivos se ve acelerado.



Imagen 6. Espinaca en sistema hidropónico. Produzcamos espinacas en hidroponía | Guía técnica. (2021, 3 febrero).

CAPITULO II: METODOLOGÍA

2.1 Diagrama general

El plan de trabajo que se utilizó en esta investigación se muestra en el diagrama 3.

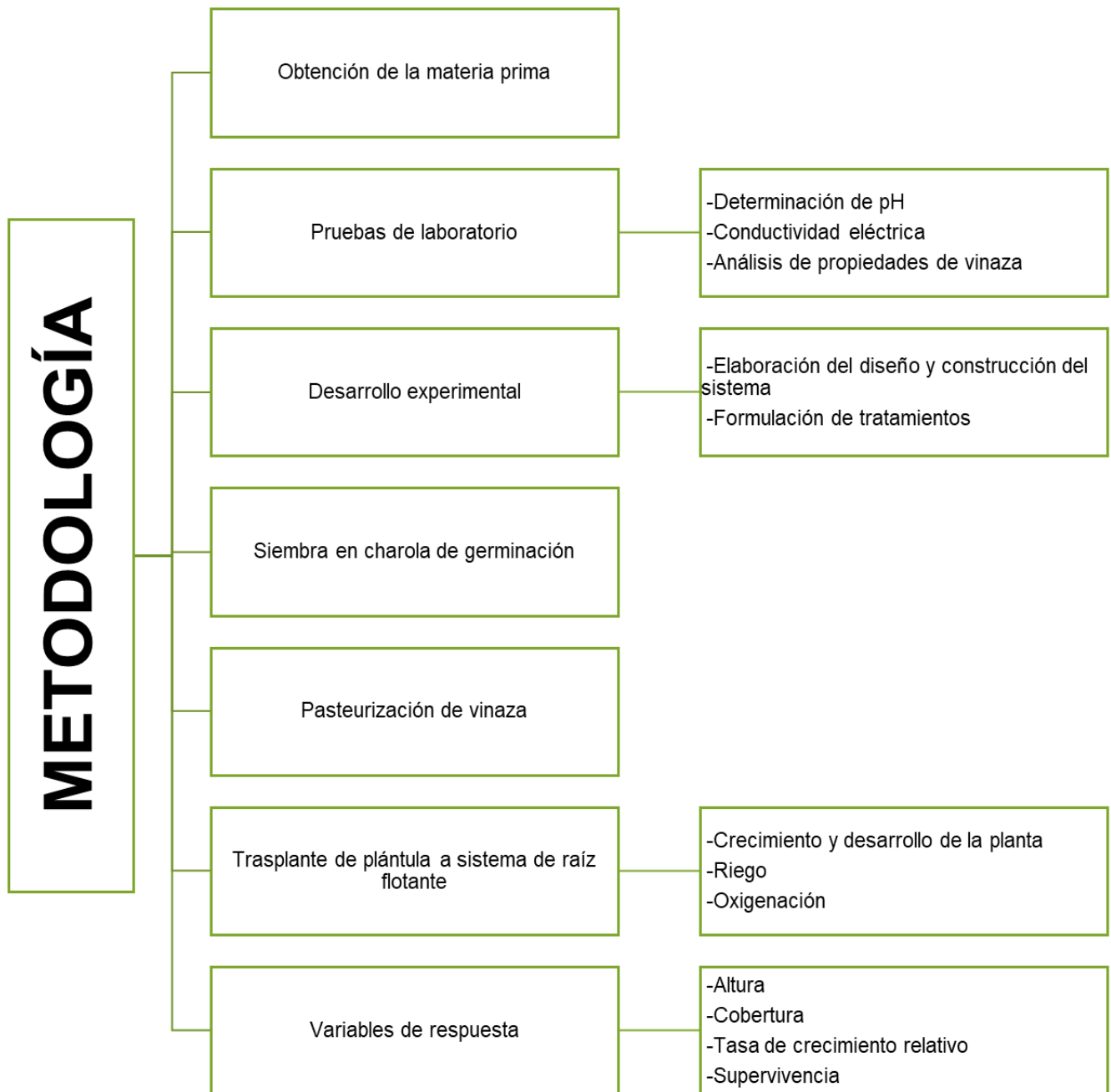


Diagrama 3. Diagrama de flujo de la metodología.

2.2 Obtención de la materia prima

Los residuos agroindustriales fueron obtenidos de la industria pulquera “Pulcatta” (imagen 7) ubicada en el km 84.5 de la Carretera Federal No. 119 de Zacatlán al Tejocotal, donde se utiliza pulque de la región para la elaboración de los productos.

La muestra fue almacenada al momento de la recepción en un recipiente cerrado para su análisis.



Imagen 7. Fábrica de pulque destilado “Pulcatta”

2.3 Pruebas de laboratorio

Se realizaron pruebas de pH, °Bx, conductividad eléctrica, composición de la vinaza, cloración de agua, para conocer las características que nos ayudaron en la formulación adecuada para cada tratamiento.

2.3.1 Determinación de pH

Para esta medición se empleó el procedimiento propuesto por la NORMA OFICIAL MEXICANA "Determinación de pH en Alimentos" NOM-F-317-S-1978. Que es mediante la medición electrométrica de la actividad de iones hidrógeno presentes en la muestra del producto mediante un aparato medidor de pH.

Se usó un potenciómetro digital marca CONDUCTRONIC (imagen 8), previamente calibrado con buffers de pH pH4, pH7 y pH10, luego se tomó una porción de la muestra ya preparada, y se sumergió el electrodo para obtener el valor de pH. Los valores obtenidos mostraron variación, sin embargo, se encuentran dentro de los límites reportados. Esto para obtener los valores de pH de la vinaza.



Imagen 8. Medición de pH de la muestra

Para medir el pH de los tratamientos con vinaza se utilizó un medidor de pH probador de pH digital portátil pH 0-14 marca Ipower Electronics (Imagen 9) con las siguientes especificaciones:

- pH de medición: 0.00 - 14.00 pH
- Resolución: 0.01 pH
- Precisión: ± 0.01 pH
- Temperatura de funcionamiento: 0 - 60 ° C (32 - 140 ° F)
- Fuente de alimentación: 2 baterías 1.5v (LR44 Button cell)



Imagen 9. Medidor de pH para los tratamientos con vinaza.

2.3.2 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es una unidad de medida que señala el contenido de sales en una solución, e indica la actividad de las sales disueltas para poder ser absorbidas por las raíces de las plantas. El rango de conductividad eléctrica requerido para un adecuado crecimiento del cultivo se encuentra en los 1500 a 2000mS/cm o 750 a 1500ppm (imagen 10). La conductividad se puede medir con un conductímetro, y se hace importante cuando el cultivo es para explotación comercial básicamente, en el sistema de raíz flotante, esto se controla de una manera muy sencilla (Alpízar, 2006).

Cultivo	Conductividad eléctrica dS/m
Lechuga	1.3
Espinaca	2.0
Tomate	2.5
Frutilla	1.0
Apio	1.8

Imagen 10. Niveles de conductividad eléctrica por cultivo, Juan C. Gilsanz. (2007). HIDROPONIA. Unidad de Comunicación y Transferencia de Tecnología.

Dado que la conductividad eléctrica está relacionada con la concentración de nutrientes, valores muy bajos de este parámetro puede determinar un retraso o inhibición del crecimiento. Por lo tanto, es muy importante que la CE no supere los parámetros establecidos para cada cultivo ya que esto puede generar problemas de toxicidad y competencia entre nutrientes.

La conductividad eléctrica se midió cada semana con un conductímetro modelo TDS&EC (imagen 11). El medidor de TDS y EC portátil E-1 es un instrumento profesional con múltiples funciones que se puede usar para probar el TDS del agua (el peso del sólido total disuelto de agua, la unidad es mg/L o ppm). Conductividad (la capacidad de corriente de conducción expresada en dígitos, unidad es us/cm) y la temperatura. Tiene un alto rendimiento, un diseño tipo pluma, una estabilidad numérica rápida y un resultado preciso. Se puede utilizar en: purificadores y filtros de agua, alimentos (vegetales, frutas) y calidad de la bebida Monitoreo, piscinas y spas, acuario, hidropónicos.

ESPECIFICACIONES:

Rango de medición:

- CE: 0-9990mS/cm;
- TDS: 0-9990ppm;
- Temp. Celsius: 0,1-80,0°C

- Temp. Fahrenheit: 176,0-32,0F
- Precisión: 2%
- Color: blanco



Imagen 11. Medidor de conductividad eléctrica.

2.3.3 Análisis químico de la vinaza

Parámetro		Metodología	Resultado	Unidad	LMP	U +	LC/CM
Humedad	A	NOM-116-SSA1-1994	96.36	%	N.A.	0.42	N.A.
Cenizas	A	NMX-F-607-NORMEX-2013	0.41	%	N.A.	0.08	N.A.
Proteínas	A	NMX-F-608-NORMEX-2011	2.05	%	N.A.	0.04	N.A.
Extracto etéreo	A	NMX-F-615-NORMEX-2018	0.00	%	N.A.	0.31	N.A.
Carbohidratos	A	Cálculo	1.18	%	N.A.	N.A.	N.A.
Fibra dietética total	A	NMX-F-622-NORMEX-2008	0.81	%	N.A.	0.24	N.A.
Azúcares totales	A	NMX-F-312-NORMEX-2016	<0.33	%	N.A.	0.19	N.A.
Sodio	A	Método Interno	2.820	mg/100g	N.A.	---	0.005
Nitrógeno Total	N	Suma de Nitrógenos	0.210	%	N.A.	---	---
N-Nitritos	N	Método Interno	<0.001	%	N.A.	---	0.001
N-Amoniacal	N	Método Interno	0.096	%	N.A.	---	0.029
N-Orgánico	N	Método Interno	0.108	%	N.A.	---	0.029
N-Nitratos	N	Método interno	<0.005	%	N.A.	---	0.005
Calcio	A	AOAC-2011.14	13.900	mg/100g	N.A.	---	0.050
Cobre	A	Método Interno	0.170	mg/100g	N.A.	---	0.005
Fósforo	A	AOAC-2011.14	16.300	mg/100g	N.A.	---	0.025
Fierro	A	AOAC-2011.14	0.979	mg/100g	N.A.	---	0.010
Magnesio	A	AOAC-2011.14	14.031	mg/100g	N.A.	---	0.025
Manganeso	A	Método interno	0.031	mg/100g	N.A.	---	0.008
Potasio	A	Método Interno	220.094	mg/100g	N.A.	---	0.008
Níquel	A	Método Interno	0.031	mg/100g	N.A.	---	0.003
Selenio	A	Método Interno	<0.0005	mg/100g	N.A.	---	0.0005
Zinc	A	Método interno	0.833	mg/100g	N.A.	---	0.008

Cuadro 5. Informe de resultados de Laboratorio.

De acuerdo al análisis obtenido (cuadro 5) pudimos llegar a las siguientes conclusiones:

- Aporte de nitrógeno en bajas cantidades, aun sumando el nitrógeno total la cantidad sigue estando por debajo del mínimo cuantificable.
- Aporte de calcio, fósforo, potasio, magnesio, fierro y zinc en altas cantidades.
- Calcio y Magnesio bloquean la absorción de fósforo.

Se analizaron los requerimientos nutricionales en conjunto con la solución nutritiva a utilizar y el análisis obtenido de la vinaza para acercarnos lo más posible a estos.

2.4 Desarrollo experimental

En el diagrama 4 se presenta un esquema general de los pasos utilizados en la presente investigación y en los apartados siguientes se describen con mayor detalle éstos mismos.

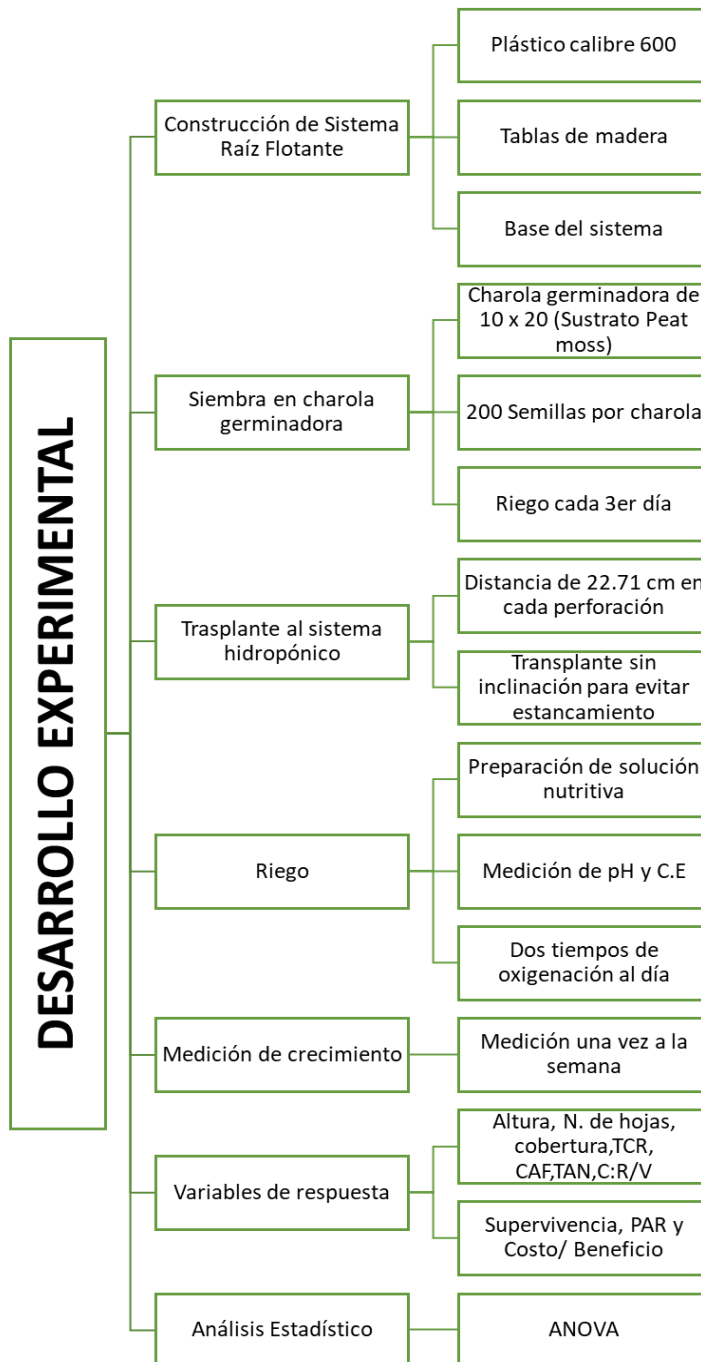


Diagrama 4. Diagrama del desarrollo experimental

2.4.1 Elaboración del diseño y construcción del sistema raíz flotante

La estructura constó de un rectángulo conformado por 4 tablas con una dimensión de 2.8 metros por 2.54 metros, atravesado por 10 tablas en el interior, cada tabla con una dimensión de 2.50 metros de largo por 10 centímetros de ancho y 2.54 centímetros de grosor, esto para formar en total 11 canales, con una separación de 22.70 centímetros entre tabla. Como se muestra a continuación en la imagen 12.

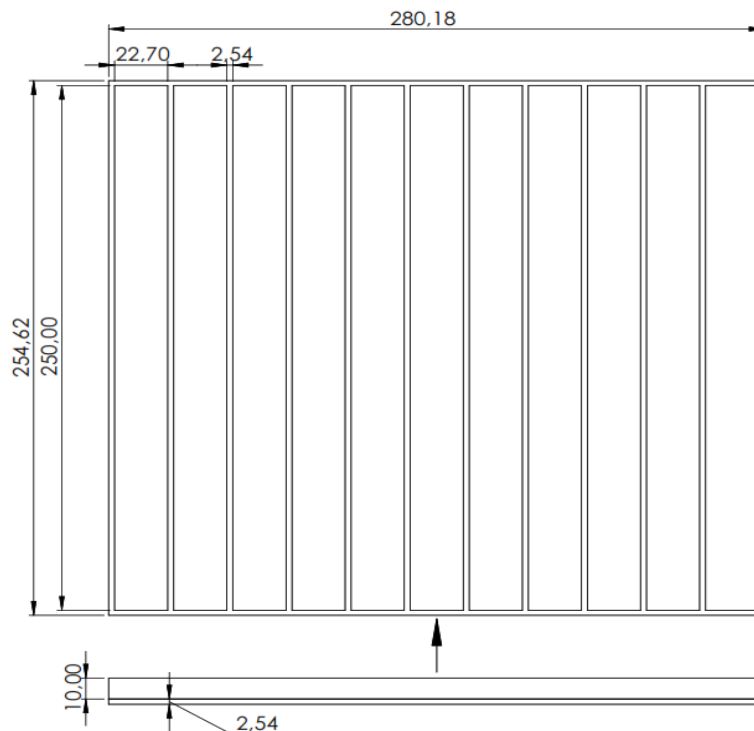


Imagen 12. Diseño de la estructura del sistema hidropónico.

En la siguiente imagen se muestra una vista ejemplificada de lo que conforma una canaleta, en la imagen 13 se aprecia como únicamente se agrega agua hasta llegar a los 8 centímetros de altura, esto debido a que altura mínima de agua para este sistema es de 8 centímetros.

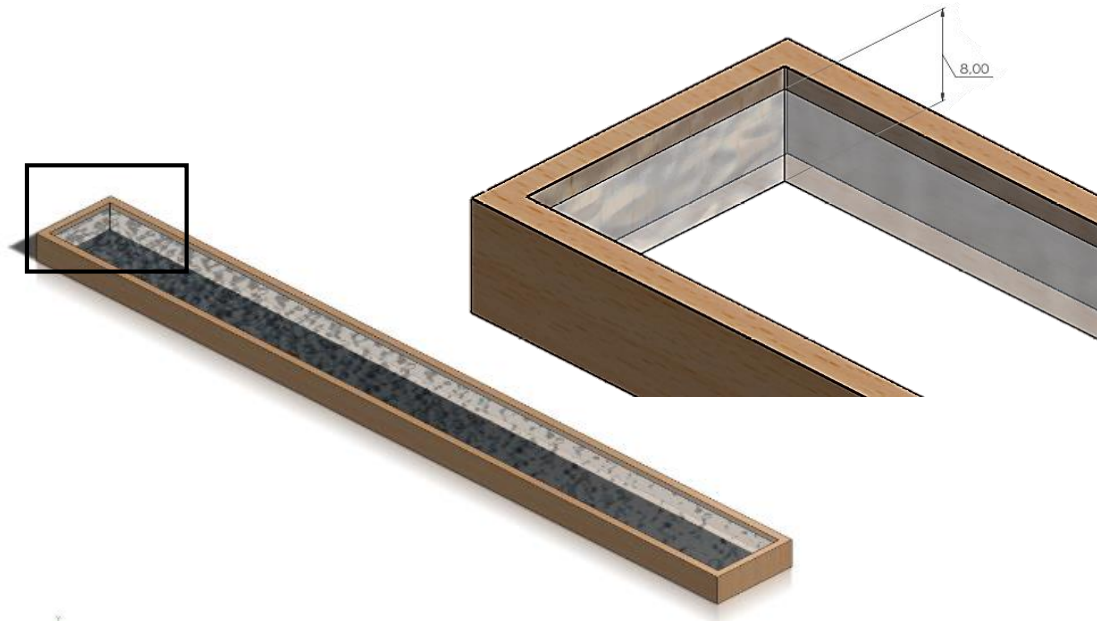


Imagen 13. Diseño experimental del Sistema Hidropónico.

A continuación, se muestra el cálculo de volumen de espacio para cada canaleta. Como referencia tenemos las dimensiones de la imagen 12.

Fórmula para volumen de prisma rectangular

$$V = l \cdot a \cdot h$$

$$l = \text{Largo} = 250 \text{ metros}$$

$$a = \text{Ancho} = 22.70 \text{ centímetros}$$

$$h = \text{Altura} = 8 \text{ centímetros}$$

Sustituyendo en la formula tenemos que:

$$V = (250) (22.70) (8)$$

$$V = 45400 \text{ cm}^3$$

Para saber la cantidad de agua que se necesitó se convirtió a litros, entonces tenemos que:

$$1 \text{ litro} = 1000 \text{ cm}^3$$

Por lo tanto se hizo la conversión: $(45400 \text{ cm}^3/1000\text{cm}^3)*(1\text{L})= 45.4 \text{ litros}$

Cada canal se forró con plástico calibre 600, de 30 cm de ancho por 3 m de longitud enganchado con grapas para madera, esto con la intención de asegurar que no existieran fugas en el sistema.

Una vez conformada la canaleta se cortaron placas de unicel de 22 cm de ancho por 2.50 m de largo con incisiones circulares de 4 cm. de diámetro con una distancia de 22.71 cm. entre incisión. En este tipo de hidroponía no se requiere de un sustrato por lo que se utilizó esponja de 5cm de alto por 5cm de ancho con una abertura por la mitad.

Una vez colocadas las placas de unicel tenemos el diseño final mostrado a continuación (imagen 14).

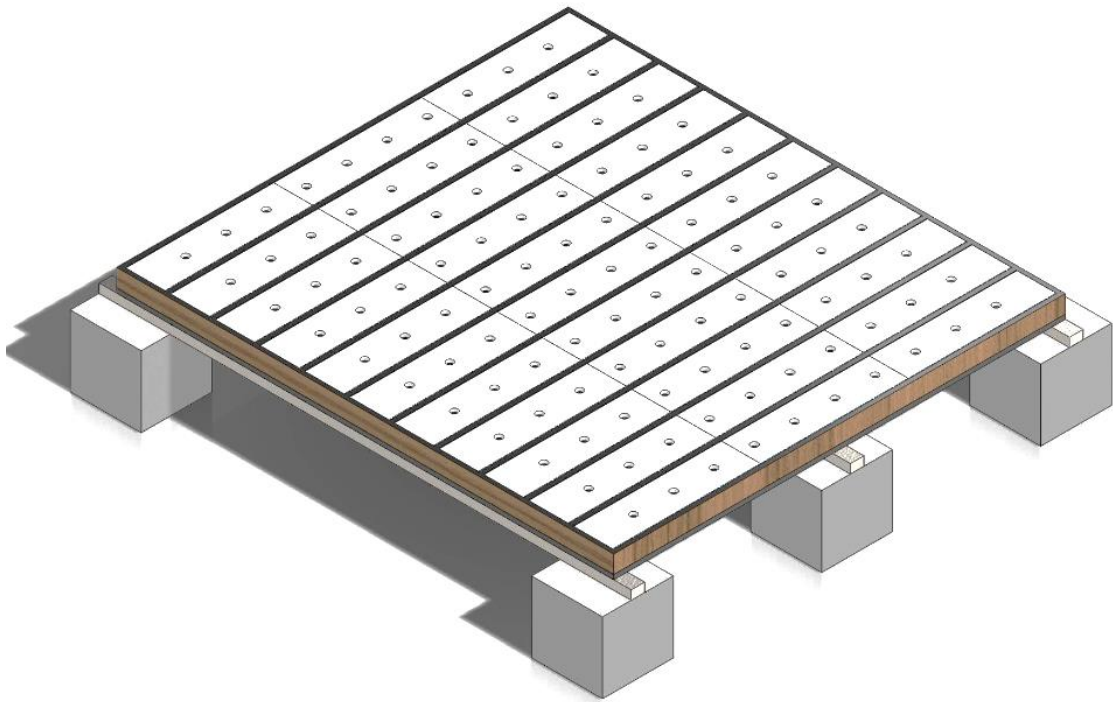


Imagen 14. Estructura final para diseño experimental en sistema hidropónico.

2.4.2 Formulación de tratamientos

El diseño experimental consistió en 5 tratamientos con 10 repeticiones por tratamiento. Teniendo un total de 50 plantas (cuadro 6).

Especie	Número de tratamientos	Numero de repeticiones
Espinaca	5	10

Cuadro 6. Tratamientos y repeticiones.

Los tratamientos fueron formulados en base a la carga de elementos que proporciona la vinaza, su conductividad eléctrica y pH (cuadro 7).

Tratamiento	1	2	3	4	5
Porcentaje %	100%	80%/20%	60%/40%	40%/60%	20%/80%
Agua (Litros)	45.4 L	36.32 L	27.24 L	18.16 L	9.08 L
Vinaza (Litros)	N/A	9.08 L	18.16 L	27.24 L	36.32 L
Solución Nutritiva Triple 20	100 gr.	0 gr.	0 gr.	0 gr.	0 gr.

Cuadro 7. Tratamientos y su composición.

2.4.3 Determinación de cloro residual en agua

Debido a que se utilizó agua recolectada de lluvia se tomaron las medidas de cloro en agua con el método de la ortotolidina ya que es aplicable para la cuantificación de las formas libres y combinadas del cloro disponible. El análisis se basa en la comparación colorimétrica entre una muestra problema y los patrones estandarizados. Esto con la intención de que el cloro no fuera un factor negativo en el desarrollo de las plantas, pero el nivel que arrojó fue bajo, como se observa en la imagen 15.



Imagen 15. Medición de cloro en agua.

2.5 Siembra en charola de germinación

La siembra se realizó en una charola de germinación de 20 x 10, con una profundidad por orificio de 6 cm, en el cual se colocó sustrato peat moss. Se colocaron 2 semillas por orificio en sustrato previamente humedecido, las semillas se cubrieron con una capa de sustrato de 1.5 a 2 mm.

Una vez que las plántulas emergieron, se mantuvo a luz indirecta para favorecer la supervivencia. Se aplicaron riegos cada tercer día para mantener el sustrato húmedo.

2.6 Pasteurización de vinaza

Se procedió a tomar 2 litros de vinaza y se colocaron en una olla (imagen 16), para después colocarlo en la parrilla de calentamiento. Este proceso duro 10 minutos manteniendo la temperatura a 82 °C y luego enfriando, se realizó debido a que las

bacterias son especialmente sensibles al calor en un medio ácido como es la vinaza, esta combinación elimina por un lado toda la flora bacteriana y levaduras.



Imagen 16. Pasteurización de vinaza

2.7 Trasplante de plántula a sistema de raíz flotante

El trasplante se realizó cuando comenzaron a salir las primeras hojas reales, aproximadamente 4 semanas después de la siembra, previo al trasplante, la charola no se regó el día anterior, con el fin de que el sustrato (peat moss) estuviera seco y así facilitara la extracción de la raíz, sin causar daño a la misma. Después de eso, la raíz se humedeció en solución nutritiva, se evitó el contacto con la luz solar, posteriormente se trasplantaron las plántulas a las charolas flotantes haciendo un orificio en el unicel, lo suficientemente grande, para que la raíz cubierta con esponja entrara fácilmente y no sufriera daños.

El trasplante se realizó cuando las plántulas alcanzaron una altura de 5 a 8 cm (imagen 17) o presentaron más de 4 hojas y se realizó durante la mañana, para que las raíces no sufrieran estrés hídrico, después de realizar el trasplante.



Imagen 17. Trasplante de espinaca

Previo al trasplante las canaletas se oxigenaron dos veces al día *para* asegurar la circulación de nutrientes. En este sistema semanalmente se midió pH y C.E manteniéndolo en el intervalo recomendado para evitar deficiencias nutrimentales (6.5 a 6.6 de pH y 1500 a 2000mS/cm, respectivamente).

Con las charolas en el sistema, se colocaron las plantas ya con esponja de manera que la esponja cubriera la mitad planta y la mitad raíz, en cada orificio se colocó una planta, de acuerdo a la distancia sugerida para el cultivo (10 cm entre planta). Las perforaciones se hicieron a una distancia de 22.71cm. para así evitar el traslape de raíces.

2.7.1 Crecimiento y desarrollo de la planta

Se analizaron los cambios fisiológicos de las plantas en cada tratamiento, para ver si se lograba observar algún cambio significativo entre los tratamientos.

2.7.2 Riego

La solución nutritiva se aplicó cada que la medición de la C.E estuviera fuera del intervalo recomendado, y se adicionó agua conforme lo fuera requiriendo el sistema para contener siempre 45.4 L por tratamiento. Para los tratamientos con vinaza esta se agregó manteniendo los porcentajes de vinaza/agua y tratando de mantener los niveles de C.E y pH en el intervalo.

2.7.3 Oxigenación

Diariamente se realizaron dos oxigenaciones con una bomba de vacío manual, 5 minutos por tratamiento en la mañana y 5 minutos por tratamiento en la noche, de acuerdo a las recomendaciones para este sistema.

2.8 Variables de respuesta

Se tomaron medidas de cada tratamiento semanalmente considerando las siguientes variables:

Altura: Se tomó desde la parte basal hasta la altura máxima de las hojas.

Supervivencia: Estado actual de la planta.

Número de hojas: Conteo de hojas semanalmente.

Aspecto: Estado en el que se encuentra la planta.

Color: Color actual de la planta al conteo de datos.

pH: Rango optimo 5.5 - 7.5

Conductividad: Rango optimo 750-1500ppm o 1500 a 2000 mS/cm.

CAPITULO III.

Resultados

Como parte de los resultados obtenidos en el presente trabajo, la espinaca presentó diferencias fisiológicas significativas en torno a los tratamientos. Durante la experimentación los tratamientos que tuvieron mejores y peores resultados fueron los de vinaza al 80% y vinaza al 20% en comparación con el tratamiento testigo esto en cuanto a las variables de altura, color, número de hojas, aspecto, conductividad eléctrica y pH.

3.1 Proceso de trasplante

Las plántulas de espinaca resistieron al trasplante ya que al momento de hacer el cambio de charola germinadora a charola flotante se tuvo cuidado de no dañar las raíces y así evitar rompimiento de tejidos y/o enfermedades fitopatógenas. En la imagen 18 se muestra la charola de germinación a unas semanas antes del trasplante. En el cuadro 8 se muestran la cantidad de hojas con la que se trasplantó cada plántula.



Imagen 18. Charola de germinación con plántula de espinaca.

Se realizó un conteo de hojas (cuadro 8) previo al trasplante esto con la intención de observar su adaptabilidad al sistema hidropónico en la primera semana de trasplante.

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	8	8	7	6	8
2	8	8	8	8	8
3	10	8	7	9	9
4	9	7	9	8	7
5	7	9	9	9	10

Cuadro 8. Número de hojas previo al trasplante.

Con un promedio aproximado de 8 hojas por plántula, se seleccionaron las plántulas que mejor desarrollaron en la charola de germinación, las de mayor altura, buen color y aspecto (imagen 19).



Imagen 19. Plántula de espinaca antes del trasplante a sistema charola flotante.

El pH con el que contó la solución fue variando dependiendo del tratamiento (cuadro 9), se sabe que para un sistema hidropónico el pH óptimo oscila entre los 5.5 a 7.5, en este rango la planta asimila fácilmente los nutrientes, ya que los elementos se encuentran solubles.

pH	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
Medición	6.14	8.19	7.43	6.86	6.5

Cuadro 9. pH al primer día de trasplante

Se observó que el pH con el que contaron los tratamientos (imagen 20) en algunos casos como T5, T4 y T3 estaba dentro del rango, pero el tratamiento T2 sobrepasaba el rango siendo este alcalino, se desconoce la composición de la vinaza en su totalidad, pero se supone que como está aún no termina su proceso de descomposición puede llegar a cambiar su pH.



Imagen 20. Medición de pH al primer día de trasplante

La electro-conductividad en la hidroponía tiene su importancia en la asimilación de los nutrientes para plantas, el tener lecturas altas de electro-conductividad resultan valores fitotóxicos (que presenta toxicidad en la planta) en el caso de ser bajos se tiene una deficiencia de nutrientes (imagen 21), así que, para mantener la disponibilidad de nutrientes se recomienda mantenerla en los rangos de 1500 a 2000 mS/cm o 750 a 1500 ppm.

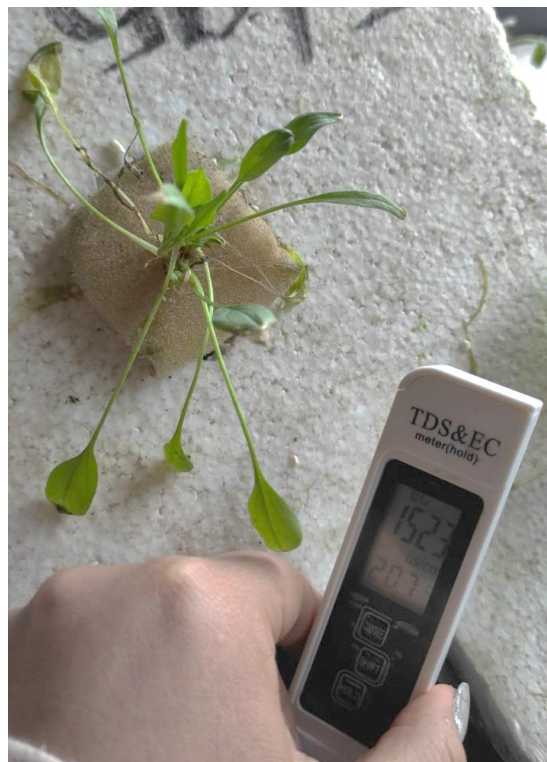


Imagen 21. Medición de conductividad al primer día de trasplante.

Como podemos ver en el cuadro 10, el tratamiento 1 están dentro del rango, los tratamientos 2, 3 y 4 está por debajo del rango por lo que es posible una falta de nutrientes y el tratamiento 5 está por encima del rango existiendo la posibilidad de una fitotoxicidad.

CONDUCTIVIDAD	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
mS/cm	1523	418	929	1191	2240

Cuadro 10. Conductividad eléctrica al primer día de trasplante.

3.2 Estado de la planta en sistema de charola flotante.

Semana 1.

Con los datos registrados respecto a número de hojas, aspecto, color, altura, pH y conductividad eléctrica de la primera semana, pude obtener un análisis completo de la asimilación que tuvo la planta respecto a los distintos tratamientos.



Imagen 22. Estado de la planta en la primera semana al trasplante.

Como se muestra en la imagen 22 la planta comenzó a mostrar un ligero cambio de color en la punta de las hojas, se infiere que esto sucedió debido a una fitotoxicidad por exceso de potasio o a una deficiencia de nitrógeno, ya que la vinaza

solo aporta mínimas cantidades de este. También pude observar que el color de la planta se tornó a un tono ligeramente amarillo.

El promedio de hojas por planta fue de 7 con una disminución considerable en el tamaño de la planta (cuadro 11).

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	9	7	6	5	7
2	9	8	7	8	7
3	10	8	7	8	8
4	11	7	8	7	6
5	9	8	8	8	8

Cuadro 11. Número de hojas a la primera semana al trasplante

Para la primera semana (cuadro 12) se observó que las plantas tenían un cambio en la tonalidad, con tendencia a colores más amarillo-verdosos, las plantas que estaban expuestas a luz directa poseían un color más pálido en comparación con las que no recibían luz directa las cuales tenían un color ligeramente más verde.

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	VERDE	VERDE	AMARILLA	AMARILLA	VERDE
2	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE
3	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE
4	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	AMARILLA
5	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE

Cuadro 12. Color de hojas en la primera semana al trasplante.

Con un promedio de 7cm de altura por planta (cuadro 13) no existió un desarrollo en cuanto a tamaño, la mayor parte de las plantas tratadas con vinaza disminuyeron su altura y el resto se mantuvieron en el rango, solo las que fueron tratadas con solución nutritiva aumentaron su altura (imagen 23). Esto pudo ser

causado debido al cambio de ambiente de charola de germinación a charola flotante.

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	7	6	6	7	6
2	7	8	8	8	6
3	8	8	7	8	8
4	9	7	7	7	7
5	8	7	7	5	8

Cuadro 13. Altura de la planta en centímetros a la primera semana del trasplante.



Imagen 23. Medición de altura.

Las plantas, aunque no tenían el crecimiento esperado (cuadro 13) seguían desarrollando hojas nuevas. En cuanto al aspecto de la planta (cuadro 14) en su mayoría tenían un buen estado ante la vista y es probable que debido a la

adaptación al nuevo ambiente no tuvieron el desarrollo esperado durante la primera semana.

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	BIEN	REGULAR	REGULAR	BIEN	REGULAR
2	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	REGULAR
3	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN
4	BIEN	BIEN	BIEN	REGULAR	REGULAR
5	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN

Cuadro 14. Aspecto de la planta en la primera semana al trasplante.

En cuanto a pH de la primera semana podemos observar que bajo considerablemente (cuadro 15), esto quiere decir que los tratamientos se volvieron más ácidos y eso genera una desventaja para el cultivo de espinaca ya que afecta la solubilidad, disponibilidad y absorción de varios nutrientes esenciales. El pH más ácido es el del tratamiento 5, mientras que el más alcalino es el del tratamiento 2.

pH	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
Medición	6.86	7.82	6.14	5.68	5.06

Cuadro 15. pH en la primera semana al trasplante.

La conductividad bajo considerablemente y esto nos benefició, ya que ahora los tratamientos 1, 4 y 5 (cuadro 16) están en el rango óptimo para una correcta asimilación de nutrientes, pero los tratamientos 2 y 3 están por debajo de este generándonos una posible deficiencia de nutrientes.

CONDUCTIVIDAD	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
mS/cm	1646	828	1150	1863	1875

Cuadro 16. Conductividad eléctrica en la primera semana al trasplante.

Podemos concluir que durante la primera semana las plantas pasaron por una asimilación de ambiente, un cambio de charola de germinación a charola flotante. No hubo un desarrollo en cuanto a altura, ni número de hojas y en aspecto de la planta y coloración el cambio físico no fue tan notable ya que los cambios en tonalidad fueron mínimos.

3.3 Estado de la planta en sistema de charola flotante.

Semana 2.

En la segunda semana de tratamiento se pudo observar si las plantas iban a sobrevivir a los tratamientos, si el efecto era bueno o en realidad no había un buen resultado.

Como se ve en la imagen 24, la planta no tuvo una buena reacción al tratamiento con vinaza, conforme iban pasando los días se iba haciendo más evidente la fitotoxicidad en la planta, su color se tornó amarillo casi completamente, las hojas más grandes se iban secando y las que iban naciendo carecían de color.



Imagen 24. Estado de la planta a la segunda semana del trasplante.

Hubo una considerable disminución en cuanto al número de hojas (cuadro 17), similar al de la primera semana, la planta siguió brotando hojas nuevas, pero las hojas viejas no crecieron, al contrario de como se esperaba estas se fueron secando, algunas de las hojas comenzaban a presentaban manchas necróticas propias de la muerte celular y de tejidos. Al tomar la medición consideramos las hojas que tenían un tamaño de aproximadamente 1cm., y el promedio de hojas en total fue de 6.

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	10	7	6	5	5
2	9	7	6	7	5
3	10	8	7	7	7
4	11	7	7	6	6
5	10	7	8	8	8

Cuadro 17. Número de hojas en la segunda semana al trasplante.

El color siguió estando verde pero cada vez más acercándose a amarillo pálido (cuadro 18), las puntas de las hojas más desarrolladas carecían del color verde fuerte, propio de la espinaca y comenzaban a ponerse cafés y a secarse.

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	VERDE	AMARILLA	AMARILLA	AMARILLA	AMARILLA
2	VERDE	AMARILLA	AMARILLA	VERDE	AMARILLA
3	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE
4	VERDE	VERDE	VERDE	AMARILLA	AMARILLA
5	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE

Cuadro 18. Color de hojas en la segunda semana al trasplante.

Con un promedio de 6 centímetros por planta (cuadro 19) las espinacas no crecieron, al contrario, disminuyeron su tamaño, esto debido a que la punta de las hojas se secó y se fueron inclinando dando a entender que la planta no estaba asimilando los elementos que proporcionaba la vinaza (imagen 25).

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	10	6	6	6	5
2	9	6	6	7	6
3	10	8	6	8	6
4	9	7	7	6	5
5	10	7	7	7	6

Cuadro 19. Altura de la planta en centímetros a la segunda semana del trasplante



Imagen 25. Medición de altura en la segunda semana de tratamiento.

En la segunda semana el aspecto de la planta ya no era bueno, era notable como la planta ya solo estaba sobreviviendo los tratamientos con vinaza. Conforme pasaban los días la fitotoxicidad se iba haciendo evidente. Del total de plantas menos del 50% se mantuvieron y el resto de las plantas comenzaron a cambiar su color de verde a amarillo pálido en el ápice de la hoja, los tallos empezaron a arquearse y las hojas se fueron marchitando (cuadro 20).

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	BIEN	REGULAR	MAL	MAL	MAL
2	BIEN	REGULAR	REGULAR	REGULAR	MAL
3	BIEN	BIEN	REGULAR	BIEN	REGULAR
4	BIEN	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR
5	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN	BIEN

Cuadro 20. Aspecto de la planta en la segunda semana al trasplante.

Para la segunda semana el pH de los tratamientos con vinaza se volvió más ácido, los tratamientos 5, 4 y 3 (cuadro 21) ya no estaban dentro del rango óptimo, y ya no se pudo agregar más calcio debido a que si agregáramos calcio en exceso bloqueáramos la absorción de varios nutrientes creando carencias de potasio, magnesio, manganeso y hierro.

pH	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
Medición	6.12	5.49	5.14	5.06	4.87

Cuadro 21. pH en la segunda semana al trasplante.

La conductividad en la segunda semana disminuyó para el tratamiento 4 propiciando una deficiencia de nutrientes y para el tratamiento 2 y 3 aumentó favorablemente acercándose al rango óptimo, en el caso del tratamiento 5 este aumentó favorablemente. Observando encontramos una posible relación entre pH

y conductividad, a medida que aumentaba la conductividad el pH bajaba dándonos una relación inversa.

CONDUCTIVIDAD	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
mS/cm	1517	899	1225	1390	1885

Cuadro 22. Conductividad eléctrica en la segunda semana al trasplante.

Terminamos la segunda semana con una planta decreciendo, con cambios notables en tamaño, coloración, número de hoja y aspecto, todos desafortunadamente desfavorables para la investigación. La planta ya solo estaba sobreviviendo, existe una alta probabilidad de que para esta semana las raíces ya presentarían pudrición radicular, y por lo tanto no desarrollarían favorablemente en ningún aspecto, se considera que esto fue causado por la composición de la vinaza y la dosis en la que se manejaron los tratamientos.

3.4 Estado de la planta en sistema de charola flotante.

Semana 3.

En la tercera semana de tratamiento la planta solo fue decreciendo, en ningún momento se pudo demostrar un resultado favorable. La muerte ascendente se hizo presente desde la segunda semana dejándonos sin una solución al problema y para el estado en el que la planta se encontraba era evidente la fitotoxicidad (imagen 26).



Imagen 26. Estado de la planta a la tercera semana del trasplante.

Con un promedio de 4 hojas por planta (cuadro 23) ya no hubo forma de que la planta se recuperara, la marchitez en el ápice de las hojas fue la principal señal por la cual se notó que las raíces no absorbieron agua o nutrientes necesarios para un óptimo desarrollo. Las manchas necróticas aumentaron en tamaño y también en número de apariciones. Dando así entrada a la muerte ascendente, que comienza por las zonas adultas y avanza hacia las zonas más jóvenes.

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	11	6	5	4	4
2	10	6	4	5	4
3	11	8	6	5	5
4	11	6	5	5	4
5	12	7	6	6	5

Cuadro 23. Número de hojas en la tercera semana al trasplante.

Para la tercera semana la planta ya había perdido casi en su totalidad el color verde fuerte, incluso las hojas nuevas tenían un color amarillo pálido, las manchas necróticas ya no solo eran puntos negros si no también alrededor de estas había un color café claro característico de la marchitez (cuadro 24).

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	VERDE	AMARILLA	AMARILLA	AMARILLA	AMARILLA
2	VERDE	AMARILLA	AMARILLA	VERDE	AMARILLA
3	VERDE	VERDE	VERDE	AMARILLA	AMARILLA
4	VERDE	AMARILLA	AMARILLA	AMARILLA	AMARILLA
5	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE	VERDE

Cuadro 24. Color de hojas en la segunda semana al trasplante.

La altura promedio de las plantas en la tercera semana fue de 5 centímetros (cuadro 25), con una disminución de 1 centímetro por planta. Fueron varias las razones por las que la altura disminuyó y una de las principales fue que el ápice de las hojas comenzó a secarse y enrollarse.

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	11	5	4	5	4
2	11	6	5	5	5
3	12	7	6	5	4
4	10	6	6	6	5
5	12	7	7	6	6

Cuadro 25. Altura de la planta en centímetros a la tercera semana del trasplante

El panorama en general era bastante desalentador (cuadro 26), a simple vista la planta se veía enferma y aunque en realidad nunca dejó de tener hojas nuevas, estas jamás se desarrollaron, la fitotoxicidad hizo que la planta presentara pudrición radicular y por lo tanto no crecieron raíces nuevas.

PLANTA	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
1	BIEN	MAL	MAL	MAL	MAL
2	BIEN	MAL	MAL	REGULAR	MAL
3	BIEN	REGULAR	REGULAR	MAL	MAL
4	BIEN	MAL	MAL	MAL	MAL
5	BIEN	REGULAR	REGULAR	REGULAR	REGULAR

Cuadro 26. Aspecto de la planta en la tercera semana al trasplante.

Para la última semana el pH de los tratamientos 5, 4, 3 y 2 era demasiado ácido (cuadro 27), para que la planta pudiera por lo menos tolerarlo, ya que conforme se iba volviendo más ácido más trabajo les costaba a las plantas adquirir los nutrientes.

pH	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
Medición	6.21	5.23	5.14	5	4.01

Cuadro 27. pH en la tercera semana al trasplante.

La conductividad eléctrica para la última semana estaba ya dentro del rango óptimo para los tratamientos 3, 4 y 5 (cuadro 28), pero en el caso del tratamiento 2 este fue el que tuvo mejores resultados, aunque su conductividad no estuviera dentro del rango, esto debido quizás a que su pH no tuvo resultados tan ácidos. El tratamiento 1 siempre mantuvo su pH dentro de los niveles óptimos a excepción de la última semana que bajo ligeramente.

CONDUCTIVIDAD	TRATAMIENTO 1	TRATAMIENTO 2	TRATAMIENTO 3	TRATAMIENTO 4	TRATAMIENTO 5
mS/cm	1462	975	1625	1702	1843

Cuadro 28. Conductividad eléctrica en la segunda semana al trasplante.

Finalmente, en la tercer y última semana tomamos la planta y la retiramos de la esponja para ver el estado en el que se encontraban las raíces, estas presentaban pudrición radicular (imagen 27), generalmente, las raíces saludables son blancas y presentan firmeza, las raíces podridas a causa de alguna enfermedad usualmente están saturadas de agua y con un color marrón. Como podemos observar en la imagen 26 la parte donde comienza el tallo aún se mantiene firme ya que esta no tenía contacto directo con el tratamiento, pero las raíces más largas si tenían contacto directo con el tratamiento y estas fueron las primeras en presentar pudrición radicular. Una de las principales causas fue el pH de la vinaza, que incluso al estar pasteurizada presento un pH ácido. El resto de la planta siguió decreciendo y cada vez haciéndose más pequeña, ya sea que las hojas comenzaran a secarse o se enrollaran ligeramente hacia adentro.



Imagen 27. Estado de las raíces en la tercer y última semana.

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos obtenidos de la aplicación de 4 tratamientos con vinaza y 1 testigo en el cultivo hidropónico de espinaca, se deduce que la vinaza no aporta los nutrientes necesarios para un correcto desarrollo, la vinaza podría ser utilizada en otro tipo de sistemas que ayuden a que esta termine su proceso de descomposición y así pueda ser aprovechada y se reduzca su afectación al medio ambiente.

El cultivo de espinaca (*Spinacia oleracea L.*), bajo la técnica de hidroponía por medio del sistema charola flotante obtuvo un buen resultado para el tratamiento que utilizó únicamente solución nutritiva, ya que la formulación de esta fue 20% nitrógeno, 20% fosforo y 20% potasio y no se tuvo deficiencia de ningún elemento esencial.

Las plantas que fueron tratadas con vinaza no lograron desarrollar raíces, tallos y hojas nuevas.

Durante el desarrollo del cultivo de espinaca, no hubo presencia de ningún insecto, lo cual eliminó la posibilidad de que la planta contrajera algún tipo de virus.

El sistema de canaletas no presentó complicaciones en su elaboración y fue efectivo para la producción de hortalizas con desarrollo de raíces pequeñas como es la espinaca, pues la estructura física de la planta se adapta concretamente al diseño del sistema.

La investigación se desarrolló para proporcionar una manera de emplear el deshecho de residuos de destilación, con el fin de reducir su impacto ambiental y así elaborar un producto que beneficie la producción de hortalizas; la producción en sistema hidropónico no fue la opción más adecuada, pero si fue la que nos permitió llevar un control más estricto en cuanto a los tratamientos y su reacción.

Las condiciones climáticas del municipio de Zacatlán., Puebla, son favorables para la producción de este cultivo, ya que las temperaturas son bajas.

Para el breve tiempo que se tuvo el cultivo de espinaca en el sistema hidropónico no se pudo evaluar las etapas fenológicas de la espinaca, debido a que esta no presentó un desarrollo en cuanto a los tratamientos con vinaza.

VIII. RECOMENDACIONES

Para un mejor empleo y utilización de vinaza se recomienda utilizar otro tipo de sistema que de preferencia no sea hidropónico, ya que la vinaza necesita terminar su proceso de descomposición para poder ser utilizada y los sistemas hidropónicos no proporcionan las condiciones para que este se degrade y pueda incorporarse.

En caso de que aun así sea necesario el uso de un sistema hidropónico se hace la sugerencia de utilizar vinaza a dosis baja, como puede ser 1ml por litro de agua, para poder mantener los estándares de pH y conductividad sin afectarse, hacer el estudio de composición química de la vinaza y así poder complementarla con los elementos que hagan falta, dependiendo el tipo de cultivo a elegir.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Anonimo, A. (8 de Marzo de 2006). *FERTILIZANTES DE LIBERACIÓN LENTA PARA EL CULTIVO DE MAGUEY MEZCALERO (Agave angustifolia Haw.)*. Obtenido de Sistema de Administración de Programas y Proyectos de Investigación: http://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20060266_4061.pdf
- Autor, S. (3 de Febrero de 2021). *Produzcamos espinacas en hidroponía*. Obtenido de Issuu: https://issuu.com/vecoandino/docs/rikolto_gu_a_t_cnica-espinaca
- Beltrano, J. (2015). *CULTIVO EN HIDROPONÍA*. Buenos Aires, Argentina: Edulp.
- CCORICASA, F. Q. (2019). *SOLUCIONES NUTRITIVAS Y SUSTRATOS EN PRODUCCION VERTICAL DE ESPINACA RASTRERA (Tetragonia tetragonioides) EN CONDICIONES FITOTOLDO DEL CENTRO AGRONÓMICO K'AYRA - CUSCO*. Obtenido de Repositorio UNSAAC: https://repositorio.unsaac.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12918/4523/253T20190521_TC.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Chapingo. (2016). *Vinazas: Alternativas de Uso. Innovaciones en materia de productividad del sector*, 12.
- Corona, J. G. (2022). *Comportamiento de Escherichia coli inoculada sobre espinaca (Spinacea oleracea L.) "baby" sometida a diferentes etapas postcosecha*. Repositorio Institucional BUAP. Obtenido de <https://repositorioinstitucional.buap.mx/handle/20.500.12371/15844>
- CORONADO, J. P. (2018). *PROYECTO PRODUCTIVO DE ESPINACA (Spinacia oleracea L.) EN CONDICIONES DE INVERNADERO MEDIANTE LA TÉCNICA DE HIDROPONÍA POR MEDIO DE SUSTRATO SÓLIDO*. Obtenido de Repositorio USAC: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/10812/1/242.%20PPSA.pdf>
- Cruz, A. G. (2013). *Lechuga (Lactuca sativa L.) bajo diferentes densidades de población y niveles de nutrición orgánica en la Comarca Lagunera*. Obtenido de Repositorio UAAAN:

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/7353/ANA%20GABRIELA%20GAMBOA%20CRUZ.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Curay, A. M. (s.f.). *PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE TRES VARIEDADES DE LECHUGA (Lactuca sativa L), BAJO EL SISTEMA NFT, CON TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS*. Obtenido de UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO:

<https://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23421/1/Tesis-136%20%20Ingenier%C3%ADa%20Agron%C3%B3mica%20-CD%20413.pdf>

Edwin Gálvez Torres, J. L. (2018). EXPERIMENTO CON BIOL DE SUBPRODUCTOS DE AZÚCAR PARA MAYOR RENDIMIENTO ECOLÓGICO EN EL CULTIVO DE LECHUGA (LACTUCA SATIVAL)*. *REVISTA STUDIUM VERITATIS*, 23.a ed., Vol. 17.

Espinosa, J. (2009). Acidez y Encalado en la agricultura. *International Plant Nutrition Institute*, 46.

Finck, A. (1988). *Fertilizantes y fertilización*. Obtenido de Editorial Reverté.

Fitonutrient. (28 de Septiembre de 2022). *¿Conoces la historia de los fertilizantes?* Obtenido de Fitonutrient: <https://fitonutrient.com/la-historia-de-los-fertilizantes/>

Jiménez, M. M. (2018). *APLICACIÓN DE DIFERENTES DOSIS DE FERTILIZACIÓN BAJO UN SISTEMA HIDROPÓNICO Y SUS EFECTOS EN LA CALIDAD Y RENDIMIENTO DEL CULTIVO DE ESPINACA (Spinacia oleracea L.) Y ACELGA (Beta vulgaris)*. Chiclayo: Tesis de Licenciatura. Obtenido de https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/34564/martinez_jm.pdf?sequence=1&isAllowed=y

María Elena Liconoa Hernández, G. G. (2015). *PRODUCCIÓN DE UN FERTILIZANTE A BASE DE COMPONENTES ORGÁNICOS PARA EL ENRIQUECIMIENTO NUTRICIONAL Y FÁCIL ASIMILACIÓN DE LOS*

CULTIVOS. Obtenido de
<http://132.248.9.195/ptd2015/febrero/0725766/Index.html>

Martín, S. O. (2007). *Producción y calidad de forraje verde hidropónico de tres variedades de alfalfa (Medicago sativa)*. Obtenido de Repositorio UAAAN: <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/6030/T16534%20%20ORTIZ%20MARTIN,%20SEBASTIAN%20%20TESIS.pdf?sequence=1>

Obregón-Luna, J. d. (2018). *PRODUCCIÓN DE COMPOST CON VINAZAS PARA MITIGAR SU IMPACTO AMBIENTAL Y APROVECHARLAS COMO FERTILIZANTE: MINIRREVISIÓN*. *Márgenes*, 6(2), 59-72.

Peréz, I. G. (2008). Tecnología e Innovación en Pulque Industrial S.A. DE C.V. en busca de nuevos horizontes. *Instituto Politécnico Nacional*, 91.

Popolizio, D. A. (2017). *EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE VINAZAS DE LA INDUSTRIA DEL TEQUILA EN EL CULTIVO DEL MAÍZ Y EN LA ASOCIACIÓN PLANTA-HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HMA)*. Obtenido de CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTADO DE JALISCO, A.C: <https://ciatej.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1023/382/1/Diego%20Tuesta%20Popolizio.pdf>

Popolizio, D. T. (2017). *EFEECTO DE LA APLICACIÓN DE VINAZAS DE LA INDUSTRIA DEL TEQUILA EN EL CULTIVO DEL MAÍZ Y EN LA ASOCIACIÓN PLANTA-HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HMA)*. *CENTRO DE INVESTIGACIÓN Y ASISTENCIA EN TECNOLOGÍA Y DISEÑO DEL ESTADO DE JALISCO, A.C.*, 101.

Prato García, S. G. (2015). Biodegradación de Vinazas de Caña de Azúcar. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 7 .

Saramani, L. Y. (2011). *EVALUACIÓN DE TRES TIPOS DE SUSTRATOS HIDROPÓNICOS EN DOS VARIEDADES DE ESPINACA (Spinacia oleracea L.) EN AMBIENTE PROTEGIDO EN LA CIUDAD DE EL ALTO*. Obtenido de

Repositorio de la Universidad Mayor de San Andrés:
<https://repositorio.umsa.bo/xmlui/bitstream/handle/123456789/10260/T-1524.pdf?sequence=1>

SIAP. (2019). Cultivo de Espinaca. *AGRINOVA Science*, 24.

Sifuentes, H. J. (2014). *Cultivo hidropónico de mangas verticales de dos variedades de acelga y lechuga*. Obtenido de Repositorio de Tesis UNAM:
https://www.zaragoza.unam.mx/wp-content/Portal2015/Licenciaturas/biologia/tesis/tesis_juarez_sifuentes.pdf

Vanegas, D. (2019). Guía Técnica para la pasteurización. *Tambo-Ecuador*, 26.

Victor González, F. P. (2008). LA FERTILIZACIÓN Y EL BALANCE DE NUTRIENTES EN SISTEMAS AGROECOLÓGICOS. *Sociedad Española de Agricultura Ecológica (SEAE)*, Vol. Volumen I. Obtenido de <https://www.agroecologia.net/recursos/publicaciones/manuales-tecnicos/manual-fertilizacion-fpomares.pdf>

Zárate, M. (2015). Manual de Hidroponía. *SAGARPA*, 42.

Zelaya Benavidez, E. A. (09 de Diciembre de 2021). *Vinazas de mezcal y su efecto biofertilizante en el rendimiento de hortalizas*. Obtenido de Ecosistemas y Recursos Agropecuarios:
file:///C:/Users/Usuario/Desktop/Respaldo/OneDrive/Documentos/TESIS%20POR%20CAPITULOS/Tesis%20-%20Zaira%20Gonzalez%20Soria_files/Zelaya%20Benavidez%20et%20al%202022_Vinazas%20de%20mezcal%20y%20su%20efecto%20biofertilizante%20en%20el%20rendimiento%20de%20h

X. ANEXO A

Anexo 1. Construcción del sistema Charola Flotante.



Imagen 1. Medición y corte de tablas, para la elaboración del sistema.



Imagen 2. Selección de tablas, de acuerdo a su forma, tamaño y resistencia.



Imagen 3. Presentación del sistema; se colocaron las tablas sin unir de modo que se pudiera observar cómo quedaría el sistema, se hicieron las modificaciones pertinentes para optimizar el sistema.



Imagen 4. Ensamble del sistema.



Imagen 5. Fin de la primera etapa del ensamble de sistema Charola Flotante.

XI. ANEXO B

Anexo 2. Resultados agrupados por variable de respuesta.

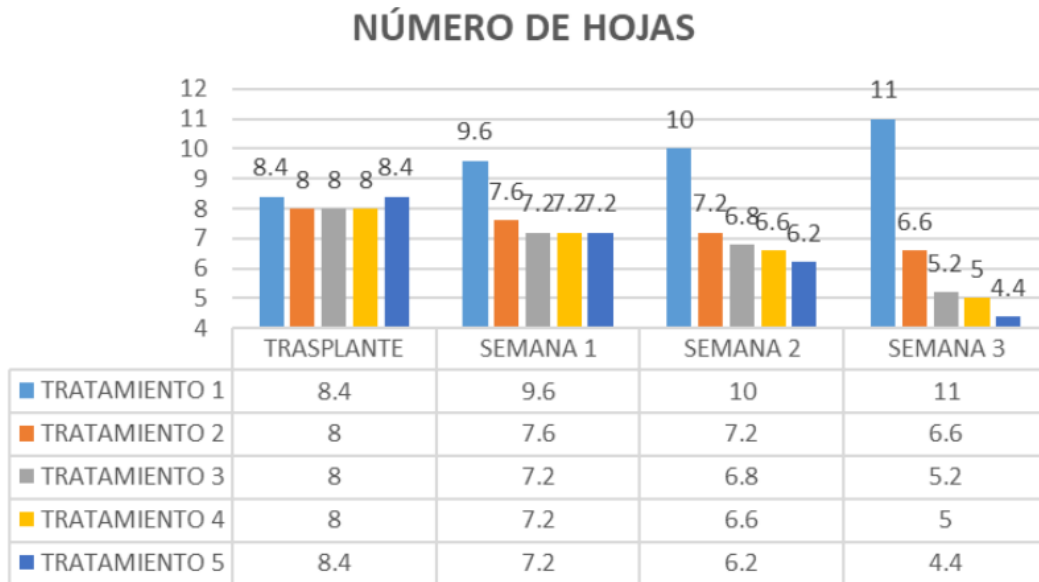


Tabla 1. Variable de respuesta Número de Hojas.



Imagen 1. Variable de respuesta Color de la planta en sistema de charola flotante por semana.

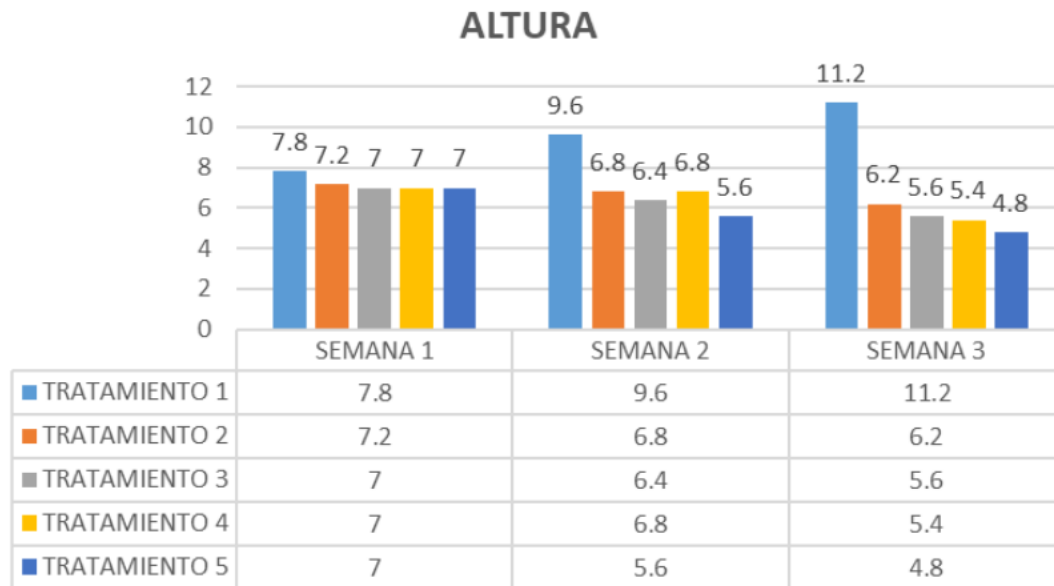


Tabla 2. Variable de respuesta Altura.



Imagen 1. Variable de respuesta Aspecto de la planta en sistema de charola flotante por semana.

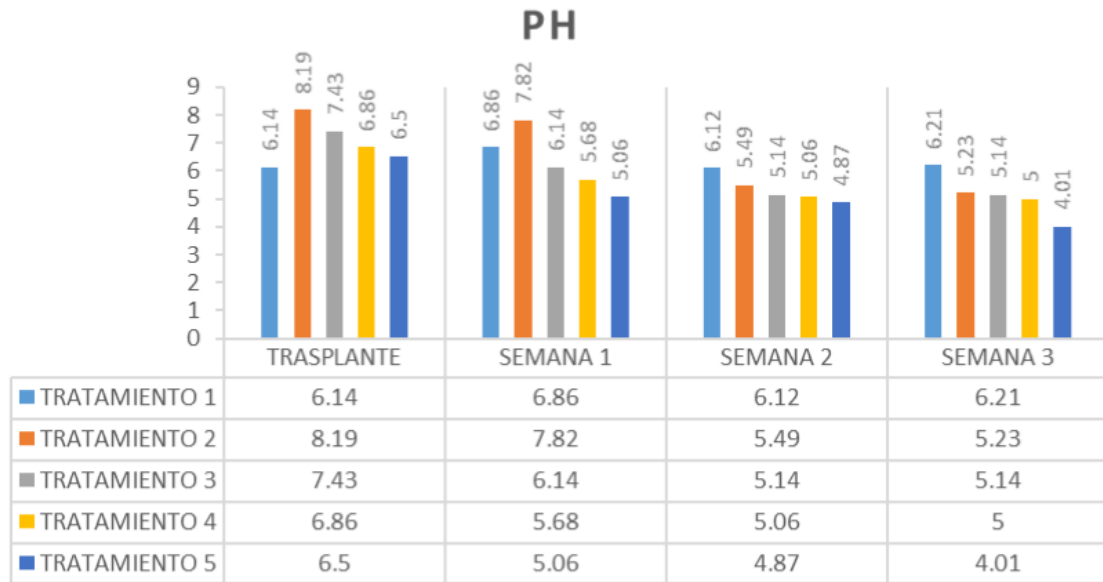


Tabla 3. Variable de respuesta pH.

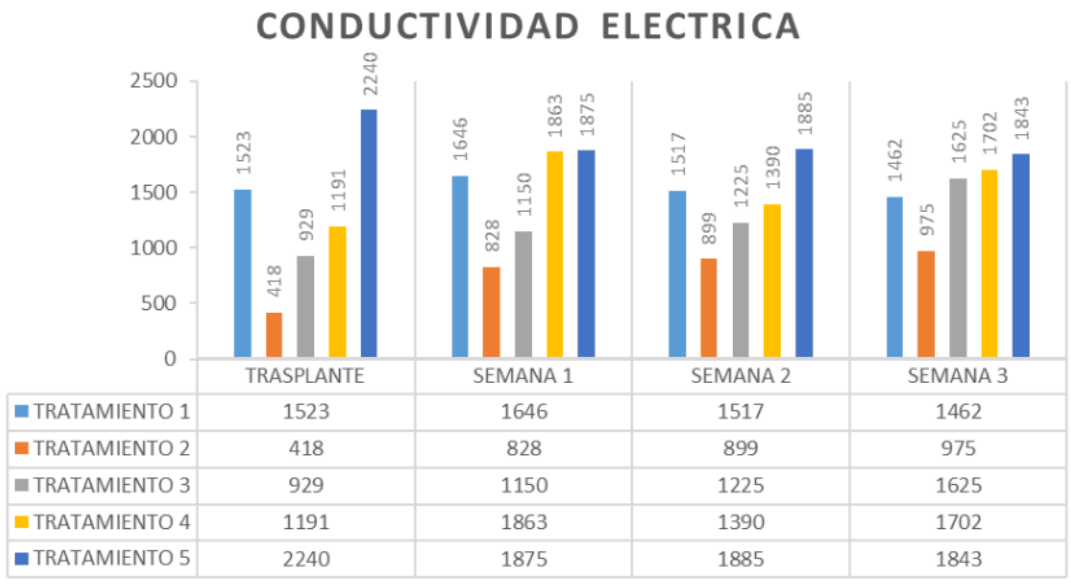


Tabla 4. Variable de respuesta Conductividad Eléctrica en $\mu\text{S}/\text{cm}$.